

Оценка качества вод рек и ручьёв хребта Хехцир (Хабаровский кр.) по структуре зообентоса

Evaluation of the water quality of rivers and streams of the Khekhtsir Ridge (Khabarovsk Territory) according to the structure of zoobenthos

Н.М. Яворская
N.M. Yavorskaya

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева 56, Хабаровск 680000 Россия. E-mail: yavorskaya@ivep.as.khb.ru.

Institute of Water and Ecology Problems Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Dikopoltseva Str. 56, Khabarovsk 680000 Russia.

Ключевые слова: зообентос, структура, качество воды, биоиндикация, хр. Хехцир, Хабаровский край.

Key words: zoobenthos, structure, water quality, bioindication, Khekhtsir Ridge, Khabarovsk Territory.

Резюме. Представлены результаты оценки современного экологического состояния рек и ручьёв хр. Хехцир, включая границы двух ООПТ (юг Дальнего Востока России) по составу и структуре донных беспозвоночных. Использовали индексы и метрики качества вод как широко распространенные в мировой и российской практике (TBI, GW, EPT, IB, D/Nex, N_{chl}/Nex , N_{EPT}/Nex , N_{Eph}/Nex , N_S/Nex , N_{BI}/Nex , N_{Nim}/Nex), так и в нашей модификации (IP). Показано, что водотоки, стекающие с хр. Большой Хехцир меньше подвержены антропогенному воздействию относительно таковых, стекающих с хр. Малый Хехцир. Выявлено, что в горных и предгорных реках и ручьях хребта наиболее показательными оказались индексы, основанные на таксономическом составе сообществ зообентоса, в равнинных реках — на характеристике олигохет и хирономид. Установлено, что в общем водотоки хр. Хехцир находятся в хорошем состоянии (вода чистая и умеренно-загрязненная).

Abstract. The results of the assessment of the current ecological state of the rivers and streams of the Khekhtsir Ridge are presented, including the boundaries of two protected areas (South of the Russian Far East) in terms of the composition and structure of benthic invertebrates. We used water quality indices and metrics as widely used in world and Russian practice (TBI, GW, EPT, IB, D/Nex, N_{chl}/Nex , N_{EPT}/Nex , N_{Eph}/Nex , N_S/Nex , N_{BI}/Nex , N_{Nim}/Nex), and in our modification (IP). It is shown that the streams flowing down from the Bolshoy Khekhtsir Ridge are less susceptible to anthropogenic impact compared to those flowing down from the Malyi Khekhtsir Ridge. It was revealed that in the mountain and foothill rivers and streams of the ridge, the most indicative were indices based on the taxonomic composition of zoobenthos communities, in lowland rivers — on the characteristics of oligochaetes and chironomids. It has been established that in general the watercourses of the Khekhtsir Ridge are in good condition (water is clean and moderately polluted).

Введение

В последнее время бентосные сообщества стали наиболее широко использоваться в качестве биоиндикаторов для оценки общего состояния водных экосистем, во многом из-за оседлого образа жизни донных беспозвоночных, их большого разнообразия и различной устойчивости к загрязнению и деградации среды обитания [Samon et al., 2019]. Качество вод по составу зообентоса оценивается различными исследователями во всем мире [Berezina, 2000]. К настоящему времени разработано и используется большое количество метрик и индексов, позволяющих оценить экологическое качество воды по донным беспозвоночным [Vshivkova et al., 2019; Varyshev, 2021]. Многие индексы для оценки качества вод основаны на видовом богатстве и видовой структуре сообществ [Semenchenko, 2004]. Однако идентификация видов на стадии личинки не всегда возможна. На Дальнем Востоке России на сегодняшний день структура сообществ зообентоса в водотоках разного типа, даже на уровне крупных таксонов изучена недостаточно [Khamenkova et al., 2021]. По современным представлениям для оценки антропогенного воздействия на поверхностные воды важными и востребованными биоиндикаторами качества вод служат состав, структура и динамика зообентоса [Bezmaternyh, 2017].

Хребет Хехцир (включая границы двух ООПТ) фактически расположен в пригороде г. Хабаровск и испытывает определенную антропогенную нагрузку в условиях все возрастающего преобразования естественных ландшафтов [Teslenko, Yavorskaya, 2021]. Реки и ручьи хребта сохраняют естественный режим, но имеют «островную» изоляцию и прете-

какот вблизи Хабаровского спецкомбината «Радон». Отмечено [Kulikov, Chebotina, 1988], что в реках большинство радионуклидов концентрируется преимущественно в верхнем слое грунтов, загрязнение последних радиоактивными веществами приводит к повышенному облучению бентосных форм организмов. Кроме того, на сопке Корфовской (близ седловины, разделяющей Большой и Малый Хехцир) с 1925 г. ведутся разработки каменного карьера гранодиоритов, поэтому здесь наблюдаются значительные антропогенные изменения в рельефе, которые активизируют эрозионные процессы [Mel'nikova, 2015]. Последние неизбежно приводят к изменению гидрологического режима рек, увеличению в них твердого стока и мутности воды, заилению придонных биотопов. В конечном итоге идет резкое снижение продуктивности речного бентоса [Shubina, 2006]. К тому же, для водоснабжения части п. Корфовский на двух безымянных ручьях, стекающих с хр. Большой Хехцир, построен поверхностный водозабор. С другой стороны, заповедник «Большехехцирский» и заказник «Хехцирский» являются самыми «ожными» резерватами ООПТ «Заповедное Приамурье», где происходит встреча северных и южных природных комплексов, они отличаются наибольшим ландшафтным разнообразием и видовым богатством флоры и фауны [Teslenko, Yavorskaya, 2021]. Донная фауна рек и ручьев хр. Хехцир представлена более 510 видами [Dubatolov, 2022]. Имеются отрывочные данные по качеству воды по составу и структуре донных беспозвоночных некоторых водотоков хр. Хехцир [Yavorskaya, 2013, 2014, 2015a, b; Yavorskaya, Klimin, 2019].

