







DOI 10.23859/estr-220720

EDN TKANJC

УДК 504.052

Научная статья

Комплексное исследование долины ручья Тобиаса в связи с развитием горного курорта «Красная поляна»

Т.Л. Горбунова , Н.К. Гудкова , Н.И. Рубанова* ,
В.Г. Щербина 

Филиал ФГБНУ «Институт природно-технических систем», 354024, Россия, г. Сочи, Курортный пр., л. 99, корп. 18

**lelj06@yandex.ru*

Аннотация. Представлено исследование влияния природопользования, осуществляемого на водосборных площадях водотока, а также воздействия геологических процессов, происходящих в геозкосистемах водоема и его бассейна, на качество воды. Исследование основано на бассейновом подходе и проведено на водотоке, который расположен в горной туристской местности и находится под рекреационной нагрузкой, значительно возрастающей в современных условиях увеличения внутреннего туризма. Определены типы опасных экзогенных геологических процессов, которые оказывают влияние на природную, в том числе водную, среду и хозяйственную деятельность: оползни, сели; линейная и плоскостная эрозия; крип; обвально-осыпные процессы. Из одиннадцати выявленных экспертным путем видов территориального природопользования наибольшим воздействием на природную среду обладают «гостиничный комплекс» и «горнолыжные трассы, совмещенные с пешими туристскими маршрутами»; наибольшему антропогенному воздействию подвергаются элементы «флора» и «земля». Результаты биоиндикационного исследования и биотестирования указывают на ухудшение экологических условий от истока водотока к устью. Сопоставление геологических и антропогенных факторов и процессов площади водосбора с выявленными экологическими зонами водотока позволило сделать вывод о том, что биологические параметры, отражающие процессы в гидроэко системах водотока, могут применяться в качестве индикаторов состояния природной среды его бассейна.

Ключевые слова: геозкосистемы, геологическое строение, опасные геологические процессы, депривации наземных фитоценозов, природопользование, техногенез, гидробиоценоз, биоиндикация, биотестирование, зонирование

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Совершенствование механизма управления природопользованием с целью обеспечения эколого-экономической безопасности функционирования индустрии туризма».

ORCID:

Т.Л. Горбунова, <https://orcid.org/0000-0003-3699-7159>

Н.К. Гудкова, <https://orcid.org/0000-0002-3299-7701>

Н.И. Рубанова, <https://orcid.org/0000-0001-6084-6233>

В.Г. Щербина, <https://orcid.org/0000-0001-5634-7079>

Для цитирования: Горбунова, Т.Л. и др., 2023. Комплексное исследование долины ручья Тобиаса в связи с развитием горного курорта «Красная поляна». *Трансформация экосистем* 6 (5), 77–94. <https://doi.org/10.23859/estr-220720>

Поступила в редакцию: 20.07.2022

Принята к печати: 06.10.2022

Опубликована онлайн: 08.12.2023

DOI 10.23859/estr-220720

EDN TKANJC

UDC 504.052

Article

Comprehensive study of the Tobias Creek valley following the development of the Krasnaya Polyana mountain resort

Tatiana L. Gorbunova^{ID}, Natalia K. Gudkova^{ID},

Natalia I. Rubanova*^{ID}, Vitaliy G. Shcherbina^{ID}

Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, Russian Academy of Sciences, Kurortny prospect 99/18, Sochi, 354024 Russia

*lej06@yandex.ru

Abstract. The impact of environmental management on water quality carried out in the Tobias Creek watershed area and that of geological processes occurring in the given geoecosystems have been studied. The survey based on a basin approach was performed at a watercourse located in a mountainous tourist area under recreational pressure, the latter has been significantly increasing recently due to increasing domestic tourism. The types of hazardous exogenous geological processes affecting the natural environment (including water sources) and economic activities have been identified: linear and planar erosion, landslides, creep, and mudflows. The “hotel complex” and “ski slopes combined with hiking tourist routes” had the greatest negative impact on the natural environment out of the eleven types of territorial environmental management identified by experts. The ecosystem components “flora” and “soil” were subject to the greatest anthropogenic impact. The environmental conditions deteriorated gradually from the creek source to its mouth as followed by bioindication and biotesting. A comparison of geological and anthropogenic factors and the processes occurring in the catchment area within the defined ecological zones allowed us to conclude that biological parameters reflecting processes in the aquatic ecosystems may be used as indicators of the state of the natural environment.

Keywords: geoecosystems, geological structure, hazardous geological processes, deprivation of terrestrial phytocenoses, environmental management, technogenesis, aquatic biocoenosis, bioindication, biotesting, zoning

Funding. The study was carried out within the State Task “Improving the Mechanisms of Environmental Management in Order to Ensure the Environmental and Economic Safety of the Functioning of the Tourism Industry.”

ORCID:

T.L. Gorbunova, <https://orcid.org/0000-0003-3699-7159>

N.K. Gudkova, <https://orcid.org/0000-0002-3299-7701>

N.I. Rubanova, <https://orcid.org/0000-0001-6084-6233>

V.G. Shcherbina, <https://orcid.org/0000-0001-5634-7079>

To cite this article: Gorbunova, T.L. et al., 2023. Comprehensive study of the Tobias Creek valley following the development of the Krasnaya Polyana mountain resort. *Ecosystem Transformation* 6 (5), 77–94. <https://doi.org/10.23859/estr-220720>

Received: 20.07.2022

Accepted: 06.10.2022

Published online: 08.12.2023

Введение

Свойства природных вод формируются в результате сложных процессов на водосборе и в водоеме:

1) физико-химических – химического выветривания элементов, их взаимодействий, фильтрации, миграции, адсорбции, десорбции элементов, атмосферного выпадения и эвапорации с поверхности;

2) биологических – биохимических, микробиологических, биофильтрационных.

Таким образом, под качеством вод можно понимать их «свойства, сформированные в процессе химических, физических и биологических процессов, как в водоеме, так и на площади водосбора; благоприятное качество вод в конкретном водоеме в том случае, если отвечает требованиям сохранения здоровья наиболее чувствительных организмов и воспроизводства видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях этого водоема» (Алимов, 2000). Учесть комплексное влияние различных факторов на свойства природных вод позволяет бассейновый подход – совокупность приемов в географических и экологических исследованиях, в основу которой положено представление о континуальности географической оболочки, где в качестве главного интегрирующего фактора выступает водный сток (Снакин, 2000).

Антропогенный фактор, совместно с естественными геохимическими и биологическими процессами, влияет на изменение экологической ситуации водных объектов вследствие поступления в них и дальнейшей трансформации токсичных веществ, развития эвтрофирования, закисления и других антропогенно-индуцированных процессов. Примерами служат отдаленные высокогорные и арктические экосистемы, которые оказались подвержены техногенному воздействию (Гудкова и др., 2021; Моисеенко и др., 2012).

