



DOI 10.23859/estr-220915

EDN XBVSOT

УДК 574.587

Научная статья

Особенности структурных перестроек сообществ водных макробеспозвоночных низкогорных водотоков Алтая под влиянием селитебных территорий

Л.В. Яныгина 

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул,
ул. Молодежная, д. 1*

yan_lv@mail.ru

Аннотация. Проанализированы особенности структурных характеристик донных сообществ пяти низкогорных водотоков Алтая на участках, расположенных выше и ниже населенных пунктов. Для некоторых водотоков отмечено снижение частоты встречаемости наиболее чувствительных видов, видового богатства ЕРТ таксонов и индекса видового разнообразия Шеннона на участках, расположенных ниже населенных пунктов по сравнению с вышерасположенными. Выявлено ухудшение качества воды р. Сайдыс ниже п. Средний Сайдыс до класса «умеренно загрязненные» и р. Улалушка в черте г. Горно-Алтайска до класса «загрязненные» воды. Для оценки экологического состояния низкогорных водотоков Алтая по макробеспозвоночным рекомендовано использовать индексы ЕРТ и BMWP.

Ключевые слова: зообентос, малые реки, урбанизация, таксономическое разнообразие, качество воды

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00757.

Благодарности. Выражаю благодарность сотрудникам лаборатории гидробиологии ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб.

ORCID:

Л.В. Яныгина, <https://orcid.org/0000-0001-6738-2769>

Для цитирования: Яныгина, Л.В., 2023. Особенности структурных перестроек сообществ водных макробеспозвоночных низкогорных водотоков Алтая под влиянием селитебных территорий. *Трансформация экосистем* 6 (5), 95–106. <https://doi.org/10.23859/estr-220915>

Поступила в редакцию: 15.09.2022

Принята к печати: 14.10.2022

Опубликована онлайн: 01.12.2023


DOI 10.23859/estr-220915

EDN XBVSOT

UDC 574.587

Article

Features of structural changes in communities of aquatic macroinvertebrates in low-mountain watercourses of Altai under the influence of residential areas

Liubov V. Yanygina 

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya 1, Barnaul, 656038 Russia

yan_lv@mail.ru

Abstract. The features of the structural characteristics of benthic communities were analyzed in five low-mountain watercourses of Altai in the areas located upstream and downstream populated areas. In some watercourses, a decrease of the frequency of occurrence of the most sensitive species, of the species richness of EPT taxa, and of the Shannon diversity index was noted in areas located downstream of populated areas compared to those upstream. A deterioration in the water quality of the Saidys River downstream the Sredniy Saidys village (down to the class of “moderately polluted”) and that of the Ulaushka River within the city of Gorno-Altaysk (down to the class of “polluted”) was revealed. It is recommended to use the EPT and BMWP indices to assess the ecological state of low-mountain watercourses of Altai based on macroinvertebrates.

Keywords: zoobenthos, small rivers, urbanization, taxonomic diversity, water quality

Funding. The study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 22-24-00757.

Acknowledgements. Special thanks go to the staff of the Laboratory of Hydrobiology of the Institute of Water and Environmental Problems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences for invaluable assistance in field sampling.

ORCID:

L.V. Yanygina, <https://orcid.org/0000-0001-6738-2769>

To cite this article: Yanygina, L.V., 2023. Features of structural changes in communities of aquatic macroinvertebrates in low-mountain watercourses of Altai under the influence of residential areas. *Ecosystem Transformation* 6 (5), 95–106. <https://doi.org/10.23859/estr-220915>

Received: 15.09.2022

Accepted: 14.10.2022

Published online: 01.12.2023

Введение

На протяжении последних десятилетий разнотипные экосистемы по всему миру испытывают все возрастающее давление деятельности человека (Søndergaard and Jeppesen, 2007). Урбанизация, рост промышленного и сельскохозяйственного производства входят в число основных факторов антропогенной трансформации не только наземных, но и водных экосистем. В отличие от точечных источников загрязнения, которые относительно легко можно идентифицировать и контролировать, воздействие диффузных изменений водосборной территории рек на качество воды труднее предсказать, что обусловлено сложным взаимодействием водного стока и ландшафтов (Crooks et al., 2021). В связи с этим изучению влияния различных видов землепользования на качество воды уделяется особое внимание во всем мире (Cheng et al., 2022; de Mello et al., 2020; Giri and Qiu, 2016; Shi et al., 2017). Этими исследованиями показано, что урбанизация и сельскохозяйственное землепользование являются ведущими факторами ухудшения качества воды (Crooks et al., 2021). При этом сельскохозяйственное использование водосборной территории приводит к увеличению концентрации нитратов и фосфора в воде, а урбанизация вызывает повышение содержания аммония и взвешенных веществ (Crooks et al. 2021).