Цель работы — по структурным показателям сообществ зообентоса выявить значимость различных индексов оценки качества вод на примере водотоков хр. Хехцир.

Материал и методы исследований

Генетически хр. Хехцир является самостоятельным горным массивом, расположенным в центральной части Среднеамурской низменности. Здесь выделяется горный, предгорный и равнинный рельефы. Глубокая седловина делит хребет на западную половину (хр. Большой Хехцир, 949,3 м н.у.м., в границах заповедника «Большехехцирский», площадь 45,3 тыс. га) и восточную (хр. Малый Хехцир, 413 м н.у.м., в пределах заказника «Хехцирский», площадь 52 тыс. га). На высоте 450–650 м н.у.м. берут начало многочисленные ключи, ручьи и горные реки, которые впадают в протоку Амурская и реки Чирка, Уссури, Сита, Амур. Они имеют горный характер, большую скорость течения, обусловленные большими уклонами водотоков 0,015–0,060. Местами в русле имеются выходы коренных пород. К равнинным рекам относятся Чирка, Малая Сита, Сита, имеющие спокойное течение, извилистые русла, низкие берега.

Вдоль западной границы заповедника протекает полугорная р. Уссури, шириной 0,8–1,2 км [Makhinov, 2011; Mel'nikova, 2015]. Речные берега горных и предгорных рек и ручьев покрыты хвойно-широколиственным лесом, в речных руслах преобладает аллохтонная органика. В начале 80-х гг. прошлого столетия в лососевые водотоки хребта (реки Половинка, Левая, Правая, Быкова, Одыр, Цыпа, Белая Речка, ручьи Соснинский, Шереметьевский) на нерест заходили тихоокеанские лососи. Сейчас из отряда Salmoniformes в них изредка встречаются только ленки и хариусы.

Изучение бентосных сообществ быстротоков и равнинных рек хр. Хехцир, включая территории двух ООПТ, проводили в марте–декабре 2011–2020 гг. на 37 станциях, в т.ч.: 1–26 станции — хр. Большой Хехцир, 27–37 станции — хр. Малый Хехцир (рис. 1).

Для количественного учета донных беспозвоночных пробы отбирали складным бентометром с площадью захвата 0,063 м² на плёсе и перекате с глубины от 5 см до 50 м и фиксировали 4 %-м раствором формалина. Сбор и обработку материала проводили по общепринятым методикам [Vogotov, Fedorovskij, 2017]. Всего отобрано и проанализировано 654 количественные бентосные пробы. Температура воды варьировала от 0 °С до 26 °С. Грунт дна представлен главным образом разноразмерной галькой, местами с примесью песка, ила, детрита, глины и щебня.

Единой общепризнанной системы биологического контроля качества вод в настоящее время не существует [Miseiko et al., 2001]. Преимущества использования сразу большого количества индексов позволяет выбирать из них работающие для конкретного водотока и варьировать ими для оценки качества воды. Для правильного анализа качества воды необходимо использовать среднесезонные характеристики, которые более или менее постоянны в устойчивых биоценозах [Berezina, 2000]. Для достоверной оценки качества речных вод хр. Хехцир по составу зообентоса в качестве биологических показателей использовали 12 индексов (рис. 2).

Для достоверной оценки качества речных вод хр. Хехцир выбраны структурные показатели зообентоса, основанные на количественных показателях различных групп беспозвоночных и их соотношении: биотический индекс Вудивисса (ТВИ), индекс Балускиной (IB), индекс Гуднайта и Уитлея (GW), индекс ЕРТ, D/N_{ex} — отношение плотности амфибиотических двукрылых к общей плотности организмов зообентоса, N_{EP1}/N_{ex} — отношение плотности комплекса ЕРТ к общей плотности организмов зообентоса, N_{Eph}/N_{ex} — отношение плотности поденок к общей плотности организмов зообентоса, N_{Ch}/N_{ex} — отношение плотности хирономид к общей плотности организмов зообентоса [GOST, 1982; Semchenko, 2004; Vshivkova et al., 2019], N_{BI}/N_{ex} — отношение плотности сетчатокрылых комаров к общей плотности организмов зообентоса, N_{Nim}/N_{ex} — отношение плотнос-

