

УДК 574.587

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННО-СЕЛИТЕБНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ Г. ГОРНО-АЛТАЙСКА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ Р. УЛАЛУШКА

Л. В. Яныгина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: zoo@iwer.ru

Урбанизация входит в число основных факторов антропогенного воздействия на окружающую среду. Для оценки роли селитебных территорий в трансформации экосистем низкорных водотоков в мае 2022 г. были выполнены исследования сообществ макробеспозвоночных р. Улалушка (приток р. Майма). Проанализированы структурные характеристики сообществ на участках реки выше г. Горно-Алтайска и в черте города. Отмечено снижение видового богатства, численности и биомассы ЕРТ таксонов макробеспозвоночных на нижнем участке. Даны рекомендации по выбору биотических индексов при оценке экологического состояния водотока.

Ключевые слова: биоиндикация; макробеспозвоночные; таксономическое разнообразие; низкорные водотоки; урбанизация; антропогенное воздействие; Верхняя Обь.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16504

Дата поступления: 1.06.2022

Малые реки тесно взаимосвязаны с окружающими их наземными ландшафтами и отражают уровень антропогенного воздействия на территорию водосборного бассейна [de Jesús-Crespo, Ramírez, 2011]. В число основных факторов антропогенного преобразования окружающей среды во всем мире входят развитие промышленности и концентрация населения [Wang et al., 2011]. Урбанизация территории ведет к экологической деградации водосборной площади рек, вызывая перестройку структуры водных экосистем, изменения их

функциональных характеристик и сокращение предоставляемых экосистемных услуг [Bazinet et al., 2010; Kim et al., 2016]. Увеличение площади урбанизированных территории и численности городского населения, уже составляющего в Северной Америке более 80% численности, в Европе 72%, в Южной Америке 82% [Wang et al., 2011], ставят задачу поиска методов оценки качества воды рек, дренирующих эти территории. Влияние урбанизированных территорий на трансформацию водных экосистем Европы, Австралии и США сравнительно хорошо

исследовано. Этими работами было показано, что реакции водных экосистем различных регионов на урбанизацию могут различаться. Среди основных факторов преобразования урбанизированных территорий – трансформации русла (в том числе строительство каналов), поступление загрязняющих веществ (например, солей с обработанных дорог, тяжелых металлов, биогенов), повышение температуры воды, искусственное берегоукрепление, увеличение количества взвешенных веществ в воде [Paul, Meyer, 2001].

Надежными индикаторами экологического состояния водных экосистем урбанизированных территорий являются структурные характеристики водных сообществ. Быстрое течение горных рек предопределяет низкий уровень развития планктонных сообществ и обуславливает приоритетное значение показателей, основанных на структурных характеристиках донных сообществ в оценке экологического состояния этого типа водотоков [Яныгина, 2014]. Использование сообществ макробеспозвоночных в биоиндикации связано также с такими их преимуществами, как повсеместная встречаемость, приуроченность к определенному биотопу, высокая численность, относительно крупные размеры и достаточно продолжительный цикл развития, чтобы аккумулировать загряз-

няющие вещества за длительный период времени [Баканов, 2000].

Горы Русского Алтая в целом относятся к территориям с невысоким уровнем промышленного производства и низкой плотностью населения. Тем не менее, более 40% населения Республики Алтай составляет городское население. На территории республики расположен единственный город – Горно-Алтайск, вытянутый вдоль долин р. Майма и ее притока – р. Улалушка. Несмотря на отсутствие крупных промышленных предприятий на водосборной территории р. Улалушка, уровень загрязнения реки по гидрохимическим показателям характеризуется как высокий, что связано со сбросами в нее хозяйственно-бытовых сточных вод г. Горно-Алтайска. При этом река слабо исследована в гидробиологическом отношении, сведения о состоянии водных биоценозов реки отсутствуют.

Цель работы – оценка экологического состояния р. Улалушка выше г. Горно-Алтайска и в черте города по таксономическому составу и структуре сообществ макробеспозвоночных.

Материал и методы

Район исследований. Река Улалушка берет свое начало на склонах Сугульского хребта и протекает по заросшей лиственным лесом долине. Длина реки

20 км, площадь водосбора 116 км², средняя высота водосбора 520 м, залесенность 85%. Пойма реки двусторонняя, заболоченная. Питание реки смешанное (за счет атмосферных осадков и грунтовых вод). Русло очень извилистое (тип руслового процесса – незавершенное меандрирование), врезано на глубину 3–4 метра, берега обрывистые. Глубина реки на перекатах 0.2–0.4 м, на плесовых участках до 0.8 м. Средние скорости течения реки в межень 0.3–0.6 м/с. По ионному составу вода реки относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу, кислородный режим благоприятный. По гидрохимическим показателям вода реки соответствует 4 классу качества «грязные воды», загрязняющие вещества поступают в реку преимущественно с поверхностным и грунтовым стоком с сельтерской территории г. Горно-Алтайска [Пузанов и др., 2020]. Среди загрязняющих веществ наибольшие превышения ПДК отмечены для соединений азота (аммоний, нитриты, нитраты), нефтепродуктов, фенолов [Ситникова, 2018].