В процессе жизнедеятельности организмы, используя воду как ресурс и среду обитания, активно влияют на ее свойства, в ряде случаев играя определяющую роль, поэтому вода может рассматриваться как биокосное тело (Моисеенко и др., 2012). В настоящей работе основным элементом исследования состояния водной среды стал анализ биотических параметров, характеризующих токсическое воздействие и эвтрофикацию водной среды, видовое богатство, устойчивость, выравненность биологических сообществ, приуроченных к определенным геобиотомам, свойственным исследуемому участку. Для выявления количественных параметров биологических систем при конкретных климатических и географических условиях исследуемой территории в ходе предыдущих этапов работы были определены и апробированы интегральные показатели, которые отражают преобладающие многофакторные внешние воздействия на среду и достоверно отделяют природный (фоновый) гидробиоценоз от деградирующего (Горбунова, 2017; Гудкова и Горбунова, 2018).

Известно, что производство туристского продукта базируется на использовании рекреационно-туристского природного капитала и сопровождается комплексным негативным воздействием на природную среду. Прогнозируемое усиление последствий сверхтуризма для отечественных природных рекреационных центров, вызванное возрастающей переориентацией внешнего выездного

туризма на внутренние маршруты и недалековидным использованием природного капитала, несет риск уничтожения природно-ресурсной основы развития туризма как перспективной и социально-значимой отрасли экономики страны (Матова и Шагаров, 2021). В связи с этим актуален выбор в качестве района исследования бассейна ручья Тобиаса, протекающего через территорию одного из самых популярных курортов горного кластера города-курорта Сочи НАО «Красная поляна».

Общая длина руч. Тобиаса составляет 5 км, его исток расположен на абсолютной отметке около 2000 м н.у.м.; водоток впадает в р. Мзымта на уровне около 530 м н.у.м.

Цель данной работы – разработка и апробация методологии оперативной оценки состояния геозкосистем природных водотоков и их водосборного бассейна в условиях интенсивного развития горных курортов юга России с использованием интегральных биоиндикаторов как инструмента интегрального управления водными ресурсами (ИУВР) на примере комплексного исследования долины руч. Тобиаса.

Были поставлены следующие задачи:

- идентифицировать природные и антропогенные факторы воздействия на экосистему долины руч. Тобиаса;
- выделить участки руч. Тобиаса с различными типами биотопа с использованием интегральных биоиндикаторов;
- исследовать геологические и антропогенные процессы, происходящие на площади водосбора и представляющие потенциальную угрозу эколого-экономической безопасности функционирования туристической индустрии горного курорта;
- провести анализ влияния бассейнового природопользования на природную среду;
- сопоставить выделенные участки руч. Тобиаса с различными типами биотопа с участками водосборной площади, характеризующимися общими признаками экологического благополучия экосистем (Дмитриев и др., 2016), а также схожей интенсивностью природопользования.

Научная новизна работы заключается в использовании системного подхода к изучению и анализу динамики геозкологических и биологических процессов, присутствующих на территории с выраженной туристской специализацией и ведущих к постепенной деградации качественного и функционального состава биологических сообществ, снижению их устойчивости и впоследствии – необратимых изменений всей экосистемы.

Материалы и методы

В течение 2020–2022 гг. проведено комплексное обследование площади водосбора руч. Тобиаса, в ходе которого были получены пробы на трех основных участках: верхнее течение – на высоте около 2000 м н.у.м. (1), среднее течение – на высоте около 990 м н.у.м. (2) и устьевая зона ручья непосредственно перед его впадением в р. Мзымта – около 550 м н.у.м., в пос. Эсто-Садок (3) (Рис. 1). Отбирались гидробиологические пробы для анализа качественного и количественного состава макрозообентоса и перифитона, а также пробы природной воды для биотестирования с использованием в качестве основного тест-объекта одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* Beijer. Пробы на всех станциях отбирались в сходных биотопах для исключения влияния характера субстрата на видовой состав гидробионтов. Взятие проб и определение таксономических групп производилось согласно общепринятому методу (Абакумов, 1983; Определитель..., 1997–2000).

В основу исследования геологического строения и опасных геологических процессов положены архивные и фондовые материалы Центра «Антистихия» МЧС России, «Южного регионального центра государственного мониторинга состояния недр» и ГУП «Кубаньгеология».

Сбор сведений о территориальном природопользовании выполнялся с помощью географических информационных систем: 2ГИС, «Google Планета Земля», Публичная кадастровая карта РФ, OpenStreetMap, OpenToroMap; использовалась информация о природопользователях и характере их деятельности в открытом доступе в сети Интернет. Экспертная оценка воздействия хозяйственной и потребительской деятельности человека на природную среду исследуемой территории проводилась с использованием модифицированной матрицы Леопольда

Была выполнена рекогносцировочная оценка видового состава растительности исследуемой территории, оценка естественной устойчивости растительных массивов к факторам воздействия (рекреационным, техногенным, биогенным) и оценка по шкалам ландшафтной таксации, разработанной для территории г. Сочи НИИ Горлесэкологии (Король и др., 1999).

Методы биоиндикации, использованные в данной работе, основываются на анализе видового состава бентоса и перифитона, так как эти сообщества предоставляют надежную информацию о