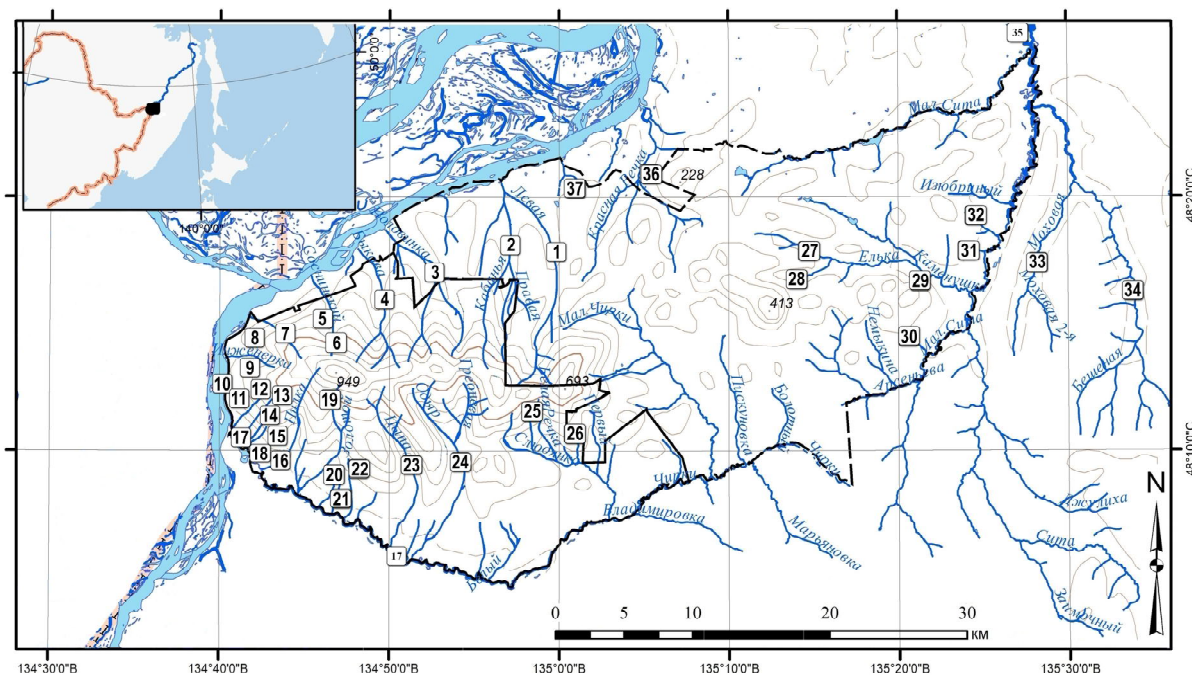


Рис. 1. Картограмма районов исследования с обозначением 37 станций отбора проб (в квадратах).

Fig. 1. Map of the study areas with the designation of 37 sampling stations (in squares).

ти нимфомийид к общей плотности организмов зообентоса (согласно их особенностям развития, учитывалось и бескрылое имаго, обнаруженное в бентосных пробах), N_s/N_{ex} — отношение плотности мошек к общей плотности организмов зообентоса, интегральный показатель Балушкиной (IP) [Balushkina, 2009] в нашей модификации, в который включены индексы IB, TBI, GW [Yavorskaya, Sirotskii, 2013]. Построение карты осуществлено в программе ArcGIS10.1.

Результаты

В составе бентофауны рек и ручьёв хр. Хехцир обнаружены следующие группы: планарии (Turbellaria), нематоды (Nematoda), волосатики (Gordiacea), олигохеты (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), водяные клещи (Hydrachnidae), водяные ослики (Asellidae), амфиподы (Amphipoda), стрекозы (Odonata), поденки (Ephemeroptera), перепончатокрылые (Hymenoptera), жуки (Coleoptera), веснянки (Plecoptera), вислокрылки (Megaloptera), ручейники (Trichoptera), чешуекрылые (Lepidoptera), сетчатокрылые комары (Blephariceridae), мокрецы (Serratopogonidae), хирономиды (Chironomidae), нимфомийиды (Nymphomyiidae), мошки (Simuliidae), комары-долгоножки (Tipulidae), комары-болотницы (Limoniidae), другие двукрылые (Diptera indet.), моллюски (Mollusca) двусторчатые и брюхоногие. Широко распространены представители ритрона, главным образом, личинки амфибиотических насекомых (ручейники, поденки, веснянки, мошки, комары-звон-

цы и др.). Обитают они исключительно в чистых прозрачных холодных быстротекущих водах на каменисто-галечниковых грунтах. К типичным биоиндикаторам высокого качества воды относятся веснянки, сетчатокрылые комары, нимфомийиды.

Индекс Вудивисса (ТВИ) является одним из наиболее распространенных в системах биоиндикации многих стран, в том числе СНГ и ЕС. В РФ данный показатель входит в перечень Государственного стандарта [GOST, 1982] и используется в сети ОГЧНК Росгидромета [Andrianova, 2015]. Биотический индекс Вудивисса отражает структурные и функциональные изменения в сообществах донных животных, обусловленные загрязнением вод [Alimov, 1989]. Система Вудивисса хорошо применима для рек западной, северо-западной и частично центральной части Европейской территории России [Miseiko et al., 2001], Амурской области, Хабаровского края, Еврейской автономной области [Yavorskaya, Sirotskii, 2013; Yavorskaya, 2017, 2020]. В реках и ручьях хр. Хехцир средние значения индекса ТВИ варьировали в диапазоне 5–9 баллов и соответствовали второму и третьему классам качества. Биотический индекс ТВИ был низким на ст. 11 (руч. Куркуниха), ст. 35 (р. Сита), ст. 36 (р. Красная Речка), что характеризовало эти участки как умеренно-загрязненные (третий класс качества воды).