Отбор проб макробеспозвоночных.

Материал для данной работы был собран в мае 2022 г. на двух участках р. Улалушка: выше г. Горно-Алтайска и в устье реки (в черте города). Для сбора макробеспозвоночных грунт с площади 0.04 м², ограниченной рамкой бентометра, промывали через газ с размером

ячейки 350x350 мкм, дополнительно тщательно просматривали и очищали все поверхности камней и выбирали представителей ЕРТ таксонов (веснянок, поденок и ручейников). Всего собрано и проанализировано 15 проб. Одновременно со сбором макробеспозвоночных в местах отбора проб измеряли температуру воды, рН, уровень насыщения и концентрацию кислорода, прозрачность и глубину. Структурные перестройки сообществ макробеспозвоночных оценивали по изменениям таксономического состава, разнообразия, численности и биомассы ЕРТ таксонов макробеспозвоночных.

Методы оценки экологического состояния. Методы оценки экологического состояния водотоков подробно изложены ранее [Яныгина, Евсеева, 2022]. Для оценки экологического состояния водотоков были рассчитаны биотические индексы (метрики), наиболее распространенные в системах экологического мониторинга рек разных стран: биотический индекс р. Трент (индекс Вудивисса ТВИ), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP); Average Score Per Taxon Index (ASPT); суммарное количество видов веснянок, поденок и ручейников (ЕРТ). Кроме того, сравнение фонового (участок реки выше г. Горно-Алтайска) и импактного (устье реки, в черте города) створов проводили

по численности (N , тыс.экз./м²), биомассе (B , г/м²), индексу видового разнообразия Шеннона (H , бит/экз.) и среднему числу видов в пробе (S). Классы качества по каждому показателю определяли по абсолютным значениям, а также путем ранжирования относительно фоновых значений (индексу EQI). При этом значения, отклоняющиеся от фоновых не более чем на 20%, относили к 1 классу качества («очень чистые»); 20–40 % – 2 классу («чистые»); 40–60 % – 3 классу («умеренно загрязненные»); 60–80% – 4 классу («загрязненные»); более 80 % – 5 классу качества («грязные») [Семенченко, Разлуцкий, 2010].

Статистический анализ данных. Статистический анализ данных проводился с использованием программы «PAST». Все показатели представлены в виде средних значений со стандартными ошибками. Для проверки статистической значимости межгрупповых отличий структуры сообществ макробеспозвоночных на различных участках р. Улалушка был использован дискриминантный анализ. В качестве переменных-дискрипторов использовали данные по относительной численности отдельных видов ЕРТ таксонов макробеспозвоночных в водотоках. При сравнении выборок использовали непараметрический метод Манна-Уитни. Нулевую гипотезу

об отсутствии различий между выборками отвергали при $p < 0.05$.

Результаты и обсуждение

Структурные характеристики донных сообществ р. Улалушка. За период исследований на двух участках р. Улалушка было собрано 532 экз. ЕРТ таксонов макробеспозвоночных, принадлежащих к 20 видам. Наибольшее число видов относилось к поденкам (15 видов); ручейники были представлены 4 видами, веснянки 1 видом. Наибольшая частота встречаемости на участке выше города отмечена для *Epeorus (Belovius) pellucidus* (Brodsky, 1930) (100 % проб), в устье реки – *Baetis vernus* Curtis, 1834 (90 % проб).

На участке реки выше г. Горно-Алтайска донные сообщества р. Улалушка характеризовались высоким видовым богатством, было обнаружено 20 видов ЕРТ таксонов макробеспозвоночных, при этом в каждой пробе в среднем отмечали 9.8 ± 1.5 вида. Индекс видового разнообразия Шеннона изменялся от 1.7 до 3.1 бит/экз., в среднем составляя 2.4 ± 0.3 бит/экз. Численность и биомасса ЕРТ таксонов макробеспозвоночных р. Улалушка были в 2 раза ниже значений, характерных для малых низкогорных водотоков Алтая и составляли 1.3 ± 0.1 экз./м² и 5.2 ± 2.7 г/м², соответственно. По численности доминировали *E. pellucidus* и *Ecdyonurus* sp., по биомассе – *E. pellucidus*.

