

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

УДК 504:574.5

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-2-25-37

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ВЕРХОВЬЕВ РЕКИ МЗЫМТА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ МАКРОЗООБЕНТОСА

Потиевская Н. А.¹, Горбунова Т. Л.², Зуева Н. В.¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет
192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Российская Федерация

² Институт природно-технических систем, филиал в г. Сочи
35402, г. Сочи, Курортный пр., д. 99/18, Российская Федерация

Аннотация

Цель. Провести оценку качества вод верховьев р. Мзымта в летний период 2019–2020 гг. с использованием гидробиологических показателей.

Процедура и методы. Работы выполнены в июле 2019 и 2020 гг. на 2 станциях, характеризующихся различной степенью антропогенного воздействия. Использованы методы, основанные на анализе данных о макрозообентосе. Определён таксономический состав и численность донных беспозвоночных. Рассчитаны индексы Шеннона, Бергера–Паркера, Вудивисса, Маргалефа, ЕРТ, BMWP, сапробности по Чертопруду и Пантле–Букку.

Результаты. Таксономический состав зообентоса верхнего течения р. Мзымта в основном обычен для ритрали горных рек Причерноморья. Обнаружены новые для данного водотока таксоны: брюхоногие моллюски *Physa fontinalis* и *Ancylus* sp. Значения рассчитанных индексов в целом свидетельствуют об относительной чистоте вод. Увеличение уровня сапробности до β-мезосапробного уровня говорит о повышенном, по отношению к фону, содержании органического вещества. Прослеживается тенденция к некоторому ухудшению состояния водотока вниз по течению совместно с нарастанием антропогенной нагрузки.

Теоретическая и/или практическая значимость. Полученные результаты могут быть положены в основу оценки изменений экосистемы реки вследствие антропогенного воздействия, а также могут быть использованы при разработке природоохранных рекомендаций для деятельности на водосборе данного водотока.

Ключевые слова: биоиндикация, таксономическое разнообразие, Восточное Причерноморье, Кавказ, Краснодарский край, сапробность, экологическое состояние

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN THE UPPER MZYMTA RIVER BY CHARACTERISTICS OF MACROZOOBENTHOS

N. Potievskaya¹, T. Gorbunova², N. Zueva¹

¹ Russian State Hydrometeorological University
ul. Voronezhskaya 79, St. Petersburg 192007, Russian Federation

² Institute of Natural and Technical Systems, Branch in Sochi
Kurortnyi prosp. 99/18, Sochi 354023, Russian Federation

Abstract

Aim. The purpose of the paper is to assess the water quality in the upper Mzymta River in the summer period of 2019–2020 using hydrobiological indicators.

Methodology. The work was carried out in July 2019 and 2020 at two stations, which are characterized by varying degrees of the anthropogenic impact. Methods based on the analysis of macrozoobenthos data were used. The taxonomic composition and abundance of benthic invertebrates were determined. The Shannon diversity index, the Berger–Parker index, Woodiwiss, the Margalef diversity index, EPT, BMWP, Pante–Buck saprobity index, and the index modified by M.V. Chertoprud saprobity index were calculated.

Results. The taxonomic composition of the zoobenthos in the upper the Mzymta River is mainly common for the ritral zone of the mountain rivers of the Black Sea region. New taxa were discovered for this watercourse: gastropods *Physa fontinalis* and *Ancylus* sp. The values of the calculated indices generally indicate the relative purity of the river water. An increase in the level of saprobity to the β -mesosaprobic level indicates an elevated, against the background, content of the organic substance. There is a tendency for some deterioration of the condition of the watercourse downstream, together with an increase in anthropogenic load.

Research implications. The obtained results can form the basis for assessing changes in the ecosystem of the river as a consequence of the anthropogenic impact. They can be used in the development of environmental recommendations for activities in the catchment area of this watercourse.

Keywords: bioindication, taxonomic diversity, Eastern Black Sea region, Caucasus, Krasnodar Krai, saprobity, ecological status

Введение

Сообщества макрозообентоса горных рек Восточного Причерноморья описаны в ряде работ [15; 16; 17; 19; 20; 22]. В целом такие водотоки характеризуются высокими скоростями течений и твёрдым (скальным или каменистым) грунтом. Эти факторы, наряду с температурой и освещённостью, будут определять развитие донных беспозвоночных. Кроме того, для этих рек показано, что формирование сообществ макрозообентоса зависит

от типа истока, общей минерализации и химического состава воды [16]. В работах М. В. Чертопруда [20; 21] такие сообщества горных рек названы термином «ритраль».