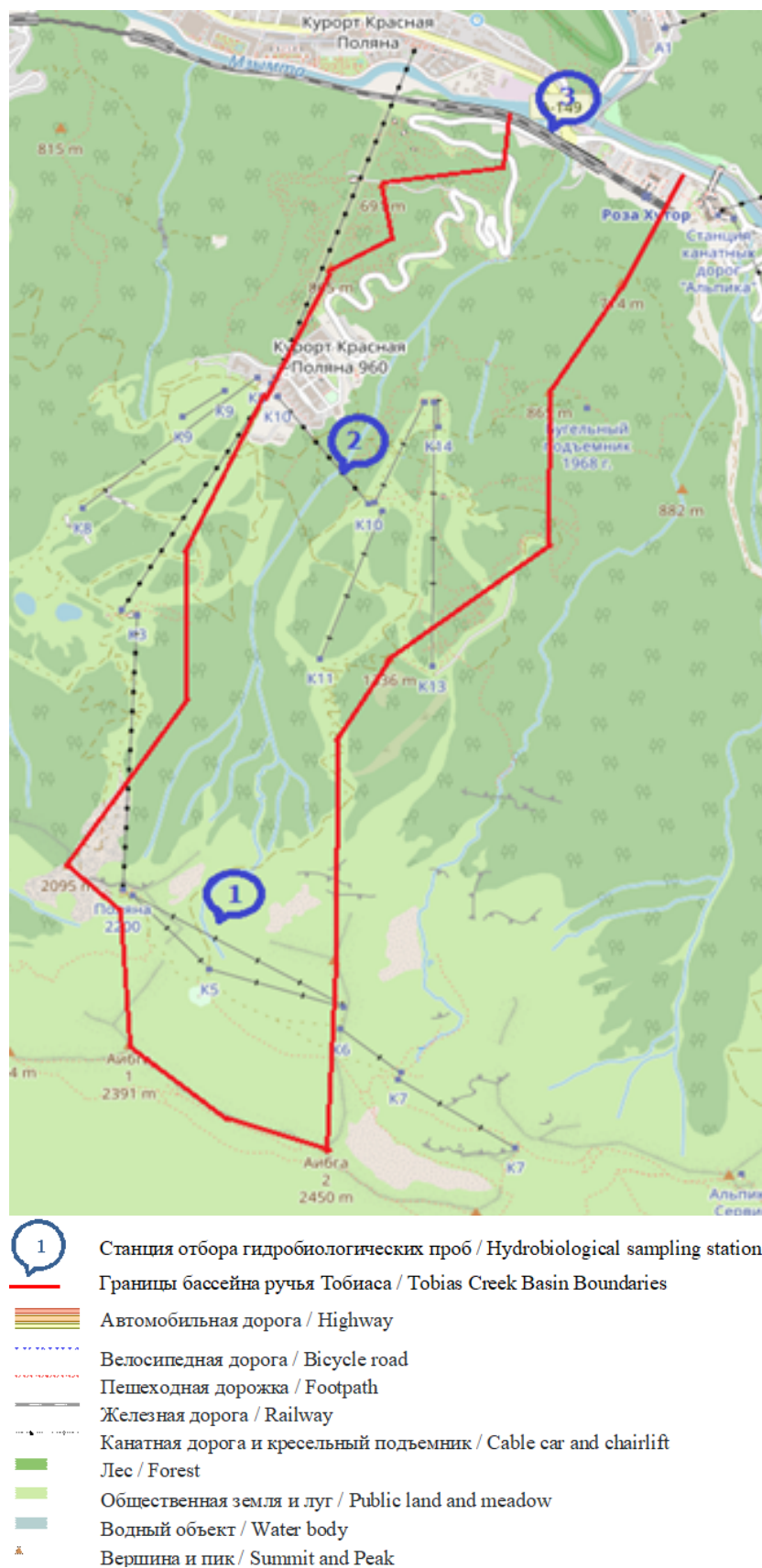


Рис. 1. Расположение станций отбора проб на территории северного склона горы Аибга в бассейне ручья Тобиаса (схема на основе OpenStreetMap).

продолжающихся или повторяющихся воздействиях на водную среду (Горбунова, 2017). На основании полученных данных были рассчитаны биотические показатели, являющиеся индикаторами биоразнообразия, устойчивости и выравнивания структуры биологического сообщества макро-беспозвоночных: QMCI (Quantitative Macroinvertebrate Community Index) как показатель толерантности сообщества гидробионтов к эвтрофикации среды¹ (Горбунова, 2017; Bennett et al., 2004; Collier, 2014; Olomukoro and Dirisu, 2014), показатели видового разнообразия – индексы Маргалефа и Шеннона, индексы Бергера–Паркера и Симпсона, используемые для оценки степени доминирования отдельных видов (Розенберг и Рянский, 2005).

Также проводилось определение острой (72 часа) и хронической (7 суток) токсичности воды с использованием микроводорослей *Clorella vulgaris*. Биотестирование проводилось на основе методических указаний (Методическое руководство..., 1991; Руководство..., 2002), а также с учетом результатов современных исследований в области методов биотестирования с использованием зеленых одноклеточных водорослей в качестве тест-организмов (Тютюкова и Григорьев, 2014).

Результаты и обсуждение

Геологическая характеристика исследуемого участка

В районе исследования, расположенном на северном склоне хребта Аибга, преобладают породы нижнеюрского (J_1) и четвертичного (Q_{IV}) возрастов. Самыми древними породами, выходящими на поверхность, являются отложения юрской системы. Выходы коренных пород, которые почти повсеместно перекрыты пролювиально-делювиальными отложениями, наблюдаются в отвесных уступах и подрезках склонов автодорог.

В районе широко распространены техногенные отложения, сформированные в результате хозяйственного освоения территории при проведении строительных работ – срезок, планировок, устройстве полотна автодорог и т.п. Техногенные отложения представлены крупнообломочными образованиями строительных материалов, остатками бетона, арматуры и т.д.

Гидрогеологические условия данной территории характеризуются распространением сезонной верховодки, грунтовых вод делювиально-оползневых и оползневых отложений и тесно связанных с ними подземных вод трещиноватой зоны кровли коренных пород. Временный (сезонный) горизонт верховодки развит в покровных глинистых отложениях делювиально-оползневого генезиса до глубин 1.5–2.5 м. Верховодка питается атмосферными осадками, формируется в рыхлой приповерхностной толще, подверженной попеременным сезонным усыханию и увлажнению. Водоупором для верховодки служат плотные суглинистые разности. Колебания уровня верховодки по сезонам незначительны (около 0.5 м), что обусловлено наличием хорошей гидравлической связи с р. Мзымта. Грунтовые воды делювиально-оползневых отложений приурочены к глинистым отложениям, распределены весьма неравномерно, благодаря разной уплотненности отложений и расчлененности рельефа. Наиболее водоносные участки связаны с депрессиями, где возникают локальные замкнутые горизонты с более или менее выдержанным режимом. Вышеуказанные участки могут быть безводными.

На исследуемой территории выявлены следующие типы опасных экзогенных геологических процессов, которые могут оказать влияние на природную среду и хозяйственную деятельность: оползни, сели; линейная и плоскостная эрозия; крип; обвально-осыпные процессы.

Анализ влияния бассейнового природопользования на природную среду

На исследуемой территории выявлены 11 основных видов территориального природопользования. Для каждого из них была сформирована модифицированная матрица Леопольда: в строках матрицы отображалось воздействие на параметры природной среды и некоторые экологические зависимости, в столбцах – важный экологический аспект² данного вида природопользования. Сила воздействия важных экологических аспектов на природную среду оценивалась

¹ Factsheet: Benthic macroinvertebrates. LAWA Land, Air, Water Aotearoa. 24 September 2023. Электронный ресурс. URL: <https://www.lawa.org.nz/learn/factsheets/benthic-macroinvertebrates/> (дата обращения: 02.10.2023).

² Экологический аспект – элемент деятельности организации, ее продукции и услуг, который может взаимодействовать с окружающей природной средой. Важным экологическим аспектом является тот, который оказывает или может оказать значительное воздействие на окружающую природную среду (Международный стандарт ISO 14004:2004 (E)).

экспертным методом по шкале от 1 до 3 баллов: 1 – слабое, 2 – среднее, 3 – сильное воздействие. Далее территориальные виды природопользования были сведены в таблицу (Табл. 1).

Наибольшая сила воздействия на природную среду исследуемой территории отмечена для таких видов природопользования, как «гостиничный комплекс» и «горнолыжные трассы, совмещенные с пешими туристскими маршрутами». Наибольшему антропогенному воздействию подвергаются элементы «флора» (деревья, а также кустарники и травы) и «земля» (почва).

Выделение участков водотока со схожими характеристиками биогеоценоза

Проведенный анализ видов хозяйственной деятельности на исследуемом участке, геологического строения и опасных геологических факторов позволил разделить водоток руч. Тобиаса на несколько участков.

Согласно классификации М.В. Чертопрада (Чертопруд, 2011), биотопы руч. Тобиаса относятся к креноэпиритрали, что характерно для быстротекущих, склоновых ручьев, макрореокренов с каменистым дном. В таких водотоках часто развивается биоценоз, напоминающий ритральный, но обедненный по видовому составу. Для него характерны холодноводные организмы олигосапробной зоны с высокой чувствительностью к эвтрофикации: ручейники родов *Rhyacophila*, *Glossoma*, *Potamophylax*, плавающие поденки *Baetis rhodani* (Pictet, 1843), веснянки родов *Nemoura*, *Leuctra*, личинки Diptera: *Diamesa* sp., *Criptochironomus* sp.