Изменения структурных характеристик сообществ макробеспозвоночных – общепризнанный показатель трансформации водных экосистем, вызванной различными видами антропогенного воздействия. Известно, что в водотоках урбанизированных территорий снижается таксономическое богатство и разнообразие макробеспозвоночных, повышается плотность устойчивых к загрязнению таксонов (Meuer et al., 2005). Однако реакции зообентоса на изменения условий обитания могут различаться в зависимости от природных условий региона, силы воздействия, структурных и функциональных характеристик водных экосистем, региональных особенностей фауны. В связи с этим для разработки программ по сохранению водных экосистем и эффективному управлению водными ресурсами необходимы исследования особенностей реакций донных сообществ на трансформацию водосборной территории, выполненные в различных регионах.

Наиболее активные исследования особенностей структурных перестроек сообществ макробеспозвоночных под влиянием урбанизации водосборной территории рек проводились в США, Канаде, Австралии и Китае (Vazinet et al., 2010; Davies et al., 2010; Voelz et al., 2005; Zhang et al., 2014). Для малых рек Алтая такие исследования единичны и не дают представления о региональных особенностях отклика сообществ на изменения характера землепользования на водосборе. При этом уровень урбанизации водосборной территории рек Алтая неуклонно растет, увеличивается численность населения Республики Алтай, а развитие региона как туристско-рекреационного центра способствует повышению потока туристов, который в настоящее время превышает 2 млн. человек в год. Все это ведет к увеличению площади селитебных территорий и необходимости анализа их влияния на водные экосистемы региона.

Цель данного исследования – оценка влияния селитебных территорий на структурные характеристики донных сообществ низкогорных водотоков Алтая.

Материал и методы

Материал для данной работы был собран в апреле–мае 2022 г. в пяти малых водотоках бассейна р. Верхней Оби: р. Паспаул (выше и ниже с. Паспаул), р. Карасук (выше и ниже п. Карасук), р. Сайдыс (выше и ниже с. Средний Сайдыс), р. Бирюля (выше с. Бирюля и в устье) и р. Улалушка (выше г. Горно-Алтайска и в устье) (Рис. 1). Макробеспозвоночных собирали бентометром с площадью захвата 0.04 м². Пробы промывали через капроновый газ с размером ячеек 220×220 мкм и фиксировали 95% этиловым спиртом. Затем определяли таксономическую принадлежность животных, считали их и взвешивали на торсионных весах ВТ–500 (Россия). Всего проанализировано 38 проб зообентоса. Одновременно со сбором макробеспозвоночных в местах отбора проб многопараметрическим зондом YSI 6600 V2-03 (YSI Incorporated, США) измеряли температуру воды, pH, уровень насыщения и концентрацию кислорода, прозрачность и глубину (Табл. 1). Анализ воды на содержание биогенных соединений (аммоний, нитраты, нитриты) и ХПК выполнен в Химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН.

Для оценки экологического состояния водотоков по макробеспозвоночным для каждого участка были рассчитаны следующие биотические индексы: биотический индекс р. Трент (индекс Вудивисса, TBI), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP); Average Score Per Taxon Index