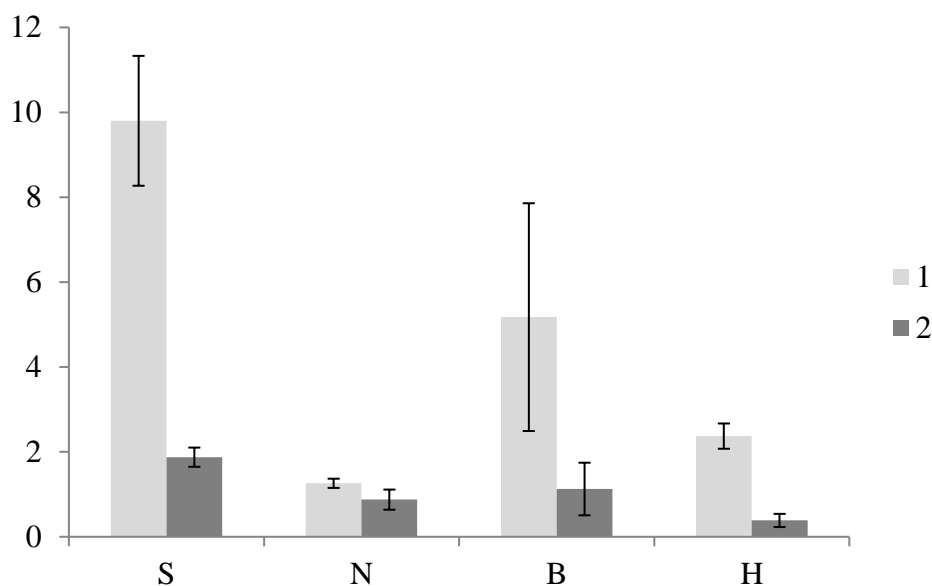


Рис.1. Видовое богатство, индекс видового разнообразия Шеннона (Н, бит/экз.), численность (N, тыс.экз./м²) и биомасса (B, г/м²) ЕРТ таксонов макробеспозвоночных р. Улалушка (1 – выше г. Горно-Алтайска, 2 – устье).

Fig.1. Species richness, Shannon species diversity index (N, bit/ind.), abundance (N, thousand ind./m²) and biomass (B, g/m²) of the EPT taxa of macroinvertebrates in the Ulalushka river (1 – above Gorno-Altaysk, 2 – mouth).

В устье реки донные сообщества существенно обеднены (рис. 1), было обнаружено всего 5 видов, из которых 2 вида были представлены единичными экземплярами поденок младших возрастных стадий и, вероятно, являющиеся временными транзитными элементами фауны для этого участка. Среднее видовое богатство ЕРТ таксонов макробеспозвоночных уменьшилось почти в 5 раз по сравнению с участком выше города и составило 1.9 ± 0.2 вида в пробе. Отмечено также статистически значимое снижение биомассы (критерий Манна-Уитни $U=5.5$; $p=0.034$) ЕРТ таксонов. И по численности, и по биомассе на устьевом участке реки доминировали *Baetis*

vernus, остальные виды были представлены преимущественно единичными особями. Существенное уменьшение видового богатства и выраженное доминирование одного таксона привели к снижению индекса видового разнообразия Шеннона, который на этом участке составил 0.4 ± 0.1 бит/экз.

Оценка экологического состояния реки. Макробеспозвоночные – наиболее часто используемый показатель для оценки экологического состояния водных объектов. В мировой практике используется более 60 показателей качества воды по составу и структуре сообществ макробеспозвоночных, однако в России в практику экологического

мониторинга включено только два показателя – олигохетный индекс Гуднайта-Уитли и биотический индекс Вудивисса (ТВИ). Олигохетные индексы не применимы для оценки экологического состояния горных водотоков из-за низкой встречаемости и численности олигохет на преобладающих в горных реках каменистых грунтах. Значения биотического индекса Вудивисса на участке выше города соответствовали 1 классу качества «очень чистые» воды, в устье реки – 2 классу качества «чистые» воды (табл.).

Значения индекса BMWP были низки как на участке выше города, так и в устье реки и соответствовали «невысокому» качеству воды. Ранее неоднократно указывалось, что фауна макро-беспозвоночных фоновых водотоков Алтая беднее, чем в европейских реках, поэтому индекс BMWP часто занижает качество воды. Индекс ASPT является

производным от BMWP и отражает среднюю чувствительность таксонов сообщества. Значения индекса на двух обследованных участках реки соответствовали «прекрасному» качеству воды в соответствии с классификацией, применяемой в европейских реках. Следует отметить, что высокая оценка качества воды по индексу ASPT в устье р. Улалушка базируется преимущественно на находках единичных особей поденок младших возрастных стадий, которые, вероятно, являются транзитными элементами фауны. Без учета этих видов индекс соответствует 3 классу качества «умеренно загрязненные» воды.