Сообщества донных макробеспозвоночных верхнего течения р. Мзымта также относятся к этому типу. Эколого-гидрологическое зонирование этой реки дано в работе Т. Л. Горбуновой «Сапробность рек Сочинского национального парка» [7]. На водотоке выделено 3 зоны:

эпиритраль, эуритраль, гипоритраль. Верхнее течение полностью представлено эпиритралью. Биоиндикация с использованием индексов и метрик, рассчитываемых на основе данных о зообентосе, будет иметь здесь ряд особенностей. Это связано с тем, что организмы приспособлены к обитанию в ксено- и олигосапробной зонах с низкими температурами, бурным течением, высоким уровнем растворённого кислорода и низким уровнем трофности [5].

Река Мзымта – одна из самых крупных и многоводных рек Краснодарского края, впадающая в Чёрное море (рис. 1). Её длина составляет 89 км, бассейн занимает площадь 896 км², ограничен Главным Кавказским горным хребтом. Средний

годовой расход воды 55,3 м³/с [1]. Данный водоток служит одним из важных источников водоснабжения на территории Большого Сочи.

Система этой реки – важнейшие природные водотоки, протекающие через территорию Кавказского государственного биосферного заповедника. В 1999 г. территория заповедника была включена в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Изучение экосистем для данного района имеет огромное значение, в т. ч. в связи с планами расширения горного кластера туристической активности.

В последнее десятилетие антропогенная нагрузка на водоток усиливается, это может привести к ухудшению качества её воды. Так, водосбор реки подвергся существенной антропоген-

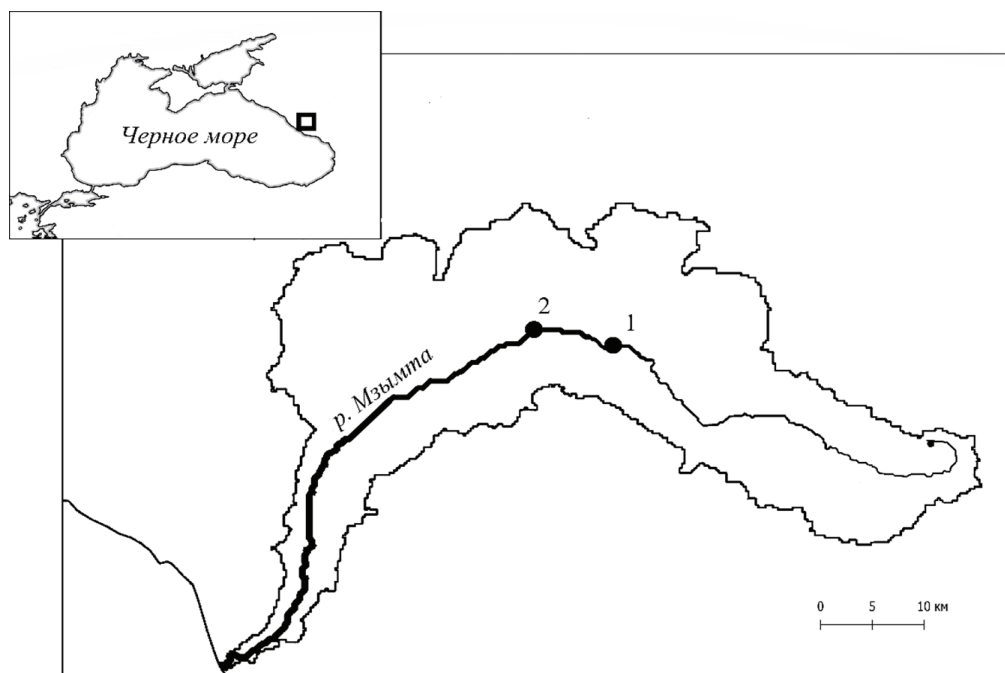


Рис. 1 / Fig. 1 Река Мзымта, её водосбор и расположение станций полевых работ / Mzymta River, catchment area of the river and location of fieldwork stations

Источник: составлено авторами

ной трансформации при подготовке к Олимпиаде–2014 и дальнейшем развитии горных курортов района [9; 10] В бассейне р. Мзымта в настоящее время находятся курорты («Роза Хутор» и некоторые др.) и спортивные сооружения. Тут было произведено масштабное изменение ландшафта площадью более 600 га, включающее массовые вырубki коренных лесов [2]. Вследствие сведения леса активизировались селевая и оползневая деятельности, что привело к поступлению пород в воды реки и увеличению мутности [2; 10]. Кроме этого, в процессе строительства транспортных магистралей (авто- и железной дорог) были практически полностью уничтожены экосистемы, находящиеся на пойменной террасе р. Мзымта [2]. Вдоль федеральной трассы Adler – Красная Поляна выявлена техногенная локальная геохимическая аномалия – повышение содержания свинца, нефтепродуктов, хрома [10].