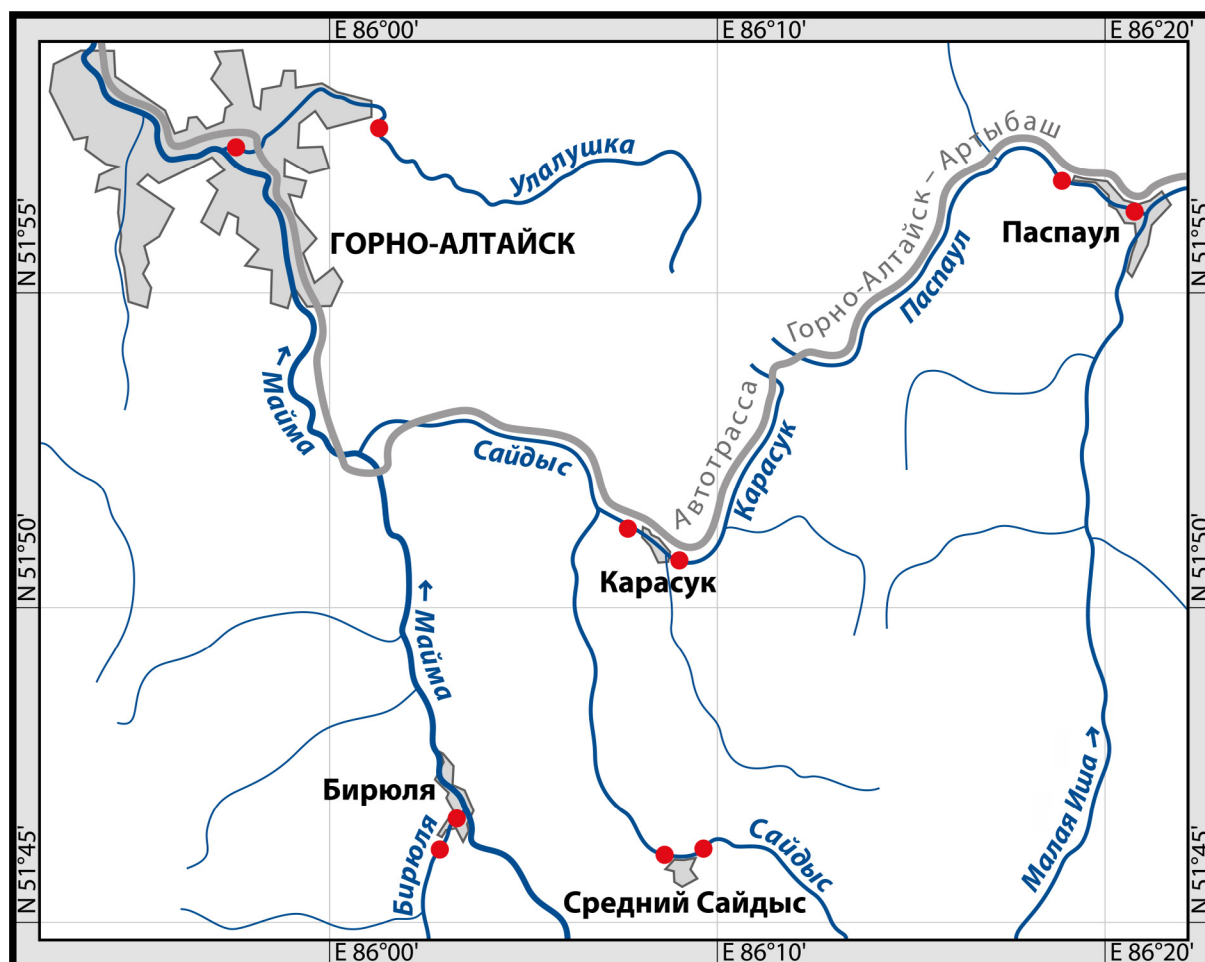


Рис. 1. Схема расположения участков отбора проб.

(ASPT); суммарное количество видов ЕРТ (веснянок, поденок и ручейников) (индекс ЕРТ) (Семенченко и Разлуцкий, 2010). Структурные перестройки сообществ макробеспозвоночных оценивали по изменениям таксономического состава и разнообразия ЕРТ таксонов. Классы качества вод по каждому показателю определяли по индексу EQI путем их сравнения с фоновыми значениями () (Семенченко и Разлуцкий, 2010). В качестве фоновых для каждого водотока принимали значения индексов верхнего участка отбора проб (расположенного выше соответствующего населенного пункта). При этом значения, отклоняющиеся от фоновых не более чем на 20%, относили к I классу качества («очень чистые»); 20–40 % – II классу («чистые»); 40–60 % – III классу («умеренно загрязненные»); 60–80% – IV классу («загрязненные»); более 80 % – V классу качества («грязные») (Семенченко и Разлуцкий, 2010).

Статистический анализ данных выполнен с помощью пакета программ Statistica 6.0. Все показатели представлены в виде средних значений со стандартными ошибками. При дисперсионном анализе в качестве независимых переменных использованы значения видового богатства (S), индекса видового разнообразия Шеннона (H), численности (N) и биомассы (B) ЕРТ таксонов макробеспозвоночных на различных участках исследованных рек, в качестве предикторов выступали концентрация биогенов (аммония, нитритов, нитратов), ХПК, мутность, расположение участка («зона» – выше или ниже населенных пунктов). Оценку совместного влияния этих факторов на независимые переменные выполняли с помощью обобщенных линейных моделей (GLM анализ). При сравнении выборок использовали непараметрический метод Краскелла–Уоллиса. При попарных сравнениях выборок (различных показателей между верхним и нижним участками отбора

Табл. 1. Характеристика водотоков бассейна Верхней Оби. В – верхний, Н – нижний участок.