В устьевой зоне ручья тип биотопа изменяется. Это обусловлено в основном значительной эвтрофикацией стока ручья и его сильным заилением. Кроме того, в устьевом участке отмечено заметное изменение природы донного субстрата – вместо наблюдаемых в верхних течениях обломков известняка, туфов, диабазы, аргиллитов, на этих участках преобладает твердый строительный мусор (обломки панелей, кирпича, черепицы и пр.). Комплекс этих факторов способствует тому, что описанный выше типичный геобиоценоз олигосапробной зоны в устьевом участке сменяется на псефозэпиритраль – биотоп с каменистым и галечным грунтом, сильно заиленным, с обильными обрастаниями зелеными нитчатыми водорослями и слизью; обрастания диатомовыми практически отсутствуют. Наиболее приспособленными к такой среде оказываются плавающие поденки (*Baetis rhodani*) и подвижные ручейники сем. Limnephilidae. Кроме того, благодаря образованию рыхлого донного ила появляются некоторые роющие формы, свойственные мягким грунтам. Также отмечено, что если в верхнем и среднем течениях водотоков температура воды остается относительно низкой даже в летнее время (июнь – сентябрь), то в устьевых зонах наблюдается ее повышение до 19 °С, что повышает вероятность реакций биотрансформации поступающих в русло водотока растворенных примесей и приводит к вторичному загрязнению среды (Чекмарева и Григорьева, 2019; Stribling, 2011). Физические и гидробиологические характеристики исследованных участков ручья приведены в Таблице 2.

Значения индекса Шеннона указывают на относительно высокий уровень устойчивости биологических сообществ в верхнем течении ручья. Этот показатель в кренальных биотопах несколько снижен по сравнению с данными для ритральных сообществ водотоков той же территории (реки Лаура, Ачипсе, Ассара), которые были получены авторами в ходе предыдущих исследований (Горбунова, 2019; Гудкова и др., 2018). Возможно, это происходит как следствие сниженного видового разнообразия в ручьевых биоценозах высотных зон. Пробы участков верхнего течения демонстрируют достаточно высокую степень выравниваемости по значениям индексов Симпсона и Бергера – Паркера, доля отдельных доминирующих видов в сообществе невысока. В пробах верхнего течения ручья доминирующей группой гидробионтов являются ручейники при незначительной доле в численности ЕРТ плавающих поденок и веснянок (*Leuctra* sp.). Организмы группы ЕРТ составили более 50% от общей численности гидробионтов во все периоды отбора проб. Они представляют собой индикаторы чистой (ксено- и олигосапробной) среды; некоторые из них являются эндемиками Кавказа. Доминирование организмов группы ЕРТ обуславливает высокие значения биотического индекса QMCI на этих участках и позволяет охарактеризовать данные биоценозы как чрезвычайно чувствительные к загрязнению органикой (Morse et al., 2007).

Значение биотического индекса QMCI остается высоким (соответствующим ксено- олигосапробной зоне) и для участка среднего течения руч. Тобиаса. Однако на этом участке наблюдаются признаки снижения устойчивости и выравниваемости биологического сообщества, на что указывает уменьшение видового разнообразия и возрастание доли доминирующих видов. Кроме того, снизилось и соотношение организмов ЕРТ по отношению к общей численности и видовому

Табл. 1. Сводная модифицированная матрица Леопольда воздействия воздействия территориальных видов природопользования на природную среду.

Физические и химические объекты	Вид природопользования	Капитальное строительство										Общая сила воздействия на параметр природной среды				
		Гостиничный комплекс	Горнолыжные трассы, совмещенные с пешими туристскими маршрутами	Горнолыжные трассы	Станции канатных дорог (включая тугалеты и точки быстрого питания)	Автомобильная дорога	Общественное питание и отдых	Парк развлечений	Трассы скоростного велосипедного спуска	Трассы канатных дорог	Пешие туристские маршруты, палаточный лагерь					
Земля	почва (нарушение покрова)	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	0	0	1	24
	почва (механическое загрязнение)	2	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	11
	формы рельефа	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Воды	поверхностные	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
	грунтовые	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	качество	1	1	3	1	1	2	1	1	0	1	1	2	1	1	14
	эвтрофикация	3	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	0	0	1	16
Атмосфера	качество (газы, частицы)	2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	5
	климат (микро)	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
Процессы	плоскостная эрозия склонов и речная эрозия берегов	2	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	1	2	0	13
	степень устойчивости (оползни, сели)	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	2	0	9

Вид природопользования	Капитальное строительство													Общая сила воздействия на параметр природной среды			
	Гостиничный комплекс	Горнолыжные трассы, совмещенные с пешими маршрутами	23	22	20	18	16	14	12	10	9	11	12	3	12		
Флора	деревья	2	3	3	3	2	3	2	1	0	3	0	0	22			
	кустарники и травы	2	3	3	2	0	2	2	2	3	0	2	21				
	водные растения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	разнообразия, виды под угрозой исчезновения	1	3	0	2	1	1	1	2	0	1	0	12				
Фауна	птицы	2	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	11				
	наземные животные, включая рептилий	1	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	12				
	бентические организмы	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3				
	разнообразия, виды под угрозой исчезновения	2	2	0	2	1	1	1	1	1	0	1	12				
Общая сила воздействия природопользования	27	25	23	22	20	18	16	14	12	10	9	196					

Биологические объекты

Табл. 2. Основные физические и гидробиологические показатели в исследуемых пробах руч. Тобиаса.

Водный объект и его участок	Физические характеристики участка исследования				Биотические параметры							
	Температура, °С	pH	Степень заиления донного субстрата	Наличие обрастаний донного субстрата	Горные породы в русле	Биотический индекс QMCI	Индекс Шеннона	Индекс Маргалефа	Индекс Симпсона	Индекс Бергера – Паркера	Доля организмов ЕРТ в %	Доля организмов от общей численности организмов
Верхнее течение руч. Тобиаса, отметка 2010 м н.у.м. (ст. 1)	4–6	8.3	1	Прикрепленные диатомеи в виде коричневых обрастаний донного субстрата	Алевролиты, сланцы, пелитовые туфы	6.89	2.35	5.75	0.19	0.2	59.1	39.7
Среднее течение руч. Тобиаса, отметка 993 м н.у.м. (ст. 2)	7–10	8.2	2	Прикрепленные диатомеи, незначительные обрастания зелеными нитчатыми водорослями преимущественно на известняках	Обломки известняка, туфов, диабаз, аргиллитов	6.77	2.11	4.4	0.21	0.3	45.2	37.5
Устьевой участок руч. Тобиаса, впадение в р. Мзымта (ст. 3)	7–19	8	4	Обильные обрастания зелеными нитчатыми водорослями, слизь, отложения детрита	берег р. Мзымта, присутствие строительного мусора	5.44	1.98	3.67	0.31	0.37	33.1	22.5

составу пробы. Эти индикаторы можно считать ранними признаками нарушения стабильности гидробиоценоза под воздействием внешних факторов.

В устьевом участке наблюдается снижение уровня устойчивости и выравненности биоценозов водотока. Кроме того, повышенные значения индексов Симпсона и Бергера – Паркера говорят о значительном возрастании доли отдельных групп гидробионтов в биоценозе (Шитиков и Зинченко, 2013). Доминирующими видами на этих участках становятся представители двукрылых и гастропод, являющихся индикаторами загрязненной органикой воды. Доля организмов группы ЕРТ снижена по сравнению с другими участками до 33.1%. Значения биотического индекса QMCI классифицируют этот участок как умеренно загрязненный, соответствующий зоне β-мезосапробности.