Химический состав воды р. Мзымта характерен и для других горных рек черноморского побережья Кавказа. Воды слабоминерализованы и относятся к гидрокарбонатному типу, группе кальция, содержание соединений меди, железа, алюминия, марганца повышено. Так, например, в 2018–2020 гг. зафиксированы особенно высокие концентрации соединений марганца (выше 20 ПДК) и меди (выше 10 ПДК). Степень загрязнённости реки в устьевом створе в период 2016–2020 гг. варьируется в диапазоне *слабозагрязнённая – очень загрязнённая*. Надо отметить, что такая оценка качества воды связана не только с антропогенными факторами, но и с природными¹.

¹ Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2016. Ростов-на-

Таким образом, целью данного исследования является оценка качества вод верхнего течения р. Мзымта по характеристикам макрозообентоса в летний период 2019–2020 гг.

Полевые работы на р. Мзымта проведены в июле в 2019 г. и 2020 г. Станции полевых исследований расположены на 2 участках верхнего течения реки (рис. 1).

Отбор проб зообентоса выполнен вручную с использованием рамки 25x25 см с глубин 0,2–0,5 м. Пробы отобраны в двукратной повторности. Они помещались в промывочное сито из газа № 23, откуда обнаруженные организмы переносились в 75% раствор этилового спирта [2]. Определение организмов выполнено в лаборатории экономики природопользования и экологии филиала института природно-технических систем в г. Сочи по Определителю пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий [14].

По полученным данным о численности организмов рассчитаны биотические индексы и характеристики разнообразия. Использовались следующие метрики: индексы Шеннона, Бергера–Паркера, Вудивисса, Маргалефа, ЕРТ (Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera), BMWP (Biological Monitoring Working Party Index), а также

Дону, 2017. 555 с.; Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2017. Ростов-на-Дону, 2018. 561 с.; Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2018. Ростов-на-Дону, 2019. 575 с.; Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2019. Ростов-на-Дону, 2020. 578 с.; Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник 2020. Ростов-на-Дону, 2021. 612 с.

индексы сапробности по Чертопруду и Пантле–Букку [4; 18; 19].

Для построения карт и выделения водосборных бассейнов в работе использованы спутниковые снимки. Их обработка выполнена в программах QGIS и SAGA GIS.

Характеристика исследованных станций:

1. Станция 1 – участок верхнего течения реки (рис. 1). На участке каменистое, валунно-галечное и не заиленное дно. Температура воды здесь низка, а содержание растворенного кислорода – высоко [1]. Ширина русла составляет 42 м, средняя скорость течения – 3 м/с [1]. Данный участок определен как фоновый для ритрали реки [3].

2. Станция 2 – расположена ниже по течению ст. 1 в пос. Красная Поляна, т. е. ниже пос. Роза Хутор и Эсто-Садок (рис. 1). Это область горного водотока с валунно-галечным, незаиленным субстратом, покрытым пленкой альгообрастаний, затененным вдоль берега руслом, низкой температурой воды и высоким содержанием в ней кислорода [5]. Скорость течения составляет 3–5 м/с [1]. Ширина водотока на исследованном участке 35–36 м, максимальная зафиксированная глубина – 1,1 м.

Оценка качества вод р. Мзымта

Таксономический состав. В пробах на всех станциях полевых исследований в течение 2019–2020 гг. были обнаружены личинки представители класса *Insecta* (насекомые): Tricoptera (ручейники), Ephemeroptera (подёнки), Plecoptera (веснянки), Diptera (двукрылые), Odonata (стрекозы), Coleoptera (жуки), а также класса *Gastropoda* (брюхоногие моллюски). Всего определено 39 таксонов беспозвоночных.

В 2019 г. таксономическое богатство на ст. 1 составило 21 таксон, на ст. 2 оно было ниже, здесь обнаружен 13 таксон донных беспозвоночных. Таксонов, встреченных на обеих станциях, насчитывается 7: *Glossoma capitatum*, *Rhyacophila* sp., *Epeorus* sp., *Rhithrogena* sp., *Baetis* sp., *Blepharicera fasciata*, *Liponeura decipiens*.

Различие между станциями выражено в большем богатстве внутри таксономических групп Ephemeroptera (подёнки) и Diptera (двукрылые), а также наличием личинок отрядов Odonata (стрекозы) – на ст. 1 и Coleoptera (жуки) на ст. 2.

В 2020 г. таксономическое богатство на станциях 1 и 2 одинаково – 13 таксонов, 7 из которых (*Simulium ornatum*, *Ablabesmyia* sp., *Tanytarsus* sp., *Cryptochironomus* sp., *Blepharicera fasciata*, *Rhithrogena* sp. *Glossoma capitatum*) обнаружены на обоих исследованных участках реки. На станциях наблюдается относительно высокое видовое богатство отряда Diptera (двукрылые), он представлен 6 таксонами на ст. 1 и 5 – на ст. 2. Различие в составе заключается в наличии Ephemeroptera (подёнки) только на ст. 1, Gastropoda (брюхоногие моллюски) – только на ст. 2.