Индекс Гуднайта и Уитлея (GW) в основном используется в практике гидробиологического анализа в странах СНГ и в большей степени отражает загрязненность донных отложений [Semenchenko, 2004]. В РФ его широко применяют в государственном

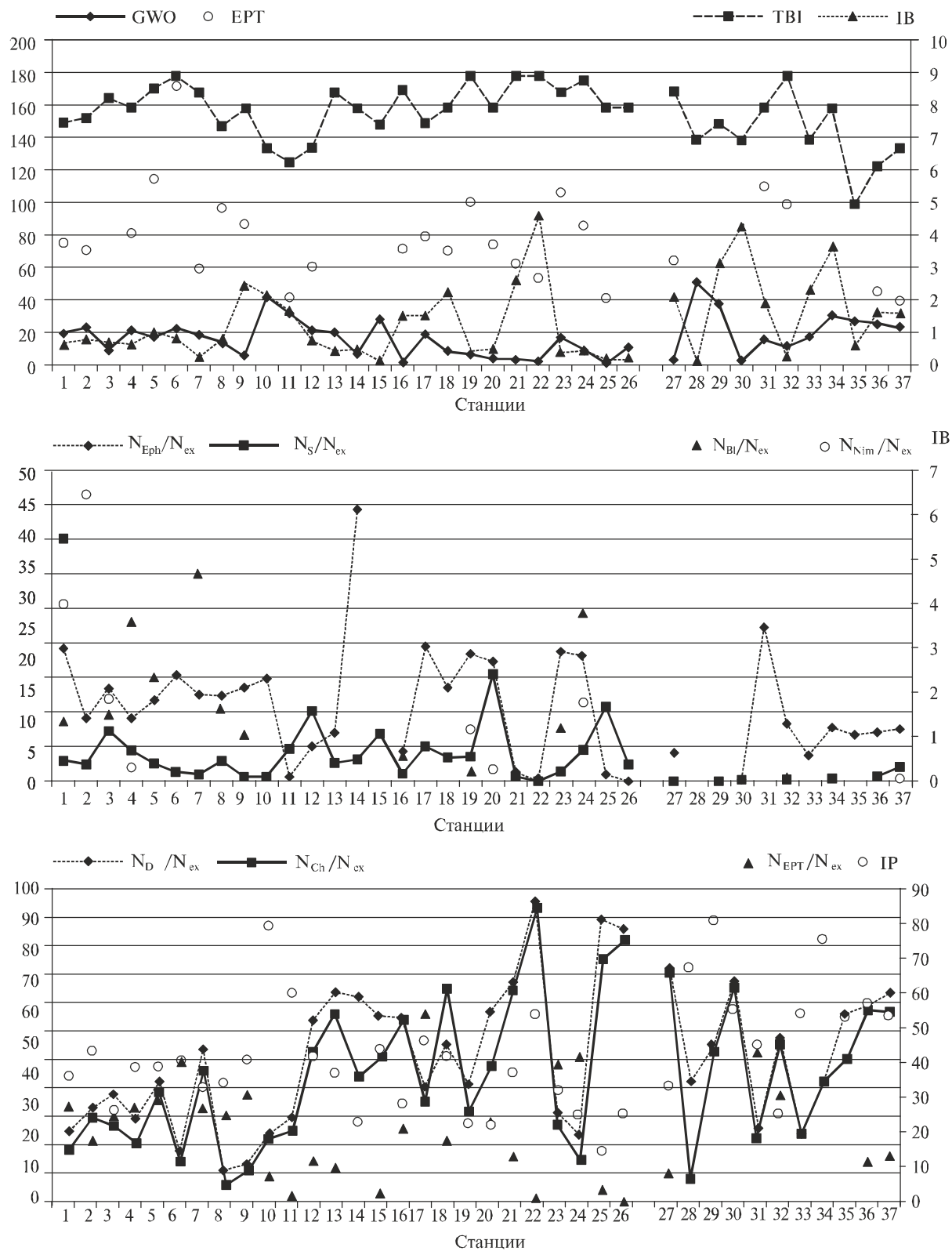


Рис. 2. Пространственная динамика средних значений биотических индексов и метрик в водотоках хр. Хехцир (номера станций приведены в соответствии с рис. 1).

Fig. 2. Spatial dynamics of average values of biotic indices and metrics in the watercourses of the Khékhtsir Ridge (numbers of stations are given in accordance with Fig. 1).

мониторинге при классификации качества поверхностных вод. Это простой, широко известный и надежный показатель состояния вод, особенно хорош при оценке органическими веществами [Vshivkova et al., 2019]. Индекс GW успешно применяется для определения экологического состояния водотоков басс. р. Амур [Yavorskaya, Sirotskii, 2013; Yavorskaya, Klimin, 2019]. По средним значениям индекса GW (1–51 %) водотоки хр. Хехцир находились в хорошем состоянии. По ГОСТу [GOST, 1989] воды относились к первому, второму, третьему и четвертому классам качества (очень чистые, чистые, умеренно-загрязненные, загрязненные). На ст. 10 (р. Уссури) и ст. 29 (р. Каменушка) показатели индекса GW соответствовали третьему классу качества (умеренно-загрязненные), на ст. 28 (руч. без названия) — четвертому (загрязненные).