Показатель	Водоток									
	р. Паспаул		р. Бирюля		р. Сайдыс		р. Карасук		р. Улалушка	
Длина, км	16		16		26		12		20	
Участок отбора проб	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
Температура, °С	1.9	5.1	4.0	3.3	0.1	0.7	3.5	4.8	–	–
Средняя глубина, м	0.2	0.15	0.1	0.25	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.15
Ширина, м	5	45	2	4	2	25	10	12	4	5
Затененность, %	20	0	10	15	40	30	10	0	15	10
Проективное покрытие мхов, %	10	0	0	40	15	5	10	0	0	30
рН	8.19	8.39	8.35	8.32	7.68	7.66	8.24	8.19	8.39	8.46
O ₂ , мг/дм ³	12.74	13.56	12.3	11.99	12.55	11.9	11.9	11.85	9.3	14.36
Мутность, NTU	38.01	18.45	33.72	42.95	17.35	172.17	130.51	55.35	10.47	12.36
NH ₄ , мг/дм ³	0.19	0.29	0.14	0.28	0.26	1.6	0.18	0.28	–	–
NO ₂ , мг/дм ³	0.004	0.022	0.005	0.008	0.009	0.14	0.008	0.015	–	–
NO ₃ , мг/дм ³	2.0	2.5	1.9	2.1	1.0	3.4	1.4	2.8	–	–
ХПК, мгО/дм ³	27	23	13	15	10	129	54	10	17	17

проб) использовали непараметрический метод Манна–Уитни. Нулевую гипотезу об отсутствии различий между выборками отвергали при $p > 0.05$.

Результаты исследований

На исследованных участках рек как выше населенных пунктов, так и ниже них преобладали гравийно-галечные грунты. Водотоки на участках отбора проб характеризовались благоприятным кислородным режимом, невысоким уровнем затененности (кроме р. Сайдыс) и низким проективным покрытием мхов (кроме нижнего участка р. Бирюля). В период отбора проб температура воды преимущественно не превышала 5.1 °С, при этом на нижних участках температура, как правило, была выше. Для всех исследованных рек отмечены общие тенденции увеличения концентрации аммония, нитратов и нитритов на нижних участках отбора (Табл. 1). Особо значимые различия отмечены для р. Сайдыс, концентрация нитритов в которой ниже поселка была выше в 15 раз, ХПК – в 10 раз. Кроме того, на нижнем участке р. Сайдыс отмечены максимальные значения всех анализируемых показателей, которые в 3 раза превышали ПДК¹ для аммония и в 2 раза – для нитритов.

Для большинства исследованных водотоков (р. Бирюля, р. Сайдыс, р. Улалушка) отмечено снижение прозрачности воды ниже поселков; максимальные значения мутности наблюдались на

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изменениями от 16.06.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

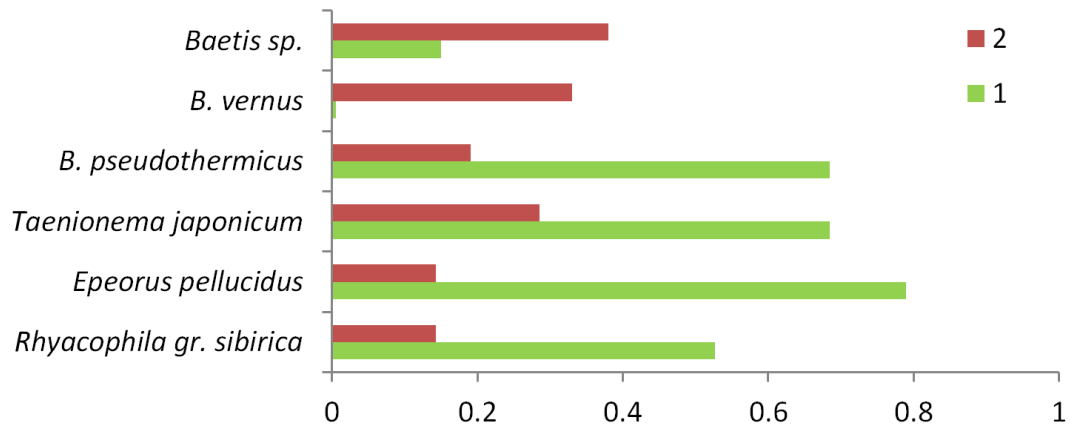


Рис. 2. Встречаемость индикаторных видов на участках выше (1) и ниже (2) населенных пунктов.