При сравнении составов беспозвоночных за 2019–2020 гг. обнаружены постоянные таксоны: личинки ручейников *Glossoma capitatum*, подёнок родов *Baetis* и *Rhithrogena*, и двукрылых *Blepharicera fasciata*, встречающиеся на всех станциях. Однократно были обнаружены представители таксономических групп Coleoptera (Жуки), Odonata (стрекозы) и Gastropoda (брюхоногие моллюски).

Численность бентоса на ст. 1 в 2019 г. (886 экз./м²) в 1,5 раза превышает численность на ст. 2 (528). В 2020 г. наблю-

далась обратная картина: численность бентосных организмов на ст. 2 была более чем в 2 раза выше (1168), чем на ст. 1 (486 экз./м²).

Состав доминирующих по численности таксонов менялся. Так, на ст. 1 в 2019 г. преобладают двукрылые *Liponeura decipiens* (20% от общей численности), субдоминирующее положение занимают подёнки *Epeorus* sp. и двукрылые *Simulium ornatum* (по 14%). В 2020 г. на этой же станции доминантом выступают двукрылые *Blepharicera fasciata* (20%), менее обильны по численности подёнки родов *Baetis* и *Rhithrogena* (по 13%).

Доминирующее положение на ст. 2 в 2019 г. у подёнок *Baetis* sp. (18% численности), субдоминирующее – у двукрылых *Blepharicera fasciata*, ручейников *Glossoma capitatum*, подёнок *Epeorus* sp. и веснянок *Taeniopterix caucasica* (по 12%). В 2020 г. преобладают двукрылые *Cryptochironomus* sp. (18%), следующие по численности таксоны – двукрылые *Tanytarsus* sp. (16%) и *Blepharicera fasciata* (14%).

Таким образом, в исследованный период преимущественно преобладали представители отряда Diptera (двукрылые) и лишь однажды – Ephemeroptera (подёнки). О. С. Денисенко в своей работе [13] отмечал Diptera (двукрылые) как занимающих субдоминирующее положение, а доминантами являлись Tricoptera (ручейники). Во время данных исследований Tricoptera (ручейники) чаще всего были малочисленны, а субдоминантами в донных сообществах регулярно выступали Ephemeroptera (подёнки).

В целом таксономический состав, выявленный на исследованных станциях, характерен для водотоков горных

рек Восточного Причерноморья [16]. Описанные беспозвоночные – обычные обитатели горных водотоков с быстрым течением воды и твёрдым субстратом. Однако нужно отметить, что в 2020 г. в пробах (ст. 2) были обнаружены брюхоногие моллюски (Gastropoda): *Physa fontinalis* и *Ancylus* sp., ранее в реке не фиксировавшиеся. Причём в работе Т. Л. Горбуновой «Зонирование водотока реки Мзымта на основе интегральной оценки экологического здоровья ее гидробиоценозов» [5] полное отсутствие моллюсков названо специфической чертой зообентосного сообщества р. Мзымта.

Ancylus sp. – обычные моллюски для ритрали рек Восточного Причерноморья [16]. В притоках р. Мзымта (р. Ачипсе и р. Лаура) находки данных организмов происходили и ранее [12]. В р. Мзымта эти брюхоногие моллюски могли попасть с водами притока (руч. Мельничный), устье которого расположено в непосредственной близости от станции отбора проб.

Представители *Physa fontinalis* ранее в водотоке не отмечались [5; 8; 13]. Для горных рек района данные брюхоногие характерны только для устьевых зон с замедленным течением, илистыми донными отложениями и высокой сапробностью. Так, например, они отмечены в нижнем течении р. Сочи [11].

Биоиндикационные показатели и индексы. Гидробиологические данные о составе бентосных сообществ 2 участков р. Мзымта были свёрнуты в несколько индексов. Результаты их расчёта по материалам 2019 и 2020 гг. представлены в таблице 1.

Значения индексов Шеннона и Маргалефа, в целом, указывают на высокое разнообразие, индекс Пиелу

Таблица 1 / Table 1

**Индексы и характеристика воды исследованных станций р. Мзымта (2019–2020) /
Indices and characteristics of the water of the studied stations of the Mzymta
River (2019–2020)**

Индекс	Станция 1		Станция 2	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Шеннона	3,7	3,4	3,4	2,4
Маргалефа	3,4	3,5	5,0	2,8
Пиелу	0,9	0,9	0,9	0,7
Бергера–Паркера	0,2	0,2	0,2	0,2
Вудивисса	10 Очень чистая	8 Чистая	7 Чистая	8 Чистая
ЕРТ	11	7	10	6
BMWP	99 Хорошее качество	62 Хорошее качество	88 Хорошее качество	63 Хорошее качество
Сапробность (по Чертопруду)	1,3 Олигосапроб- ная зона	1,7 β -мезоса- пробная зона	1,2 Олигосапроб- ная зона	1,6 β -мезоса- пробная зона
Сапробность (по Пантле–Букку)	0,8 Ксеносапроб- ная зона	1,2 Олигосапроб- ная зона	0,6 Ксеносапроб- ная зона	1,5 Олигосапроб- ная зона

Источник: составлено авторами

свидетельствует о выравнивании таксонов в сообществах, а индекс Бергера–Паркера демонстрирует отсутствие сильного доминирования какого-либо таксона в донных сообществах за весь исследованный период.