Индекс ЕРТ широко применяется в системе мониторинга лотических систем стран ЕС, основанный на видовом богатстве (или относительной численности) индикаторной группы беспозвоночных из отрядов Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, наименее толерантных к различным видам загрязнения [Andrianova, 2015]. Более того, в реках хр. Хехцир представители этих отрядов являются довольно чувствительными к колебаниям уровня воды. Известно, что для эталонных створов число видов ЕРТ находится в пределах от 13 до 15 [Andrianova, 2015]. Данному условию соответствуют станции предгорных водотоков хр. Большой Хехцир (ст. 5 — руч. Соснинский, ст. 6 — руч. Прав. Соснинский, ст. 19 — руч. Золотой, ст. 23 — р. Цыпа). Средние значения индекса ЕРТ в горных, предгорных и равнинных реках хр. Хехцир (40–173 %) оценивали качество вод как очень хорошее, хорошее, посредственное и плохое. На ст. 13 (руч. Дворовый) и ст. 22 (руч. Мишкин ключ) индекс ЕРТ показал посредственное качество вод, а на ст. 11 (руч. Куркуниха), ст. 25 (р. Белая Речка), ст. 36 (р. Красная Речка), ст. 37 (р. Матрениха) — плохое. Индекс ЕРТ не рассчитывался на станциях 10, 14–15, 26, 28–31, 33–35 по причине отсутствия на этих участках представителей из отряда или Ephemeroptera, или Plecoptera, или Trichoptera. Высокие показатели метрик $N_{\text{ЕРТ}}/N_{\text{ex}}$ (0,2–54 %) и $N_{\text{Ерф}}/N_{\text{ex}}$ (0,1–44 %) указывали на хорошее качество воды.

Личинки хирономид, являясь индикаторами антропогенного воздействия, остаются предметом особого внимания ученых во всем мире [Saether 1979; Zinchenko, 2011; Adler, Courtney, 2019]. В РФ индекс Балушкиной (IB) применяется в государственном мониторинге при классификации качества поверхностных вод. В донных сообществах водных объектов хр. Хехцир личинки хирономид относятся к постоянным обитателям и представлены видами из подсемейств Diamesinae, Orthocladiinae, Chironominae и Tanypodinae. Средние величины индекса IB в реках и ручьях хребта изменялись в диапазоне 0,136–4,64 и характеризовали воду как чистую и умеренно-загрязненную (второй и третий классы качества). Зна-

чения метрики $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ менялись в диапазоне 5–94 %. Замечено [Vshivkova et al., 2019], что в случае нарушенных экосистем обилие личинок хирономид сопровождается другими группами чувствительных организмов при малой доле олигохет. Наибольшие значения метрики $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ отмечены на ст. 22 (руч. Мишкин ключ), ст. 25 (р. Белая Речка) и ст. 26 (руч. без названия), что объясняется сезонными колебаниями плотности хирономид, так как на станциях 22 и 25 она поддерживается хорошей представленностью индекса ТВИ (9 и 8 баллов), а на ст. 26 — индексом IB (0,201).

Многие виды двукрылых перспективны для использования в качестве биотестов при мониторинге водных и наземных сред [Nartshuk, 2003; Adler, Courtney, 2019]. Отмечено [Semchenko, 2004], что индексы D/N_{ex} и $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ имеют высокую чувствительность, но крайне неустойчивы. На станциях хребта значения метрик D/N_{ex} и $N_{\text{S}}/N_{\text{ex}}$ изменялись в диапазоне, соответственно, 10–96 % и 0,1–17 % и подтверждали хорошее состояние водотоков.

Сетчатокрылые комары относятся к типичным хамаробионтам — обитателям чистых горных потоков [Krivosheina, 2012]. Исходя из региональных особенностей бентофауны и встречаемости (38 %) на станциях хребта личинок и куколок блефаридерид использовалась метрика $N_{\text{Bl}}/N_{\text{ex}}$ (0,1–5 %), согласно которой воды характеризовались как чистые.

На восьми станциях хр. Хехцир обнаружен редкий, филогенетический и географический реликтовый вид *Nymphomyia rohdendorfi* Makarchenko, 1979 [Yavorskaya, Makarchenko, 2015; Makarchenko, Yavorskaya, 2021]. Сразу отменим, что при наличии реликтовых видов флоры и фауны в реках изменения их естественного режима не допустимы [Tkachev, Bulatov, 2002]. Впервые рассчитана метрика $N_{\text{Nim}}/N_{\text{ex}}$, по которой доля N_{Nim} достигала 6 % и показывала чистые воды.

Анализ данных биоиндикации показал, что воды всех станций хребта по средней величине IP (14–80 %) соответствовали первому и второму классам качества (очень чистые, чистые), состояние экосистемы относительно удовлетворительное.

Обсуждение

Следует подчеркнуть, что речные системы юга Дальнего Востока России расположены в зоне муссонного климата и относятся к особой группе природных комплексов, в которых ведущую роль в регулировании играют экстремальные природные явления [Bogatov, Fedorovskij, 2017]. В связи с этим, в межень и паводковый периоды определять качество вод по метрикам и биотическим индексам основанных на показателях водных беспозвоночных нецелесообразно. В паводок практически все донные беспозвоночные сносятся течением. К тому же в период паводка по причине высокой скорости течения и большой глубины русла отобрать бентос на

реках очень сложно и почти невозможно. В меженный период гидробионты стараются заблаговременно покинуть зону обмеления до ее пересыхания и в период засухи оставшиеся погибают. Типичным примером является ст. 11 (руч. Куркуниха), на которой периодически исследования проводили как спустя несколько дней после появления воды в русле после засухи, так и на следующий день после прохождения паводковых вод, поэтому значения индекса ТВИ (6 баллов) оказались довольно низкими. Известно [Bogatov, 1994; Yavorskaya, 2015b], что только при стабильном уровне воды в течение трех месяцев донные животные вновь активно заселяют русло реки.

Подводя итог, необходимо сказать, что чувствительность индексов и метрик оценивалась в горных, предгорных, равнинных водотоках и на территории ООПТ, и вблизи сельских поселений, поэтому полученные результаты показали весь их диапазон и в очень чистых и загрязненных реках. Средняя оценка, полученная для рек и ручьев хр. Хехцир — хорошее качество воды, однако различия между станциями, расположенными на хр. Большой Хехцир и хр. Малый Хехцир оказались довольно заметными.