В наших предшествующих работах (Горбунова, 2020; Гудкова и др., 2022) отмечалось существенное снижение как численности, так и видового разнообразия организмов группы ЕРТ при заилении донного субстрата в реках из-за изменения среды их обитания (невозможности прикрепления к каменистому субстрату) и отсутствия привычных фитообрастателей – диатомовых водорослей, служащих пищевой основой для следующих звеньев трофической цепи водотока. В ходе данного исследования также было отмечено, что степень заиления каменисто-галечного донного субстрата ручья возрастает от верхнего течения к устью, при этом процентная доля организмов ЕРТ от общей численности гидробионтов в пробах снижается.

Кроме того, в процессе работы над определением качественного и количественного состава проб было обнаружено, что различные организмы сообщества донного макрозообентоса предпочитают различные по геологическому определению субстраты. Например, некоторые виды ручейников (*Glossoma capitatum* Martynov, 1913, *Rhyacophila* sp.) предпочитают аргиллиты и туфы и диабазы обломкам известняков. Однако ручейники родов *Hydropsyche* sp. и *Limnephilus* sp. не были избирательны к субстрату. Ручейники практически не заселяли искусственный субстрат (обломки кирпичей, бетона, черепицы и пр.). На следующем этапе работы планируется провести статистический анализ зависимости качественно-количественного состава донных биоценозов от геологических характеристик материала донного субстрата водных объектов.

Было выполнено биотестирование природных вод руч. Тобиаса с использованием одноклеточных водорослей *Chlorella vulgaris* Beijer, так как при анализе наиболее значимых факторов воздействия на водную среду исследуемого участка было выявлено, что эвтрофикация, вызванная антропогенной деятельностью, является одной из основных проблем (Горбунова, 2017, 2020; Гудкова и Горбунова, 2018; Гудкова и др., 2022). При наличии мощных иловых отложений органическое вещество, поступающее в водоток с хозяйственно-бытовыми и ливневыми водами, аккумулируется в толще осадка, в то время как при чистом каменистом донном субстрате оно смывается в паводковый сезон сильным течением. Аккумуляция биогенной органики в иловых осадках и процесс его декомпозиции создают условия для вторичного загрязнения, особенно в летний период при достаточно высоких температурах в устьевых зонах, маловодности водотоков и интенсификации антропогенной нагрузки в пик туристического сезона. Результаты экспериментов приведены в Таблице 3.

За время острых (24 ч) и подострых (72 ч) опытов не было обнаружено достоверных отклонений от контроля в исследуемых пробах, что является обычным для водотоков горного типа. В хроническом эксперименте наблюдались отклонения коэффициента прироста численности клеток от данных контрольной группы. В верхнем течении водотока этот показатель отличался от контрольного только на 10.8%, не демонстрируя достоверных отклонений, однако в среднем течении и устьевой зоне ручья наблюдалось возрастающее достоверное отклонение коэффициента прироста численности – соответственно 37.5% и 47.6%. Во всех взятых в руч. Тобиаса пробах наблюдалась стимуляция роста численности водорослей по сравнению с контролем, что свидетельствует о наличии в них биогенных примесей (Федосеева и др., 2020).

На предыдущих этапах работы было отмечено, что при обильном заилении каменистого донного субстрата водотоков горного типа происходит изменение состава фитообрастателей: появляются обильные обрастания нитчатыми зелеными водорослями, которые в процессе отмирания и декомпозиции создают угрозу вторичного загрязнения органикой (Горбунова, 2017, 2020; Гудкова и Горбунова, 2018; Гудкова и др., 2022). Кроме того, мелкодисперсные иловые отложения, образованию которых способствуют обозначенные авторами экзогенные геологические и техногенные процессы, способны аккумулировать поступающую в водоток органику. Это, возможно, способствует усилению эвтрофикации в придонном слое воды и, как следствие, стимулирует рост численности водорослей в экспериментах по сравнению с контрольной группой.

Табл. 3. Результаты биотестирования воды руч. Тобиаса с использованием одноклеточных водорослей *Chlorella vulgaris* B.

Станция отбора проб	Отклонение 24 ч (острый опыт)	Критерий достоверности отклонений при $p < 0.05$ ($n = 9$, $td = 2.12$)	Отклонение за 72 ч (подострый опыт)	Критерий достоверности отклонений при $p < 0.05$ ($n = 9$, $td = 2.12$)	Отклонение за 7 сут (хронический опыт)	Критерий достоверности отклонений при $p < 0.05$ ($n = 9$, $td = 2.12$)
1	5.8	-0.57	7.01	-0.88	10.8	-0.98
2	5.2	-0.64	11.8	-1.46	37.5	-2.79
3	7.8	-1.92	18.2	-2.09	47.6	-3.02

Зонирование бассейна ручья Тобиаса по уровню интенсивности природопользования на основе гидробиологических характеристик водотока

В результате исследования были выделены три основных участка бассейна водосбора руч. Тобиаса, различающиеся между собой по характеру воздействия природных и антропогенных факторов.

Первый участок водосбора, приуроченный к верхнему течению руч. Тобиаса (ст. 1), характеризуется сравнительно слабой степенью природной нарушенности. В числе факторов антропогенного влияния для него следует назвать пеший туризм (экотропы, проложенные в основном по просекам зимних горнолыжных трасс), канатные подъемники и некоторые объекты инфраструктуры туристического сервиса (точки быстрого питания, туалеты, палаточный лагерь и пр.). Биоценозы ручья на этом участке соответствуют ксено- олигосапробной зоне с чистой водой и донным субстратом. Несколько сниженное биоразнообразие биоценозов макрозообентоса объясняется их принадлежностью к биотопам креноэпиритрали. Характерные для него сообщества приспособлены к минимальному поступлению органики в среду их обитания и в основном представлены соскребателями и хищниками – ручейниками и плавающими поденками. В экспериментах по биотестированию проб воды этого участка достоверных отклонений от контроля обнаружено не было.

Зона второго участка руч. Тобиаса (ст. 2) также относится к биотопу креноэпиритрали. Антропогенное воздействие на геоэкосистемы бассейна выражается в наличии гостиничного кластера курорта «Красная поляна» – «Поляна 960» и сопутствующих технических сооружений, объектов развлечения и туристской инфраструктуры, станций канатной дороги, многочисленных пешеходных троп и лыжных трасс. Здесь водоток ручья на некоторых участках зарегулирован в коллекторы. Биоиндикаторные характеристики указывают на снижение уровня устойчивости водных биоценозов (индекс Шеннона) и их выравненности (индексы Симпсона и Бергера – Паркера). По сравнению с вышележащим участком наблюдалось снижение численности и видового разнообразия ручейников и увеличение доли личинок двукрылых (Diptera). Биотестирование воды данного участка говорит о присутствии биогенных веществ в пробах; предположительно, именно этот фактор способствует развитию обрастаний зеленых нитчатых водорослей, наблюдаемых при отборе проб.