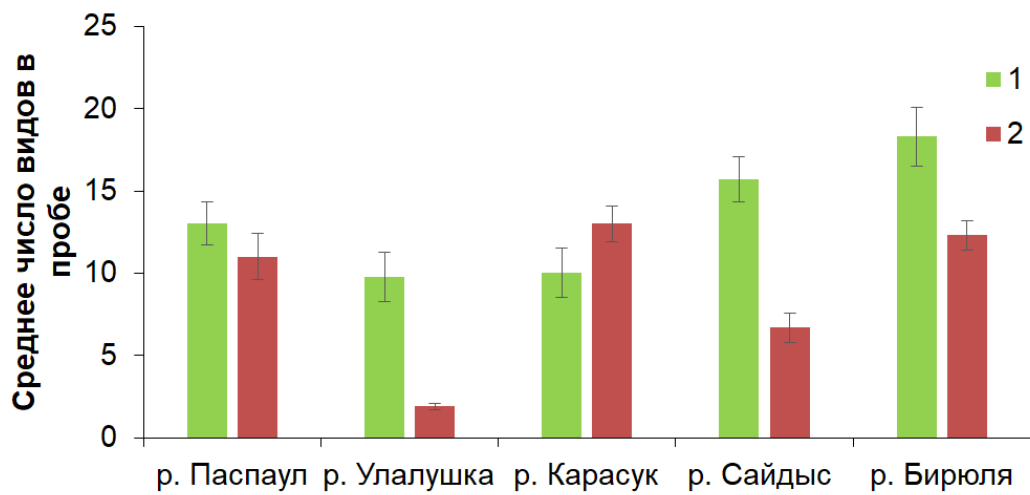


Рис. 3. Видовое богатство (среднее число видов в пробе) EPT таксонов макробеспозвоночных (1 – выше, 2 – ниже населенного пункта).

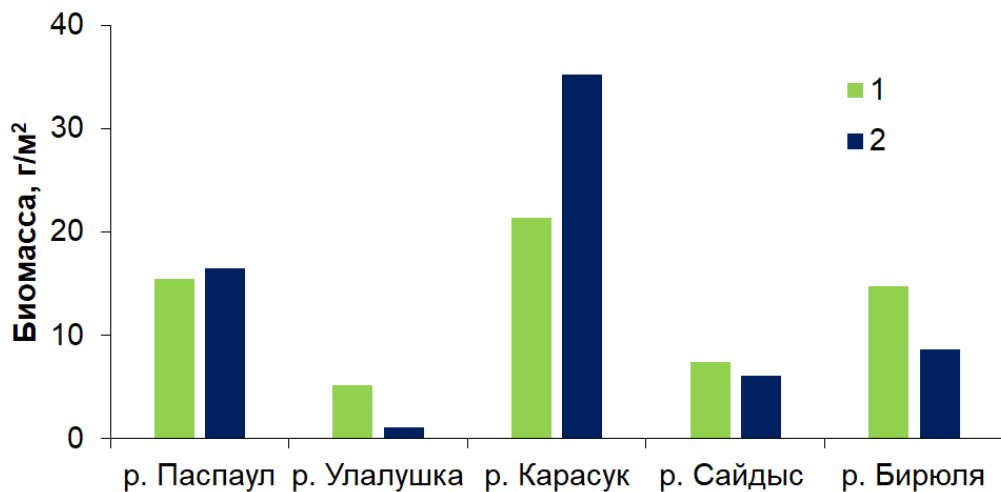


Рис. 4. Биомасса (г/м²) сообществ макробеспозвоночных на участках выше (1) и ниже (2) населенных пунктов.

нижнем участке р. Сайдыс. Верхний участок р. Карасук в период исследований находился в зоне влияния дорожных работ, что предопределило существенное снижение прозрачности воды. На участке ниже п. Карасук мутность снизилась более чем в 2 раза, однако ее значения все еще оставались существенно выше показателей, характерных для остальных рек (кроме нижнего участка р. Сайдыс). Повышенные значения мутности отмечены и на верхнем участке р. Паспаул, что, вероятно, связано с поступлением взвешенных веществ с проходящей вдоль реки автотрассы.

В донных сообществах исследованных рек обнаружено 64 таксона макробеспозвоночных, в том числе 27 видов поденок, 20 видов ручейников и 17 видов веснянок. Комплекс наиболее часто встречаемых видов был представлен *Amphinemura borealis* (Morton, 1894) (отмечен в 60% проб), *Ceratopsyche newae* (Kolenati, 1858) (60% проб), *Epeorus pellucidus* (Brodsky, 1930) (52% проб) и *Neoleptophlebia japonica* (Matsumura, 1931) (50% проб). При этом на нижних участках отбора проб встречаемость некоторых видов существенно снижалась, среди них *Rhyacophila* gr. *sibirica*, *E. pellucidus*, *Baetis pseudothermicus* Kluge, 1983, *Taenionema japonicum* Okamoto, 1922, которых можно отнести к наиболее чувствительным видам. Увеличилась встречаемость только некоторых видов рода *Baetis* – известных как наиболее толерантных к загрязнению таксонов поденок (Рис. 2) (Suhaila et al., 2017).

Исследованные реки существенно различались по видовому богатству таксонов комплекса ЕРТ: максимальное число видов (34) отмечено в р. Бирюля, минимальное – в р. Улалушка (21 вид). При этом для рек Сайдыс, Бирюля и Улалушка отмечено статистически значимое снижение видового богатства макрозообентоса на участках ниже селитебных зон (Рис. 3). Наибольшее падение этого показателя отмечено для р. Улалушка, протекающей по самому крупному населенному пункту, г. Горно-Алтайску, и для р. Сайдыс, на берегах которой расположен не только поселок, но и лесоперерабатывающее предприятие. Противоположная тенденция – увеличение видового богатства макробеспозвоночных ниже населенного пункта – отмечена только для р. Карасук, что обусловлено максимальной для исследованных рек мутностью на участке выше поселка вследствие проведения дорожных работ.