Воды хр. Большой Хехцир по средним величинам индексов ТВИ (8 баллов), GW (17 %), ЕРТ (83 %), IB (0,939) и метрикам $N_{\text{ЕРТ}}/N_{\text{ex}}$ (25 %), $N_{\text{Ерф}}/N_{\text{ex}}$ (13 %), D/N_{ex} (36 %), $N_{\text{S}}/N_{\text{ex}}$ (5,2 %), $N_{\text{Nim}}/N_{\text{ex}}$ (2,4 %), $N_{\text{Bl}}/N_{\text{ex}}$ (2,2 %), $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ (30 %) относятся к хорошему качеству (чистые). Наиболее благоприятные условия для развития комплекса ЕРТ выявлены в реках и ручьях, расположенных со стороны южного и северного склонов хребта, в связи с превалированием в них стабильного каменисто-галечного грунта, чередованием плесов и перекатов, очень быстрой скоростью течения, высоким насыщением воды кислородом, преобладающей температурой воды — 10–17 °С и максимальной — 20–24 °С. По химическому составу они являются гидрокарбонатными кальциевыми, по величине минерализации (21,0–70,4 мг/дм³) — ультрапресными [Shesterkina et al., 2005]. Многие водотоки западного склона длиной менее 10 км полностью пересыхают в меженный период. Для них характерно преобладание гравийно-песчаных грунтов на перекатах и песчано-илистых на плесах, быстрая и умеренная скорость течения, и соответственно, меньшее насыщение воды кислородом, что в свою очередь отражается на комплексе ЕРТ. Высоким уровнем видового разнообразия и максимальными значениями большинства индексов и метрик отличались ст. 3 (р. Половинка), ст. 4 (р. Быкова), ст. 5 (руч. Соснинский), ст. 19 (руч. Золотой), ст. 23 (р. Цыпа), ст. 24 (р. Одыр), поэтому их можно отнести к региональным эталонным створам для последующего сравнения. В настоящее время во многих регионах стран ЕС практически не осталось рек, которые могли бы характеризоваться естественным режимом [Semenchenko, 2004], а загрязнение поверхностных вод становится все более актуальной угрозой для окружающей среды во всем мире [Baryshev, 2021].

Воды хр. Малый Хехцир по средним показателям GW (25 %), D/N_{ex} (51 %), $N_{\text{S}}/N_{\text{ex}}$ (0,6 %), $N_{\text{Nim}}/N_{\text{ex}}$ (0,04 %), $N_{\text{Bl}}/N_{\text{ex}}$ (0,2 %) относятся к чистым. Индекс IB (1,98) и метрика $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ (45 %) характеризовали воды как умеренно-загрязненные, что связано с появлением отродившихся личинок хирономид ранних возрастов. Индексы ТВИ (7 баллов), ЕРТ (63 %), доля $N_{\text{ЕРТ}}$ (21 %) и $N_{\text{Ерф}}$ (7 %), показали чистое и посредственное качество вод, что обусловлено естественными причинами (песчаное или илистое дно, скорость течения, глубина, содержание кислорода, динамика водных масс, цветность воды, и др.) и умеренным влиянием хозяйственной деятельности человека (автомобильные дороги, дачные поселения, мойка транспортных средств, выгул собак, мусорные свалки и т.д.) (ст. 35–36). Вместе с тем макрозообентос мягких грунтов в реках часто отличается низким разнообразием от сообществ каменистых порогов и перекатов [Baryshev, 2021]. В этой связи для оценки состояния водотоков хр. Малый Хехцир индекс ЕРТ и метрики $N_{\text{ЕРТ}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{Ерф}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{Bl}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{Nim}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{S}}/N_{\text{ex}}$ оказались не показательными.

Проведенный сравнительный анализ различных индексов и метрик, используемых в целях биоиндикации, позволил установить, что наиболее надежными и адекватными методами для оценки качества вод рек и ручьев хр. Хехцир в период открытой воды являются индексы GW, ТВИ, IB, IP. Полученные данные подтверждают использование индексов ТВИ и ЕРТ для оценки качества вод горных и предгорных водотоков юга Дальнего Востока России без модификации. В комплексе с использованными индексами хорошо зарекомендовали себя метрики D/N_{ex} и $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$, имея близкие значения. Неповрежденные водные экосистемы представляют метрики $N_{\text{Nim}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{Bl}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{S}}/N_{\text{ex}}$. В совокупности с другими методами биоиндикации даже минимальные их показания являются достоверными. Для рек и ручьев хр. Большой Хехцир хорошо показал себя индекс ЕРТ и одновременно с ним метрики $N_{\text{ЕРТ}}/N_{\text{ex}}$ и $N_{\text{Ерф}}/N_{\text{ex}}$. Тем не менее, для малых холодноводных водотоков севера Дальнего Востока метрики D/N_{ex} , ЕРТ, $N_{\text{Ерф}}/N_{\text{ex}}$, $N_{\text{Ch}}/N_{\text{ex}}$ оказались слабо применимы [Khamenkova et al., 2021]. Все вышеизложенные данные показывают, что на примере оценки качества вод рек и ручьев хребта по структуре донных беспозвоночных можно успешно пользоваться достаточно большим количеством известных индексов и метрик и выбирать работающие из них для конкретного водотока, модифицировать использованные индексы и внедрять новые и редко применяемые метрики, которые в дальнейшем будут востребованы в биоиндикации пресных вод.