Устьевой участок руч. Тобиаса (ст. 3) относится к псефоэпиритрали благодаря сильному заилению каменисто-галечного грунта и обильным обрастаниям зелеными нитчатыми водорослями и слизью, не свойственным биотопам горной и предгорной кренали. По результатам биоиндикационного анализа (индекс QMCI 5.44) водоток соответствует β -мезосапробной зоне с умеренно загрязненной водной средой. Биоценоз данного участка характеризуется высоким биоразнообразием, характерным для мезотрофных водотоков, но пониженными показателями устойчивости и высокой степенью доминирования отдельных таксономических групп, что указывает на снижение выравненности биоценоза. Доля организмов ЕРТ, являющихся индикаторами чистой воды, существенно снижена как по численности, так и по видовому составу. Появляются организмы-соскребатели и детритофаги, характерные для водоемов, подверженных эвтрофикации. Результаты биотестирования свидетельствуют о повышенном содержании биогенной органики в среде водотока. Антропогенное воздействие в этой зоне достаточно интенсивно: объекты размещения туристов и общественного питания, автомобильные и железная дороги. Также как и на предыдущем участке, ручей в этой зоне частично зарегулирован в коллектор.

Для подтверждения гипотезы о совпадении экологических зон водотока и его бассейна была проведена лесная и ландшафтная таксация, так как состояние наземных экосистем, в частности, лесных массивов, влияет на режим горных водотоков, качество их донных субстратов и воды, а следовательно, изменяет среду обитания эндемичных биоценозов. Основной древесный состав исследованного участка представлен расстроенными и низкопродуктивными средневозрастными лиственными насаждениями с внеярусной вечнозеленой растительностью, с участием на уровне парцелл и отдельных экосистем: граб, осина, ольха, клен, дуб, бук. По типу гигротопа относится к свежим лесорастительным условиям. Просматриваемость территории > 80 м; плотность подлеска по 4 учетным площадкам 3.4 тыс./га. Напочвенный покров представлен сассапарелем, папоротниками, ежевикой, злаками, лопухом (с температурным поражением листовых пластин), осоками. Полнота неравномерная и низкая – до 0.7; сомкнутость полога 0.8–1.0; бонитет отдельных деревьев и по всей зоне варьирует в диапазоне III–V, то есть анализируемый участок леса не обладает средообразующей функцией, с заниженной естественной устойчивостью к любым факторам (рекреационным, техногенным, биогенным). Площадь залуженных полей $\approx 4 \times 5, 2 \times 2, 3 \times 3, 2 \times 6$ метров, в целом они устойчивы к вытаптыванию благодаря присутствию луговых травянистых компонентов.

На основе вышеприведенного обследования дана оценка антропогенной депривации наземных фитоценозов на лесопокрытых территориях, расположенных в устьевой зоне бассейна руч. Тобиаса и находящихся под воздействием интенсивной рекреационно-туристской деятельности (Табл. 4). Полученные результаты указывают на неудовлетворительное состояние растительных биоценозов исследуемой территории и их уязвимость при рекреационных нагрузках.

Табл. 4. Оценка устьевой зоны бассейна руч. Тобиаса по шкалам ландшафтной таксации.

Класс	Состояние	Характеристика участка
Санитарно-гигиеническая оценка		
3	Плохое	Захламление мертвой древесиной, наличие карьеров и ям, ветренность места, сильное затенение, посторонний шум, избыточное увлажнение, густые заросли
Биологическая устойчивость насаждений		
2–3	Нарушена или утрачена	Отпад более 2 м ³ /га за счет деревьев с диаметром равным или больше среднего
Рекреационная оценка		
3	Плохое	Передвижение ограничено (затруднено) на большем числе направлений. Необходимы большие капитальные затраты по благоустройству
Комфортность микроклимата		
4	Хорошее	Закрытый тип, полнота 0.5–0.7
Кислородная продуктивность		
2	Очень плохое	Насаждения лиственных пород, расстроенные, с низкой и средней продуктивностью, полнотой не ниже 0.6
Технологическая оценка		
3	Плохое	Захламленность (поваленные деревья), 10–20 шт/га
3	Плохое	Изрезанность рельефа – 1–2 перегиба
Естественная комфортность территории		
2	Очень плохое	Густота подроста и подлеска – 3000–10000 шт./га
Устойчивость к рекреационным нагрузкам		
2	Очень плохое	Свежие букняки, каштанники и т.д.

Выводы

Проведенное исследование рекреационно-туристического участка позволило провести зонирование бассейна руч. Тобиаса. На основе биологического анализа были выделены три участка водотока с различными типами биотопа. Исследования геологических и антропогенных факторов и процессов площади водосбора показали совпадение экологических зон ручья и его бассейна, характеризующихся изменением (ухудшением) экологических условий от истока к устью. Следовательно, биологические параметры, отражающие процессы в гидроэкосистемах водотоков, могут применяться в качестве индикаторов состояния природной среды бассейна водных объектов.

Предложенная система гидробиологических индикаторов может быть использована как основной интегральный, относительно недорогой и не требующий специального оборудования инструмент мониторинга при системном комплексном подходе к управлению природными ресурсами на площади водосбора водотоков. Комплексный подход может выступать эффективным инструментом выявления причинно-следственных связей в управлении водными ресурсами, предоставляет своевременную информацию о природных, техногенных и антропогенных нагрузках на водный объект и его отдельные участки, дает возможность прогнозирования развития экологической ситуации в бассейне реки в связи с изменяющимися условиями природопользования.

Список литературы

- Абакумов, В.А., 1983. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Гидрометеоиздат, Ленинград, СССР, 240 с.
- Алимов, А.Ф., 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. Наука, Санкт-Петербург, Россия, 148 с.
- Горбунова, Т.Л., 2017. Использование биоиндикаторов для оценки и мониторинга экологического состояния рек прибрежной зоны Черного моря. *Материалы I Международного экологического форума в Крыму «Крым – эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития»*. Севастополь, Россия, 159–163.
- Горбунова, Т.Л., 2019. Использование биотических индексов ИМС и QИМС для оценки экологического состояния водотоков горного и предгорного кластера на примере рек на территории Большого Сочи. *Инновации и инвестиции* 2, 110–117.
- Горбунова, Т.Л., 2020. Зонирование водотока реки Мзымта на основе интегральной оценки экологического здоровья ее гидробиоценозов. *Сборник статей VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий»*. Сочи, Россия, 104–114.
- Гудкова, Н.К., Горбунова, Т.Л., 2018. Комплексная оценка экологического состояния реки Сочи с использованием методов биоиндикации. *Системы контроля окружающей среды* 13 (33), 101–109.
- Гудкова, Н.К., Горбунова, Т.Л., Любимцев, А.Л., 2018. Идентификация экологических рисков, связанных с развитием рекреационно-туристических регионов Черноморского побережья Кавказа, на примере комплексной оценки экосистемы горной реки Лаура. *Устойчивое развитие горных территорий* 10 (1-35), 23–34. <http://www.doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-1-23-34>
- Гудкова, Н.К., Горбунова, Т.Л., Матова, Н.И., 2022. Исследование влияния геологических факторов на биологические сообщества природного водотока на примере реки Мзымта. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология* 3, 23–33. <http://www.doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/23-33>
- Гудкова, Н.К., Матова, Н.И., Горбунова, Т.Л., 2021. Учет влияния геологических процессов бассейнов рек в интегрированном управлении водными ресурсами. *Фундаментальные исследования* 9, 21–25. <http://www.doi.org/10.17513/fr.43088>