Обращает на себя внимание уменьшение значений индексов на ст. 2 в 2020 г. В это период здесь фиксируется наименьшее разнообразие как по индексу Шеннона, так и Маргалефа. Также ниже выравнивость (по Пиелу), чем на других станциях. Для ст. 1 можно говорить о несколько большей стабильности характеристик бентоценозов, т. к. здесь меньше выражено колебание в разнообразии и выравнивании сообществ между годами исследования.

Биоиндикационные показатели (индексы Вудивисса, ЕРТ, BMWP), рассчитанные на основе данных о зообентосе, позволяют оценить качество вод как «хорошее» на обеих станциях. Причём по данным 2019 г. значения большинства индексов качества выше т. е. качество вод – лучше.

Оценка сапробности верхнего течения реки при оценке индексом в модификации Чертопруды даёт более высокие значения, чем по Пантле и Букку. Тенденция изменения в значениях этих индексов одинакова: сапробность больше в 2020 г. На обеих станциях реки она переходит из одного класса в другой – характеризующийся большим содержанием органических веществ в водо-

токе. Причём для ст. 2 межгодовое изменение сапробности, оцениваемое по Патле–Букку, – наибольшее. Она переходит от класса «ксеносапробная зона» до пограничного значения – 1,5 между олиго- и β-мезосапробной зонами.

Сопоставляя результаты расчётов с опубликованными данными за 2016–2017 гг. [6; 12] можно отметить, что для фоновой ст. 1 значения индексов сапробности (по Пантле и Букку) и Вудивисса сохранились на близком уровне (1,4 – олигосапробная зона и 10 – условная чистая, соответственно).

Большинство опубликованных работ [6; 7] содержат гидробиологическую или экологическую характеристики нижнего течения р. Мзымта. Это зона гипоритрали, которая отличается низкой скоростью течения, накоплением илистого материала и т. д. Однако значения индексов, приводимые для этого приустьевого участка реки, близки к рассчитанным для «горной» ст. 2. в 2020 г. Так, по индексу сапробности (по Пантле–Букку) нижнее течение реки в 2016–2018 гг. относится к переходной зоне между олиго- и β-мезосапробной (1,5). Значение индекса Вудивисса характеризует воду как чистую (7). Таксономическое разнообразие, оценённое индексом Шеннона, – выше среднего для участков гипоритрали рек района (2,3). Выравненность (по Пиелу) характеризуется как низкая – 0,6 [7].

Можно предположить, что увеличение индекса сапробности в верховьях реки, особенно в районе ст. 2, до значений, характерных для низовий реки, – β-мезосапробной зоны (или переходной между олиго- и β-мезосапробной) – свидетельствует об увеличении уровня поступления органических веществ в водоток на данном участке.

Таким образом, сложившаяся ситуация может быть связана с изменениями на водосборе, затрагивающими в т. ч. область, относимую ранее к «фоновой». Так, площадь особо охраняемых природных территорий была сокращена, в т. ч. за счёт выделения из них части долины р. Мзымта в верхнем течении [2]. Для визуализации источников антропогенного воздействия на исследованные участки водотока были выделены подбассейны (частные водосборные бассейны) главного бассейна р. Мзымта, которые показывают территорию, с которой происходит сток в реку (рис. 2).

Участки в бассейне реки были трансформированы при подготовке к Олимпиаде 2014 г. и дальнейшем развитии туристической индустрии района. Сведение леса при создании спортивной инфраструктуры в бассейне реки приводит к увеличению поверхностного стока, с которым минеральные и органические компоненты попадают в водный объект. Расположенные в бассейне реки населённые пункты также являются источниками антропогенного воздействия, приводящего к некоторому ухудшению качества вод от ст. 1 вниз по течению к ст. 2.