Таким образом, водотоки хр. Хехцир характеризуются наличием целого ряда благоприятных факторов для развития в их русле обильной донной фауны. Значения сезонной и межгодовой вариабельности биомассы различались в два раза (0,004 и 0,002). Колебания между максимальными и минимальными биомассами бентоса не превышающими трёх раз

означает, что реки не подвержены значительному загрязнению и не находятся под сильным антропогенным прессом [Alimov et al., 2013]. По интегральному показателю IP (42 %) состояние экосистемы характеризуется как относительно удовлетворительное (воды чистые). Строго говоря, реки и ручьи хр. Хехцир представляют собой единую систему, совместное функционирование которой и определяет качество вод в конечном звене этой цепи — р. Амур. Кратковременное повышение значений индексов главным образом связано с жизненными циклами донных беспозвоночных, климатическими и гидрологическими факторами. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования данных о развитии зообентоса в совокупности с данными по фотосинтетическим пигментам водорослей перифитона для выявления изменений трофического статуса рек и ручьёв хребта [Yavorskaya, Klimin, 2021] и определения их современного экологического состояния. В целом, использованные индексы обладают высокой чувствительностью к любым изменениям, хорошо согласуются между собой и метриками, и рекомендуются к применению при проведении биоиндикационных исследований водотоков басс. Среднего и Нижнего Амура.

Заключение

Результаты многолетних исследований донных биоценозов рек и ручьёв хр. Хехцир дают представление об общем экологическом состоянии водных экосистем. Водотоки, стекающие с хр. Большой Хехцир (впадают в р. Чирка и протоку Амурская) относятся к чистым (второй класс качества), а реки и ручьи, стекающие с хр. Малый Хехцир (впадают в р. Сита и оз. Петропавловское) в большей степени характеризуются как умеренно-загрязненные и загрязнённые (третий и четвертый классы качества).

Апробация различных методов биоиндикации по структурным показателям сообществ зообентоса показала, что адекватную оценку в горных и предгорных реках и ручьях хребта дают индексы, основанные на таксономическом составе и индикаторной значимости отдельных видов, а в равнинных реках — на характеристике олигохет и хирономид. Биоиндикационные показатели, полученные для водотоков заповедника, могут быть использованы как эталонные для таковых бассейна р. Амур.

Несмотря на достаточно хорошее в целом состояние рек и ручьёв хр. Хехцир важнейшей проблемой остается загрязнение поверхностных вод. Для предотвращения деградации природных комплексов бассейна р. Амур необходимо минимизировать вмешательство в природную среду. При осуществлении хозяйственной или иной деятельности обязательно использовать очистные сооружения, охранять защитные леса, соблюдать водоохранные и рыбоохранные зоны, проводить рекультивацию и лесовосстановле-

ние, разрабатывать и применять малосточные и малоотходные технологии.

Благодарности

Автор очень благодарен С.В. Спиридонову и Р.С. Андроновой за организацию экспедиционных работ на территории ООПТ и А.М. Долгих, А.И. Лукину, А.Н. Кадышеву, Ю.Н. Кя, С.В. Лагутину, А.В. Готванскому, С.Н. Глухову, и многим другим сотрудникам за помощь, оказанную в ходе выполнения работ (ФГБУ «Заповедное Приамурье») и А.В. Остроухову за изготовление карты (ИВЭП ДВО РАН).

Литература

- Adler P.H., Courtney G.W. 2019. Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera // *Insects*. Vol. 10. 70. P.1–23.
- Alimov A.F. 1989. [Introduction to Production Hydrobiology]. L.: Gidrometeoizdat. 152 p. [In Russian].
- Alimov A.F., Bogatov V.V., Golubkov S.M. 2013. Production hydrobiology. M: Nauka. 339 p. [In Russian].
- Andrianova A.V. 2015. The use of Biotic Indices and Metrics in the Evaluation of Water Quality on the Territory of the Ergaki Nature Park (the South of Krasnoyarsk Krai) // *Sibirskij jekologicheskij zhurnal (Siberian Journal of Ecology)*. No.3. P.439–451. [In Russian].
- Balushkina E.V. 2009. Assessment of the Neva estuary ecosystem state on the basis of structural characteristics of benthic animal communities in 1994–2005 // *Biologija vnutrennih vod (Inland Water Biology)*. N 4. P.64–72. [In Russian].
- Baryshev I.A. 2021. Evaluating water quality in a large river system in Northern European Russia by macrozoobenthos // *Vodnye resursy (Water resources)*. T.48, No.5. P.547–555. [In Russian].
- Berezina N.A. 2000. Water quality estimation in the Kotorosl river basin based on zoobenthos composition // *Vodnye resursy (Water resources)*. T.27, No.6. P.718–727. [In Russian].
- Bezmaternyh D.M. 2017. Prostranstvenno-vremennaja organizacija i faktory formirovanija makrozoobentosa ozer juga Zapadno-Sibirskoj ravniny: diss... dokt. biol. nauk. Novosibirsk. 46 p. [In Russian].
- Bogatov V.V. 1994. Ecology of river communities in Russian Far-East. Vladivostok: Dal'nauka. 218 p. [In Russian].
- Bogatov V.V., Fedorovskij A.S. 2017. Basics of river hydrology and hydrobiology. Vladivostok: Dal'nauka. 384 p. [In Russian].
- Dubatolov V.V. 2022. [List of insect species recorded on the territory of the Bolshekhekhtsirsk Reserve and in its immediate vicinity] // http://szmn.eco.nsc.ru/Insecta_Great_Khekhtsir/index.htm.
- Ganin G.N. 2011. Structural and functional organization of mesopedobiont communities of the southern Russian Far East. Vladivostok: Dal'nauka. 380 p. [In Russian].
- GOST 17.1.3.07-82. 1982. Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows. M.: Izd-vo standartov. 14 p. [In Russian].
- Khamenkova E.V., Kondakova D.A., Krashenninnikov A.B. 2021. Seasonal Dynamics of Zoobenthos Structure in the Low reaches of the Dukcha River (Magadan Region) and Assessment of Water Quality by Group Composition // *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*. Vol.9. Vladivostok: IP Serdjuk O.A. P.201–207. [In Russian]
- Krivoshchina M.G. 2012. Keys to the Palearctic families and genera of nematoceros larvae (Diptera, Nematocera). M.: KMK Scientific Press. 244 p. [In Russian].
- Kulikov N.V., Chebotina M.Ja. 1988. [Radioecology of freshwater biosystems]. Sverdlovsk: UrO AN SSSR. 130 p. [In Russian].