- Дмитриев, В.В., Федорова, И.В., Бирюкова, А.С., 2016. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Часть IV. Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География* 2, 37–53. <http://www.doi.org/10.21638/11701/spbu07.2016.204>
- Король, Л.Г., Солнцев, Г.К., Харитоненко, Б.Я., Маргашов, А.С., 1999. Изменение лесной среды под влиянием рекреационных нагрузок. Краснодарское книжное издательство, Краснодар, Россия, 472 с.
- Матова, Н.И., Шагаров, Л.М., 2021. Особенности экологически ответственного поведения туристов на охраняемых природных территориях. *Современные проблемы сервиса и туризма* 15 (1), 93–106. <http://www.doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-93-106>
- Методическое пособие по экологической оценке инвестиционных проектов. Управление окружающей средой, 2000. УМЦ Госкомэкологии России, Москва, Россия, 45 с.
- Методическое руководство по биотестированию воды, 1991. РД 118-02-90. Госкомприроды СССР, Москва, Россия, 48 с.
- Моисеенко, Т.И., Гашев, С.Н., Шалабодов, А.Д., 2012. Качество вод и устойчивость экосистем: теоретические и прикладные аспекты исследований. *Вестник Тюменского государственного университета* 12, 6–16.
- Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: в 6-ти томах, 1997–2000. Цалолыхин, С.Я. (ред.). Наука, Санкт-Петербург, Россия.
- Розенберг, Г.С., Рянский, Ф.Н., 2005. Теоретическая и прикладная экология. Издательство Нижневартковского педагогического института, Нижневартовск, Россия, 292 с.
- Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов, 2002. РЭФИА, НИА-Природа, Москва, Россия, 132 с.
- Снакин, В.В., 2000. Экология и охрана природы: словарь-справочник. Akademia, Москва, Россия, 384 с.
- Тутькова, Е.А., Григорьев, Ю.С., 2014. Чувствительность биотестов на основе водорослей хлорелла и сценедесмус к тяжелым металлам. *Теоретическая и прикладная экология* 2, 57–60.
- Федосеева, Е.В., Григорьева, И.Ю., Николаева, О.В., Терехова, В.А., 2020. Особенности алыготестирования проб, содержащих растворенное органическое вещество. *Вопросы современной альгологии* 2 (23), 40–45. [http://www.doi.org/10.33624/2311-0147-2020-2\(23\)-40-45](http://www.doi.org/10.33624/2311-0147-2020-2(23)-40-45)
- Чекмарева, Е.А., Григорьева, И.Л., 2019. Донные отложения как источник вторичного загрязнения Ивановского водохранилища. *Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Водохранилища Российской Федерации: Современные экологические проблемы, состояние, управление»*. Сочи, Россия, 437–442.
- Чертопруд, М.В., 2011. Разнообразие и классификация реофильных сообществ макробентоса средней полосы. *Журнал общей биологии* 72 (1), 51–73.
- Шитиков, В.К., Зинченко, Т.Д., 2013. Изменение индексов таксономического разнообразия сообществ макрозообентоса по продольному градиенту рек. *Принципы экологии* 2 (6), 46–56.

- Bennett, H.H., Mullen, M.W., Stewart, P.M., Sawyer, J.A., 2004. Development of an invertebrate community index for an Alabama coastal plain watershed. *Journal of the American Water Resources Association* 40 (1), 43–51.
- Collier, K.J., 2014. Wood decay rates and macroinvertebrate community structure along contrasting human pressure gradients (Waikato, New Zealand). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 48 (1), 97–111.
- Morse, J.C., Bae, Y.J., Munkhjargal, G., Sangpradub, N., Tanida, K. et al., 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (1), 25–43.
- Olomukoro, J.O., Dirisu, A., 2014. Macroinvertebrate community and pollution tolerance index in Edion and Omodo Rivers in derived savannah wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences* 7 (1), 19–24.
- Stribling, J.B., 2011. Partitioning error sources for quality control and comparability analysis in biological monitoring and assessment. In: Eldin, A.B. (editor), *Modern Approaches to Quality Control*. Tech Open Access Publisher, 59–84. <http://www.doi.org/10.5772/22388>

References

- Abakumov, V.A., 1983. Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Guidelines for hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 240 p. (In Russian).
- Alimov, A.F., 2000. Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem [Basics of the theory of functioning of aquatic ecosystems]. Nauka, St. Petersburg, Russia, 148 p. (In Russian).
- Bennett, H.H., Mullen, M.W., Stewart, P.M., Sawyer, J.A., 2004. Development of an invertebrate community index for an Alabama coastal plain watershed. *Journal of the American Water Resources Association* 40 (1), 43–51.
- Chekmareva, E.A., Grigorieva, I.L., 2019. Donnye otlozheniya kak istochnik vtorychnogo zagryazneniya Ivan'kovskogo vodohranilishcha [Bottom sediments as a source of secondary pollution of the Ivankovo reservoir]. *Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-pkakticheskoi konferentsii "Vodohranilishcha Rossiiskoj Federatsii: Sovremennye ekologicheskie problemy, sostoyanie, upravlenie" [Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference "Reservoirs of Russian Federation: Contemporary environmental problems, state, and management."]* Sochi, Russia, 437–442. (In Russian).
- Chertoprud, M.V., 2011. Raznoobrazie i klassifikatsiya reofilnykh soobshchestv makrobentosa srednei polosy [Diversity and classification of the rheophilic communities of macrobenthos in middle latitudes of European Russia]. *Zhurnal obshhej biologii [Biology Bulletin Reviews]* 72 (1), 51–73. (In Russian).
- Collier, K.J., 2014. Wood decay rates and macroinvertebrate community structure along contrasting human pressure gradients (Waikato, New Zealand). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 48 (1), 97–111.
- Dmitriev, V.V., Fedorova, I.V., Birykova, A.S., 2016. Podhody k integra"noi otsenke i GIS-kartografirovaniyu ustoichivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem. Chast' IV. Integral'naya otsenka ekologicheskogo blagopoluchiya nazemnykh i vodnykh geosistem [Approaches to assessment and GIS mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. Part IV. Integrated assessment of ecological well-being of terrestrial and aquatic ecosystems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya [Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography]* 2, 37–53. (In Russian). <http://www.doi.org/10.21638/11701/spbu07.2016.204>