Донные сообщества фоновых участков рек характеризовались сравнительно высокой численностью и биомассой ЕРТ таксонов макробеспозвоночных. Ниже населенных пунктов обилие водных макробеспозвоночных в основном снижалось. Исключением, как и в случае с видовым богатством, стала р. Карасук, в которой биомасса донных организмов ниже поселка в 1.5 раза превышала значения верхнего участка (Рис. 4).

Для оценки факторов, определяющих изменчивость структурных характеристик донных сообществ исследованных рек, был выполнен дисперсионный анализ. Его результаты показали, что изменчивость видового богатства, численности и индекса видового разнообразия Шеннона во многом определялась расположением участка («зона» – выше или ниже поселка), мутностью и ХПК (Табл. 2). Объединение факторов увеличивало долю объясненной дисперсии до 67, 53 и 64% соответственно.

Значения индекса ЕРТ на участках выше поселков варьировало незначительно (преимущественно составляя 19–27 видов) и в целом свидетельствовало о высоком разнообразии наиболее чувствительных к загрязнению отрядов насекомых (Табл. 3). На большинстве нижних участков отбора богатство ЕРТ таксонов снижалось, однако расчеты индекса EQI для р. Бирюля и р. Паспаул показали, что эти изменения не выходили за границы I–II класса качества («очень чистые» – «чистые» воды, соответственно). Наиболее существенное снижение индекса ЕРТ отмечено для р. Сайдыс (с 24 до 10 видов) и р. Улалушка (с 21 до 6 видов). Значения EQI для этих рек свидетельствовали о снижении качества воды до III класса («умеренно загрязненные») для р. Сайдыс и IV класса качества («загрязненные») для р. Улалушка.

Значения индекса Вудивисса в большинстве исследованных водотоков достигали максимальных значений (10 баллов) и соответствовали I классу качества воды. Снижение значений индекса до II класса отмечено только для р. Улалушка. Значения индекса ASPT также свидетельствовали о высоком качестве воды на всех участках.

Изменения индекса BMWP на различных участках исследованных рек в целом соответствовали динамике индекса ЕРТ и свидетельствовали о снижении качества воды в р. Сайдыс до 3, а в р. Улалушка – до 4 класса. Сравнение значений индекса EQI выше и ниже поселков также показало ухудшение экологического состояния этих рек.

Табл. 2. Результаты GLM анализа изменчивости видового богатства (S), индекса видового разнообразия Шеннона (H), численности (N) и биомассы (B) ЕРТ таксонов макробеспозвоночных в низкогорных водотоках Алтая. Статистически значимые значения ($p < 0.05$) выделены жирным шрифтом.

Предиктор	Показатель	R ²	F	p
зона	S	0.29	15.59	0.0003
	N	0.13	5.81	0.0209
	B	0.01	0.27	0.6092
	H	0.27	13.99	0.0006
ХПК	S	0.37	22.46	<0.0001
	N	0.23	11.29	0.0018
	B	0.07	2.93	0.0948
	H	0.23	11.58	0.0016
нитраты	S	0.14	3.95	0.0579
	N	0.01	0.34	0.5645
	B	0.00	0.12	0.7298
	H	0.16	4.78	0.0384
нитриты	S	0.03	0.75	0.3934
	N	0.02	0.43	0.5182
	B	0.00	0.06	0.8025
	H	0.16	4.60	0.0418
аммоний	S	0.14	3.95	0.0579
	N	0.01	0.34	0.5645
	B	0.00	0.12	0.7298
	H	0.16	4.78	0.0384
мутность	S	0.15	6.84	0.0127
	N	0.00	0.05	0.8321
	B	0.15	6.89	0.0124
	H	0.24	12.15	0.0013
мутность × зона	S	0.46	10.11	0.0001
	N	0.14	1.92	0.1438
	B	0.16	2.23	0.1014
	H	0.54	13.92	< 0.0001
мутность × ХПК	S	0.48	10.97	< 0.0001
	N	0.36	6.73	0.0010
	B	0.18	2.67	0.0619
	H	0.41	8.42	0.0002
мутность × зона × ХПК	S	0.67	10.98	< 0.0001
	N	0.53	6.25	0.0002
	B	0.24	1.71	0.1501
	H	0.64	9.76	< 0.0001

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что селитебные территории существенно влияют на состояние водных экосистем низкогорных водотоков Алтая

Дисперсионный анализ показал, что наиболее значимым фактором формирования донных сообществ исследованных низкогорных водотоков стало содержание органических веществ в воде. Увеличение ХПК ниже населенных пунктов одновременно с изменениями структуры донных сообществ отмечалось и в других исследованиях малых рек и, вероятно, связано с интенсивным сельскохозяйственным использованием территории их водосборного бассейна (Wang, 2012).