Заключение

Таксономический состав зообентоса верхнего течения р. Мзымта обычен для ритрали горных рек Причерноморья. Обнаружение новых для водотока р. Мзымта брюхоногих моллюсков (*Physa fontinalis*, *Ancylus* sp.) может свидетельствовать о перестройке бентосных сообществ водотока. Это вызывает некоторую обеспокоенность, т. к. вид *Physa fontinalis* не характерен для ритрали и его появление может яв-

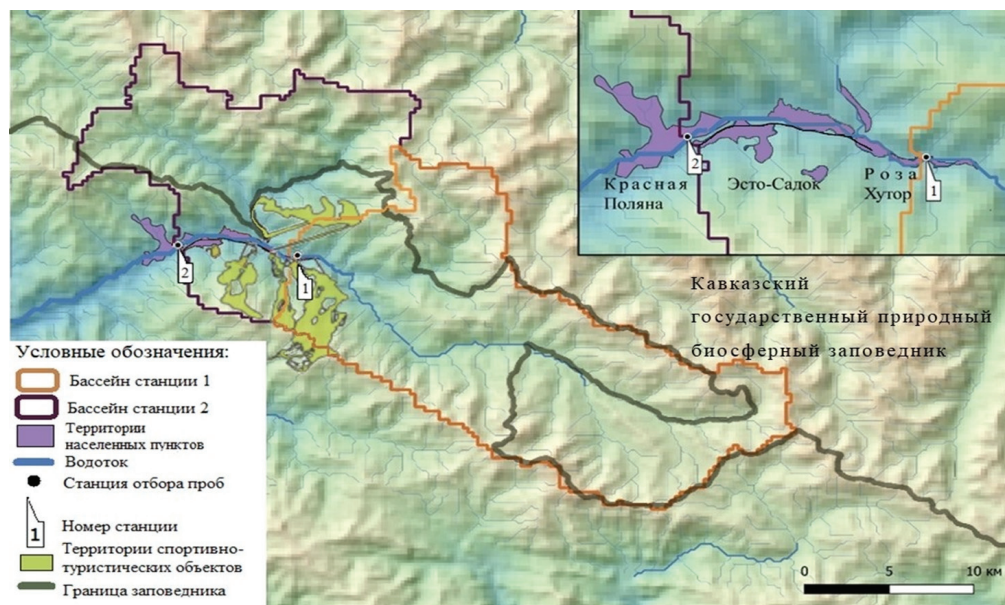


Рис. 2 / Fig. 2 Частные водосборные бассейны исследованных станций и антропогенно-трансформированные территории на них / Catchment basins of the studied stations and anthropogenically transformed territories on the basins

Источник: составлено авторами

ляться следствием антропогенной деятельности на водосборе реки.

Полученные в ходе работ значения индексов свидетельствуют об относительной чистоте вод изученной части реки. Однако увеличение уровня сапробности на участках верхнего течения до β -мезосапробного уровня, характерного для нижнего течения этого водотока, говорит о повышенном, по

отношению к фоновому уровню, содержании органического вещества.

Прослеживается тенденция к некоторому ухудшению состояния водотока по большинству рассчитанных биоиндикационных показателей и индексов вниз течению. Это, по-видимому, является следствием нарастания антропогенной нагрузки на водосбор и, непосредственно, на реку.

Статья поступила в редакцию 30.03.2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешина Е. А., Свиarenко В. С. Гидрологическая характеристика и основные морфометрические параметры бассейна реки Мзымта // Экология речных ландшафтов: сб. ст. III междуна. науч. экол. конф. / под ред. Н. Н. Мамась. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. С. 23–29.
2. Бринних В. А. Во что Сочинская Олимпиада обошлась природе // Астраханский вестник экологического образования. 2014. № 2 (28). С. 56–67.
3. Горбунова Т. Л. Разработка и апробация мультиметрического биотического индекса для оценки экологического состояния рек на территории Большого Сочи // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 3 (37). С. 51–59.

4. Горбунова Т. Л. Анализ трансформации гидробиоценозов горных рек в регионах с рекреационно-туристской специализацией // Актуальные направления сбалансированного развития горных территорий в контексте междисциплинарного подхода: мат-лы научн. конф. / отв. ред. П. А. Кипкеева. Карачаевск, 2019. С. 232–237.
5. Горбунова Т. Л. Зонирование водотока реки Мзымта на основе интегральной оценки экологического здоровья ее гидробиоценозов // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: сб. ст. VII Всерос. науч.-практ. конф. / под ред. Л. М. Шагарова. Сочи, 2020. С. 104–114.
6. Горбунова Т. Л. 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. 2019. № 2. С. 110–117.
7. Горбунова Т. Л. Сапробность рек Сочинского национального парка // Биота и среда заповедных территорий. 2020. № 2. С. 49–62.
8. Горбунова Т. Л., Матова Н. И. Методология мониторинга и управления экологическим состоянием рек с использованием интегральных биоиндикаторов методов управления качеством // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 4 (46). С. 483–492.
9. Гудкова Н. К. Олимпийский проект в Сочи: экологические аспекты // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 91–94.
10. Гудкова Н. К. Идентификация факторов негативного влияния на водные экосистемы в условиях расширения курортов в Сочинском регионе // Успехи современного естествознания. 2020. № 9. С. 46–51.
11. Гудкова Н. К., Горбунова Т. Л. Комплексная оценка экологического состояния реки Сочи с использованием методов биоиндикации // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 13 (33). С. 101–109.
12. Гудкова Н. К., Горбунова Т. Л., Любимцев А. Л. Идентификация экологических рисков, связанных с развитием рекреационно-туристических регионов черноморского побережья Кавказа на примере комплексной оценки экосистемы горной реки Лаура // Устойчивое развитие горных регионов. 2018. Т. 10. № 1 (35). С. 23–34.
13. Денисенко О. С. Гидробиологическая характеристика бассейна реки Мзымта в современных экологических условиях // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 11. С. 7–15.
14. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. / ред. С. Я. Цалолихин. Спб.: Наука, 2004. 528 с.
15. Палатов Д. М. Высотная изменчивость реофильных сообществ макробентоса Кавказа и Закавказья // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана: мат-лы II Всерос. школы-конф. Борок, 2014. С. 314–317.
16. Палатов Д. М., Чертопруд М. В. Сообщества макрозообентоса плотных грунтов водотоков Восточного Причерноморья // Экология. 2018. № 1. С. 66–73.
17. Палатов Д. М., Чертопруд М. В., Фролов А. А. Фауна и типы сообществ макрозообентоса мягких грунтов водотоков горных районов Восточного Причерноморья // Биология внутренних вод. 2016. № 2. С. 45–55.
18. Семенченко В. П. Принципы и системы биоиндикации текущих вод. Минск: Орех, 2004. 125 с.
19. Чертопруд М. В. Модификация метода Пантле–Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 337–342.