Индексы BMWP и ASPT разработаны для европейских рек и не имеют региональных модификаций для рек Алтая, что может приводить к существенным ошибкам при определении классов качества воды.

Таблица

Значения некоторых биоиндикационных показателей на различных участках
р. Улалушка

Table

The values of some bioindication indicators at different sites of the Ulalushka river

Участок	ТВИ	ЕПТ	BMWP	ASPT
Р. Улалушка выше г. Горно-Алтайска	9	20	74	8.2
Р. Улалушка, устье	7	5	29	7.3
EQI	0.78	0.25	0.39	0.88

Для учета региональных особенностей структуры донных сообществ при определении классов качества воды рекомендовано рассчитывать соотношение значений индексов на фоновом створе и в импактной зоне (EQI). Это значение для большинства биоиндикационных показателей, рассчитанных без учета транзитных элементов фауны, варьировало от 0.1 до 0.6 и соответствовало 3–5 классу качества («умеренно загрязненные» – «грязные» воды). Наиболее чувствительный показатель – индекс ЕРТ, значения которого существенно снизились на устьевом участке р.Улалушка. При расчете остальных индексов используются сведения о толерантности отдельных семейств макробеспозвоночных европейских рек к загрязнению. Возможно, сибирские представители этих же семейств характеризуются более низкой чувствительностью, что приводит к завышению оценок качества воды.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declare that they have no conflict of interest.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00757, <https://rscf.ru/project/22-24-00757/>.

Список литературы

1. Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.
2. Пузанов А.В., Робертус Ю. В., Кивацкая А.В., Ситникова В.А. Особенности кислородного режима руслового стока малой реки Маймы (бассейн Верхней Оби) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47(4). С. 421–425.

Заключение

Значения всех биоиндикационных показателей свидетельствовали об ухудшении условий обитания беспозвоночных на участке реки в черте г. Горно-Алтайска по сравнению с зоной выше города. Однако класс качества по абсолютным значениям индексов BMWP и ASPT не изменился по сравнению с фоновым участком, а по ТВІ снизился на один класс. Сравнение биоиндикационных показателей в импактной зоне по сравнению с фоновыми значениями (по индексу EQI) показало, что индексы BMWP и ЕРТ давали схожие оценки (4-й класс качества). Значения остальных показатели превышали класс качества (2–3 класс), что возможно связано с влиянием транзитных элементов фауны и отсутствием региональных сведений об индикаторной значимости отдельных таксонов.

3. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Беларус. навука, 2010. 329 с.

4. Ситникова В.А. Оценка геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации города Горно-Алтайска: Автореф. дис... канд.геол.-минер. наук. Горно-Алтайск, 2018. 169 с.

5. Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: влияние природных и антропогенных факторов: Автореф. дис...док. биол. наук. Владивосток, 2014. 40 с.

6. Яныгина Л.В., Евсеева А.А. Особенности структурных перестроек донных сообществ малых рек бассейна Верхней Оби и Иртыша в зоне деятельности горнодобывающих предприятий // Биология внутренних вод. 2022. № 2. С. 198–204.

7. Bazinet N. L., Gilbert B. M., Wallace A. M. A Comparison of Urbanization Effects on Stream Benthic Macroinvertebrates and Water Chemistry in an Urban and an Urbanizing Basin in Southern Ontario, Canada // Water Quality Research Journal. 2010. Vol. 45(3). P. 327–341. doi:10.2166/wqrj.2010.035

8. de Jesús-Crespo R., Ramírez A. Effects of urbanization on stream physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico // Journal of the North American Benthological Society. 2011. 30(3). P.739–750. doi:10.1899/10-081.1

9. Kim D.-H., Chon T.-S., Kwak G.-S., Lee S.-B., Park Y.-S. Effects of Land Use Types on Community Structure Patterns of Benthic Macroinvertebrates in Streams of Urban Areas in the South of the Korea Peninsula // Water. 2016. Vol. 8(5), 187. doi:10.3390/w8050187

10. Paul M.J., Meyer J.L. Streams in the urban landscape // Ann. Rev. Ecol. Syst. 2001. Vol. 32. P. 333–365.

11. Wang B., Liu D., Liu S., Zhang Y., Lu D., Wang L. Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China // Hydrobiologia. 2011. Vol. 680(1). P. 39–51. doi:10.1007/s10750-011-0899-6

References

1. Bakanov A.I. Ispol'zovanie zoobentosa dlya monitoringa presnovodnyh vodoemov [The use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs] // Biology of inland waters. 2000. no. 1. P. 68-82. (in Russian).