Еще одним фактором, определяющим распределение макробеспозвоночных в изученных реках, стала мутность. В отличие от ряда исследований, демонстрирующих увеличение мутности рек урбанизированных территорий (Crooks et al. 2021; Mena-Rivera et al., 2017; Zhang et al., 2017), в некоторых исследованных реках (р. Карасук и р. Паспаул) отмечено снижение мутности на участке ниже поселков. Это связано со строительством дороги в районе исследований и смывом почвенных частиц с нарушенных земель в водотоки. На остальных исследованных участках показатели мутности были невысокими, что, вероятно, обусловлено отбором проб до начала активного снеготаяния.

Несмотря на незначительное ухудшение качества воды на большинстве исследованных рек в селитебных зонах по гидрохимическим показателям, донные сообщества продемонстрировали существенные изменения своих структурных характеристик. Это может быть связано с ранневесенним периодом отбора проб, когда основная часть водосбора покрыта снегом, что препятствует смыву загрязняющих веществ с водосборной площади. Жизненный цикл большинства ЕРТ таксонов макробеспозвоночных горных рек составляет не менее года; таким образом, структурные характеристики донных сообществ отражают динамику качества воды за этот период и могут не в полной мере соответствовать качеству воды по гидрохимическим показателям на момент отбора проб.

Наиболее чувствительными биологическими показателями качества воды исследованных рек стали индексы ЕРТ и BMWP. Биотический индекс Вудивисса (TBI), включенный в систему государственного экологического мониторинга в России², продемонстрировал низкую эффективность

Табл. 3. Значения биотических индексов в реках бассейна Верхней Оби.

Участок отбора проб	ЕРТ	TBI	BMWP	ASPT
р. Паспаул выше поселка	23	10	117	8.4
р. Паспаул ниже поселка	18	10	90	8.2
EQI	0.78	1.00	0.77	0.98
р. Бирюля выше поселка	27	10	120	8.6
р. Бирюля ниже поселка	23	10	100	8.3
EQI	0.85	1.00	0.83	0.97
р. Сайдыс выше поселка	24	10	113	9.4
р. Сайдыс ниже поселка	10	8	72	9.0
EQI	0.42	0.80	0.64	0.96
р. Карасук выше поселка	19	10	103	8.6
р. Карасук ниже поселка	22	10	93	8.5
EQI	1.16	1.00	0.90	0.98
р. Улалушка выше поселка	21	10	74	8.2
р. Улалушка устье	6	6	29	7.3
EQI	0.29	0.60	0.39	0.88

² ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.

при оценке экологического состояния низкогорных водотоков Алтая. Это, вероятно, связано с существенными различиями в индикаторной значимости западно- и восточно-палеарктических семейств макробеспозвоночных, принадлежащих к одному отряду.

Выводы

Селитебные территории оказывают существенное влияние на водные экосистемы низкогорных водотоков Алтая. На исследованных участках рек ниже поселков отмечены тенденции увеличения температуры воды, концентраций аммония, нитратов и нитритов. Структурные характеристики сообществ донных макробеспозвоночных являются чувствительным индикатором изменения экологического состояния рек под влиянием селитебных территорий. Для оценки экологического состояния низкогорных водотоков Алтая по макробеспозвоночным рекомендуется использовать индексы EPT и BMWP. Использование этих индексов позволило выявить существенное ухудшение условий обитания гидробионтов в р. Сайдыс ниже п. Средний Сайдыс (до класса «умеренно загрязненные») и на устьевом участке р. Улалушка в черте г. Горно-Алтайска (до класса «загрязненные» воды).

Список литературы

- Семенченко, В.П., Разлуцкий, В.И., 2010. Экологическое качество поверхностных вод. Беларуская навука, Минск, Беларусь, 329 с.
- Bazinet, N.L., Gilbert, B.M., Wallace, A.M.A., 2010. 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 of Canada* **45**, 327–341.
- Cheng, C., Zhang, F., Shi, J. et al., 2022. What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 56887–56907. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21348-x>
- Crooks, E.C., Harris, I.M., Patil, S.D., 2021. Influence of land use land cover on river water quality in rural North Wales, UK. *Journal of the American Water Resources Association* **57** (3), 357–373. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12904>
- Davies, P.J., Wright, I.A., Findlay, S.J., Jonasson, O.J., Burgin, S., 2010. Impact of urban development on aquatic macroinvertebrates in south eastern Australia: degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams. *Aquatic Ecology* **44**, 685–700. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9307-y>
- Giri, S., Qiu, Z., 2016. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management* **173**, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.029>
- de Mello, K., Taniwaki, R.H., de Paula, F.R., Valente, R.A., Randhir, T.O., Macedo, D.R., Hughes, R. M., 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management* **270**, 110879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>
- Mena-Rivera, L., Salgado-Silva, V., Benavides-Benavides, C., Coto-Campos, J., Swinscoe, T., 2017. Spatial and seasonal surface water quality assessment in a tropical urban catchment: Burio River, Costa Rica. *Water* **9**, 558. <https://doi.org/10.3390/w9080558>
- Meyer, J.L., Paul, M.J., Taulbee, W.K., 2005. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society* **24**, 602–612.
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P., Xu, G., 2017. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *CATENA* **151**, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.017>