20. Чертопруд М. В. Реофильные сообщества макробентоса Северо-Западного Закавказья // Мат-лы IV Всерос. симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым и X Трихоптерологического симпозиума. Владикавказ: СОГУ, 2010. С. 131–135.
21. Чертопруд М. В. Структурная изменчивость литореофильных сообществ макробентоса // Журнал общей биологии. 2007. Т. 68. № 6. С. 424–434.
22. Чертопруд М. В., Песков К. В. Биогеография реофильного макробентоса Юго-Восточной Европы // Журнал общей биологии. 2007. Т. 68. № 1. С. 52–63.

REFERENCES

1. Aleshina E., Svinarenko V. [Hydrological characteristics and main morphometric parameters of the basin of the Mzymta River]. In: Mamas N. N., ed. *Ekologiya rechnykh landshaftov: sbornik statei 3ed mezhdunarodnoi nauchnoi ekologicheskoi konferentsii* [Ecology of river landscapes: a collection of articles of 3^d International Scientific Environmental Conference], Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin Publ., 2019, pp. 23–29.
2. Brinikh V. [What is the impact of The Sochi Olympics on the nature?]. In: *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan journal of environmental education], 2014, no. 2 (28), pp. 56–67.
3. Gorbunova T. L. [Developing and testing the multi-metric biotic index for the river ecological status assessment on the Greater Sochi territory]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* [Environmental control systems], 2019, no. 3 (37), pp. 51–59.
4. Gorbunova T. L. [The analysis of hydrobiocenoses of mountain rivers in areas with recreation and tourism specialization]. In: *Aktualnye napravleniya sbalansirovannogo razvitiya gornyykh territorii v kontekste mezhdistiplinarnogo podkhoda: materialy nauchnoi konferentsii* [Current directions of the balanced development of mountain territories in the context of an interdisciplinary approach: materials of the scientific conference]. Karachaevsk, 2019, pp. 232–237.
5. Gorbunova T. L. [Zoning of the Mzymta River watercourse based on an integrated assessment of the ecological health of its hydrobiocenoses]. In: Shagarov L. M., ed. *Ustoichivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnnykh territorii: sbornik statei VII Vserossiiskoi (natsionalnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Sustainable development of specially protected natural territories: collection of articles of the 7th All-Russian (National) Scientific and Practical Conference]. Sochi, 2020, pp. 104–114.
6. Gorbunova T. L. Application of biotic indices IMC and QIMC for ecological state assessment of mountain and foothill cluster streams on the example of the rivers located on the territory of Greater Sochi. In: *Innovatsii i investitsii* [Innovation and investment], 2019, no. 2, pp. 110–117.
7. Gorbunova T. L. [The saprobity of the rivers of the Sochi National Park]. In: *Biota i sreda zapovednykh territorii* [Biota and environment of protected areas], 2020, no. 2, pp. 49–62.
8. Gorbunova T. L., Matova N. I. [Monitoring and management of the river's ecological state methodology using integral biomarkers and quality management methods]. In: *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii* [Sustainable development of mountain territories], 2020, vol. 12, no. 4 (46), pp. 483–492.
9. Gudkova N. K. [Sochi Olympics Projects: Ecological Aspects]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academia. Architecture and construction], 2015, no. 2, pp. 91–94.
10. Gudkova N. K. [Identification of factors of negative impact on aquatic ecosystems in the conditions of expansion of resorts in the Sochi region]. In: *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2020, no. 9, pp. 46–51.
11. Gudkova N. K., Gorbunova T. L. [Comprehensive assessment of the ecological status of the Sochi River using the bioindication methods]. In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* [Environmental control systems], 2018, no. 13 (33), pp. 101–109.