2. Puzanov A.V., Robertus Yu. V., Kivackaya A.V., Sitnikova V.A. Osobennosti kislorodnogo rezhima ruslovogo stoka maloj reki Majmy (bassejn Verhnej Obi) [Features of the

oxygen regime of the channel flow of the small river Maima (Upper Ob basin)] // *Water resources*. 2020. Vol. 47(4). P. 421–425. (in Russian).

3. Semenchenko V.P., Razluckij V.I. *Ekologicheskoe kachestvo poverhnostnyh vod*. [Ecological quality of surface waters]. Minsk: Belarus. navuka, 2010. 329 p. (in Russian).

4. Sitnikova V.A. *Ocenka geoekologicheskogo sostoyaniya komponentov okruzhayushchej sredy na territorii aglomeracii goroda Gorno-Altajska*. [Assessment of the geoecological state of environmental components in the territory of the agglomeration of the city of Gorno-Altaysk]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-miner.) thesis. Gorno-Altaysk, 2018. 169 p. (in Russian).

5. Yanygina L.V. *Zoobentos bassejna Verhnej i Srednej Obi: vliyanie prirodnyh i antropogennyh faktorov*. [Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: the influence of natural and anthropogenic factors]. DSc (Dr. of Biol.) thesis. Vladivostok, 2014. 40 p. (in Russian).

6. Yanygina L.V., Evseeva A.A. *Structural Transformations of Bottom Communities in Small Rivers of the Upper Ob and Irtysh Basin under the Influence of Mining Enterprises* // *Inland Water Biology*. 2022. Vol. 15(2). P. 195–200.

7. Bazinet N. L., Gilbert B. M., Wallace A. M. *A Comparison of Urbanization Effects on Stream Benthic Macroinvertebrates and Water Chemistry in an Urban and an Urbanizing Basin in Southern Ontario, Canada* // *Water Quality Research Journal*. 2010. Vol. 45(3). P. 327–341. doi:10.2166/wqrj.2010.035

8. de Jesús-Crespo R., Ramírez A. *Effects of urbanization on stream physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico* // *Journal of the North American Benthological Society*. 2011. 30(3). P.739–750. doi:10.1899/10-081.1

9. Kim D.-H., Chon T.-S., Kwak G.-S., Lee S.-B., Park Y.-S. *Effects of Land Use Types on Community Structure Patterns of Benthic Macroinvertebrates in Streams of Urban Areas in the South of the Korea Peninsula* // *Water*. 2016. Vol. 8(5), 187. doi:10.3390/w8050187

10. Paul M.J., Meyer J.L. *Streams in the urban landscape* // *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2001. Vol. 32. P. 333–365.

11. Wang B., Liu D., Liu S., Zhang Y., Lu D., Wang L. *Impacts of urbanization on stream habitats and macroinvertebrate communities in the tributaries of Qiangtang River, China* // *Hydrobiologia*. 2011. Vol. 680(1). P. 39–51. doi:10.1007/s10750-011-0899-6

INFLUENCE OF THE INDUSTRIAL AND RESIDENTIAL
AGGLOMERATION OF GORNO-ALTAYSK ON THE ECOLOGICAL
STATE OF THE ULALUSHKA RIVER

L. V. Yanygina

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: zoo@iwep.ru

Urbanization is one of the main factors of anthropogenic impact on the environment. In May 2022, to assess the role of residential areas in the transformation of low-mountain watercourses, studies of macroinvertebrate communities of the Ulalushka River (tributary of the Maima River) were carried out. The structural characteristics of communities at the sites above Gorno-Altaysk and within the city are analyzed. A decrease in the species richness, abundance and biomass of EPT macroinvertebrate taxa in the lower section was noted. Recommendations for the choice of biotic indices when assessing the ecological state of a watercourse are given.

Keywords: bioindication; macroinvertebrates; taxonomic diversity; low-mountain watercourses; urbanization; anthropogenic impact; Upper Ob.

Received June 1, 2022

Сведения об авторах

Яныгина Любовь Васильевна – доктор биологических наук, заведующий лабораторией гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: zoo@iwep.ru.

Information about the authors

Yanygina Liubov – Dr Sc. in Biology, head of Hydrobiology laboratory of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: zoo@iwep.ru.