- Fedoseeva, E.V., Grigorieva, I.Yu., Nikolaeva, O.V., Terekhova, V.A., 2020. Osobennosti al'gotestirovaniya prob, sodержashchikh rastvorennoe organicheskoe veshchestvo [Features of algae tests of samples containing dissolved organic matter]. *Voprosy sovremennoi al'gologii [Issues of Modern Algology]* **2** (23), 40–45. (In Russian). [http://www.doi.org/10.33624/2311-0147-2020-2\(23\)-40-45](http://www.doi.org/10.33624/2311-0147-2020-2(23)-40-45)
- Gorbunova, T.L., 2017. Ispol'zovanie bioindikatorov dlya otsenki i monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya rek pribrezhnoi zony Chernogo morya [Application of bioindicators for rivers' environmental state assessment and monitoring in the coastal zone of the Black Sea]. *Materialy I Mezhdunarodnogo ekologicheskogo foruma v Krymu "Krym – ekologo-ekonomicheskii region. Prostranstvo noosferogo razvitiya."* [Proceedings of the I International environmental forum in Crimea "Crimea as environmental and economical regions. Space for noosphere development."]. Sevastopol, Russia, 159–163. (In Russian).
- Gorbunova, T.L., 2019. Ispol'zovanie bioheskikh indeksov IMC i QIMC dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya vodotokov gornogo i predgornogo klastera na primere rek na territory Bol'shogo Sochi [Using the IMC and QIMC biotic indices to assess the ecological state of mountain and foothill cluster watercourses on the example of rivers in the Greater Sochi area]. *Innovatsii i investitsii [Innovations and Investments]* **2**, 110–117. (In Russian).
- Gorbunova, T.L., 2020. Zonirovanie vodotoka reki Mzymta na osnove comprehensivenoi otsenki ekologicheskogo zdorovya ee gidrobiotsenozov [Zoning of the Mzymta River on the basis of an integrated assessment of the ecological health of its aquatic biocenoses]. *Sbornik statei VII Vserossiiskoi (natsionalnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ustoichivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii"* [Collection of area no.s of the VII All-Russian (national) scientific-practical conference "Sustainable development of protected areas"]. Sochi, Russia, 104–114. (In Russian).
- Gudkova, N.K., Gorbunova, T.L., 2018. Kompleksnaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya reki Sochi s ispolzovaniem metodov bioindikatsii [A comprehensive assessment of the Sochi River ecological status using the bioindication methods]. *Sistemnyi kontrol' okruzhayushchei sredy [Monitoring system of environment]* **13** (33), 101–109. (In Russian).
- Gudkova, N.K., Gorbunova, T.L., Lyubimtsev, A.L., 2018. Identifikatsiya ekologicheskikh riskov, svyazannykh s razvitiem rekreatsionno-turisticheskikh regionov Chernomorskogo poberezhya Kavkaza, na primere kompleksnoi otsenki ekosistemy gornoj reki Laura [The identification of the ecological risks concerning the recreation-tourist regions development of the Caucasian coast of the Black Sea using the complex estimation of the ecosystem of the mountain river Laura]. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii [Sustainable Development of Mountain Territories]* **10** (1-35), 23–34. (In Russian). <http://www.doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-1-23-34>
- Gudkova, N.K., Gorbunova, T.L., Matova N.I., 2022. Issledovanie vliyaniya geologicheskikh faktorov na biologicheskie soobshhestva estestvennykh vodotokov na primere reki Mzymta [Study of the influence of geological factors on the biological communities of a natural watercourse on the example of the Mzymta River]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]* **3**, 23–33. (In Russian). <http://www.doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/3/23-33>
- Gudkova, N.K., Matova, N.I., Gorbunova, T.L., 2021. Uchet vliyaniya geologicheskikh protsessov basseinov rek v comprehensive'nom upravlenii vodnymi resursami [Accounting for the impact of the geological processes of catchment basin applying integrated water resources management]. *Fundamentalnye issledovaniya [Fundamental Research]* **9**, 21–25. (In Russian). <http://www.doi.org/10.17513/fr.43088>
- Korol, L.G., Solntsev, G.K., Kharitonenko, B.Ya., Margashov, A.S., 1999. Izmeneniya lesnoi sredy pod vliyaniem rekreacionnykh nagruzok [Changes in the forest environment under the influence of recreational loads]. Krasnodar Book Publishing House, Krasnodar, Russia, 472 p. (In Russian).

- Matova, N.I., Shagarov, L.M., 2021. Osovennosti ekologicheskoi otvetstvennogo povedeniya turistov na okhranyaemykh prirodnykh territoriyakh [Special aspects of environmentally responsible behavior of tourists in protected areas]. *Sovremennye problemy servisa i turizma [Service and Tourism: Current Challenges]* 15 (1), 93–106. (In Russian). <http://www.doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-93-106>
- Metodicheskoe posobie po ekologicheskoi otsenke investicionnykh proektov. Menedjment okruzhayushchei sredy [Methodological guide on environmental assessment of investment projects. Environmental Management], 2000. NUMC of the State Committee of Ecology of Russia, Moscow, Russia, 45 p. (In Russian).
- Metodicheskoe rukovodstvo po biotestirovaniyu vody [Methodological guide to water biotesting], 1991. RD 118-02-90. Goskomprirody USSR, Moscow, Russia, 48 p. (In Russian).
- Moiseenko, T.I., Gashev, S.N., Shalabodov, A.D., 2012. Kachestvo vody i stabil'nost' ekosistemy: teoreticheskie i prakticheskie aspekty issledovaniya [Water quality and stability of ecosystem: theoretical and practical aspects of research]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Tyumen State University]* 12, 6–16. (In Russian).
- Morse, J.C., Bae, Y.J., Munkhjargal, G., Sangpradub, N., Tanida, K. et al., 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (1), 25–43.
- Olomukoro, J.O., Dirisu, A., 2014. Macroinvertebrate community and pollution tolerance index in Edion and Omodo Rivers in derived savannah wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences* 7 (1), 19–24.
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii: v 6 tomakh [Taxonomic key of freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories: in 6 volumes], 1997–2000. Tsalolikhin, S. Ya. (ed.). Nauka, Saint Petersburg, Russia. (In Russian).
- Rozenberg, G.S., Ryanskii, F.N., 2005. Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and applied ecology]. Publishing House of the Nizhnevartovsk Pedagogical Institute, Nizhnevartovsk, Russia, 292 p. (In Russian).
- Rukovodstvo po metodam biotestirovaniya toxichnosti vod, donnykh otlozhenii, zagryaznyayushchikh veshchestv i burovykh rastvorov [Guidelines for determining the toxicity of waters, bottom sediments, pollutants and drilling fluids by biotesting], 2002. REFIA, NIA-Priroda, Moscow, Russia, 132 p. (In Russian).
- Shitikov, V.K., Zintchenko, T.D., 2013. Izmenenie indeksov taksonomicheskogo raznoobraziya soobshchestv macrozoobentosa po prodol'nomu gradientu rek [Variability indexes of a taxonomic diversity of macrozoobentos communities on the longitudinal gradient of the rivers]. *Printsipy ekologii [Principles of Ecology]* 2 (6), 46–56. (In Russian).
- Snakin, V.V., 2000. Ekologiya i okhrana prirody: slovar'-spravochnik [Ecology and nature protection: reference dictionary]. Akademia, Moscow, Russia, 384 p. (In Russian).
- Stribling, J.B., 2011. Partitioning error sources for quality control and comparability analysis in biological monitoring and assessment. In: Eldin, A.B. (editor), *Modern Approaches to Quality Control*. Tech Open Access Publisher, 59–84. <http://www.doi.org/10.5772/22388>
- Tyutkova, E.A., Grigoriev, Y.S., 2014. Chuvstvitel'nost' biotestov na osnove vodoroslei *Chlorella* i *Scenedesmus* k tyazhelym metallam [The sensitivity of biotests based on the *Chlorella* and *Scenedesmus* algae to heavy metals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]* 2, 57–60. (In Russian).