12. Gudkova N. K., Gorbunova T. L., Lubimtsev A. L. [Identification of the ecological risks related to the development of the recreation–tourist regions on the Black Sea coast of the Caucasus using the complex estimation of the mountain Laura River ecosystem]. In: *Ustoichivoe razvitiye gornyykh regionov* [Sustainable development of mountain regions], 2018, no. 1 (35), pp. 23–34.
13. Denisenko O. [Hydrobiological characteristics of the Mzymta River basin in modern ecological conditions]. In: *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezultaty* [Fundamental and applied research: problems and results], 2014, no. 11, pp. 7–15.
14. Tsalolikhin Ts. Ya., ed. *Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredelnykh territorii. T. 4* [Determiner of freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. Vol. 4.]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2004. 528 p.
15. Palatov D. M. [Altitude variability of rheophilic communities of macrobenthos of the Caucasus and Transcaucasia]. In: *Ekosistemy malyykh rek: bioraznoobrazie, ekologiya, okhrana: Materialy II Vserossiiskoi shkoly-konferentsii* [Ecosystems of small rivers: biodiversity, ecology, and protection: Materials of the 2nd All-Russian school-conference]. Borok, 2014, pp. 314–317.
16. Palatov D. M., Chertoprud M. V. [Macrozoobenthic communities of compact grounds in streams of the Eastern Black Sea region]. In: *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2018, no. 1, pp. 66–73.
17. Palatov D. M., Chertoprud M. V., Frolov A. A. [Fauna and types of soft-bottom macrozoobenthic assemblages in watercourses of mountainous regions on the Eastern Black Sea coast]. In: *Biologiya vnutrennykh vod* [Inland Water Biology], 2016, no. 2, pp. 45–55.
18. Semenchenko V. P. *Printsipy i sistemy bioindikatsii tekuchikh vod* [Principles and systems of bioindication of flowing waters]. Minsk, Orekh Publ., 2004. 125 p.
19. Chertoprud M. V. [The Pantle–Buck index modification for the European Russia waterbodies]. In: *Vodnye resursy* [Water resources], 2002, vol. 29, no. 3, pp. 337–342.
20. Chertoprud M. V. [Rheophilic communities of macrobenthos of the North-Western Transcaucasia]. In: *Materialy IV Vserossiiskogo Simpoziuma po amfibioticheskim i vodnym nasekomym i X Trikhopterologicheskogo Simpoziuma* [Materials of the 4th All-Russian Symposium on Amphibiotic and Aquatic Insects and 10th Trichopterological Symposium]. Vladikavkaz, SOGU Publ., 2010, pp. 131–135.
21. Chertoprud M. V. [Structural variability of the lithorheophile macrobenthos communities]. In: *Zhurnal obshchei biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2007, vol. 68, no. 6, pp. 424–434.
22. Chertoprud M. V., Peskov K. V. [Biogeography of the rithral macrobenthos community of southeastern Europe]. In: *Zhurnal obshchei biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2007, vol. 68, no. 1, pp. 52–63.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Потиевская Надежда Алексеевна – магистрант кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета;
e-mail: potievskayan1998@yandex.ru

Горбунова Татьяна Львовна – научный сотрудник лаборатории экономики природопользования и экологии Института природно-технических систем, филиал в г. Сочи;
e-mail: tatianashaw@mail.ru

Зуева Надежда Викторовна – кандидат географических наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета;
e-mail: nady.zuyeva@ya.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nadezhda A. Potievskaya – Master's Degree Student, Department of Applied and System Ecology, Faculty of Ecology, Russian State Hydrometeorological University;
e-mail: potievskayan1998@yandex.ru

Tatiana L. Gorbunova – Researcher, Laboratory of Environmental Economics and Ecology, Institute of Natural and Technical Systems, Branch in Sochi;
e-mail: tatianashaw@mail.ru

Nadezhda V. Zueva – Cand. Sci. (Geography), Assoc. Prof., Department of Applied and System Ecology, Faculty of Ecology, Russian State Hydrometeorological University;
e-mail: nady.zueva@ya.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Потиевская Н. А., Горбунова Т. Л., Зуева Н. В. Оценка качества вод верховьев р. Мзымта по характеристикам макрозообентоса // Географическая среда и живые системы. 2022. № 2. С. 25–37.

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-2-25-37

FOR CITATION

Potievskaya N. A., Gorbunova T.L., Zueva N. V. Assessment of water quality in the upper Mzymta river using characteristics of macrozoobenthos. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2022, no. 2, pp. 25–37.

DOI: 10.18384/2712-7621-2022-2-25-37