- Søndergaard, M., Jeppesen, E., 2007. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology* **44**, 1089–1094. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01426.x>
- Suhaila, A.H., Siti Hamidah, I., Nur Aida H., 2017. Distribution patterns of *Baetis* (Ephemeroptera: Baetidae) as tolerant taxa in freshwater biological monitoring. *Malaysian Applied Biology* **46**, 151–160.
- Voelz, N.J., Zuellig, R.E., Shieh, S.-H., Ward, J.V., 2005. The effects of urban areas on benthic macroinvertebrates in two Colorado plains rivers. *Environmental Monitoring and Assessment* **101**, 175–202.
- Zhang, Y., Liu, L., Cheng, L., Cai, Y., Yin, H., Gao, J., Gao, Y., 2014. Macroinvertebrate assemblages in streams and rivers of a highly developed region (Lake Taihu Basin, China). *Aquatic Biology* **23**, 15–28.
- Zhang, J., Wei, Z., Jia, H., 2017. Factors influencing water quality indices in a typical urban river originated with reclaimed water. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* **11** (4), 8. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0943-5>

References

- Bazinet, N.L., Gilbert, B.M., Wallace, A.M.A., 2010. 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 of Canada* **45**, 327–341.
- Cheng, C., Zhang, F., Shi, J. et al., 2022. What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 56887–56907. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21348-x>
- Crooks, E.C., Harris, I.M., Patil, S.D., 2021. Influence of land use land cover on river water quality in rural North Wales, UK. *Journal of the American Water Resources Association* **57** (3), 357–373. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12904>
- Davies, P.J., Wright, I.A., Findlay, S.J., Jonasson, O.J., Burgin, S., 2010. Impact of urban development on aquatic macroinvertebrates in south eastern Australia: degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams. *Aquatic Ecology* **44**, 685–700. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9307-y>
- Giri, S., Qiu, Z., 2016. Understanding the relationship of land uses and water quality in Twenty First Century: A review. *Journal of Environmental Management* **173**, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.029>
- de Mello, K., Taniwaki, R.H., de Paula, F.R., Valente, R.A., Randhir, T.O., Macedo, D.R., Hughes, R. M., 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management* **270**, 110879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>
- Mena-Rivera, L., Salgado-Silva, V., Benavides-Benavides, C., Coto-Campos, J., Swinscoe, T., 2017. Spatial and seasonal surface water quality assessment in a tropical urban catchment: Burío River, Costa Rica. *Water* **9**, 558. <https://doi.org/10.3390/w9080558>
- Meyer, J.L., Paul, M.J., Taulbee, W.K., 2005. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society* **24**, 602–612.
- Semenchenko, V.P., Razlutsky, V.I., 2010. Ekologicheskoe kachestvo poverhnostnykh vod [Ecological quality of surface waters]. Belaruskaya Navuka, Minsk, Belarus, 329 p. (In Russian).
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P., Xu, G., 2017. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *CATENA* **151**, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.017>

- Søndergaard, M., Jeppesen, E., 2007. Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology* **44**, 1089–1094. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01426.x>
- Suhaila, A.H., Siti Hamidah, I., Nur Aida H., 2017. Distribution patterns of *Baetis* (Ephemeroptera: Baetidae) as tolerant taxa in freshwater biological monitoring. *Malaysian Applied Biology* **46**, 151–160.
- Voelz, N.J., Zuellig, R.E., Shieh, S.-H., Ward, J.V., 2005. The effects of urban areas on benthic macroinvertebrates in two Colorado plains rivers. *Environmental Monitoring and Assessment* **101**, 175–202.
- Zhang, Y., Liu, L., Cheng, L., Cai, Y., Yin, H., Gao, J., Gao, Y., 2014. Macroinvertebrate assemblages in streams and rivers of a highly developed region (Lake Taihu Basin, China). *Aquatic Biology* **23**, 15–28.
- Zhang, J., Wei, Z., Jia, H., 2017. Factors influencing water quality indices in a typical urban river originated with reclaimed water. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* **11** (4), 8. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0943-5>