- Makarchenko E.A., Yavorskaya N.M. 2021. Nymphomyiidae (Diptera) of the Amur river basin // Regional'nye problem (Regional problems). T.24, N 2–3. P.122–125. [In Russian].
- Makhinov A.N. 2011. Physical and geographical characteristics // Flora and vegetation of the Bolshekhkhtsirsky Reserve. Habarovsk: Publishing House «Private collection». P.7–22. [In Russian].
- Mel'nikova A.B. 2015. Flora of the Khkhtsira. Habarovsk. 258 p. [In Russian].
- Miseiko G.N., Bezmaternyh D.M., Tushkova G.I. 2001. Biological analysis of fresh water quality. Barnaul: ASU press. 201 p. [In Russian].
- Nartshuk E.P. 2003. Key to families of Diptera (Insecta) of the fauna of Russian and adjacent countries. T.294. Sankt-Peterburg. 251 p. [In Russian].
- Saether O.A. 1979. Chironomid communities as water quality indicators // Holarctic ecology. Vol.2. P.65–74.
- Samon O.S., Gouissi F.M., Adje D.D., Abahi K.S., Tchaou C.M., Okoya J.G.A., Orou Pami Z., Gnohossou M.P., Omoniye G., Piscart C. 2019. Abundance and Distribution of Macroinvertebrates of the Affon River in Bénin // Open Journal of Marine Science. Vol.9. P.173–187.
- Semenchenko V.P. 2004. The principles and system of fluid water bioindication. Minsk: Oreh. 125 p. [In Russian].
- Shesterkina N.M., Forina Ju.A., Shesterkin V.P. 2005. Hydrochemistry of small rivers of the Bolshoi Khkhtsir ridge // Biogeochemical and geoecological processes in ecosystems. Vol.15. Vladivostok: Dal'nauka. P.201–208. [In Russian].
- Shubina V.N. 2006. Benthos of salmon rivers of the Ural and Timan Mountains. Sankt-Peterburg: Nauka. 401 p. [In Russian].
- Teslenko V.A., Yavorskaya N.M. 2021. New information about stonefly fauna (Plecoptera, Insecta) in specially protected natural areas of the Khabarovsk Territory // Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings. Vol.9. Vladivostok: IP Serdjuk O.A. P.159–174. [In Russian].
- Tkachev B.P., Bulatov V.I. 2002. Small rivers: state-of-the act and ecological problems: analytical review. Vol.64. Novosibirsk: GPNTB SO RAN. 114 p. [In Russian].
- Vshivkova T.S., Ivanenko N.V., Jakimenko L.V., Drozdov K.A. 2019. [Introduction to freshwater biomonitoring]. Vladivostok: Izd-vo VGUJeS. 240 p. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2013. Estimation of the ecological condition of the Krasnaya Rechka River basin on structural characteristics of bottom invertebrate communities (Khabarovsk Territory) // Freshwater life. Vol.1. Vladivostok: Dal'nauka. P.199–211. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2014. Assessment of the environmental condition of the Berezovaya River (Amur river basin) within the Khabarovsk city by structural characteristics of zoobenthos // Rybnoe hozjajstvo (Fisheries). No.2. P.22–26. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2015a. Community structure of benthic invertebrates of the Levaya River (Amur River basin) (Khabarovsk territory) // Amurskij zoologicheskij zhurnal (Amurian Zoological Journal). T.VII. No.1. P.14–19. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2015b. Community structure of benthic invertebrates in a small river Matrenikha (river Amur basin, Khabarovskii region) under the seasonal changes in water level // Voda: himija i jekologija (Water: chemistry and ecology). No.6. P.43–48. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2017. Structure of the benthic communities of rivers in the construction area of the Nizhne-Bureiskaya Hydroelectric power station // Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings. Vol.7. Vladivostok: FNC Bioraznoobrazija DVO RAN. P.267–277. [In Russian].
- Yavorskaya N.M. 2020. The taxonomic composition and quantitative indicators of zoobenthos in the downstream of the Bolshaya Pyora River (Zeya River basin, Amur Region) // Amurskij zoologicheskij zhurnal (Amurian Zoological Journal). T.12. No.2. P.84–97. [In Russian].
- Yavorskaya N.M., Klimin M.A. 2019. Zoobenthos of the Pravaya River (Hekhtsirskiy wildlife refuge, Khabarovsk Territory) // Vestnik DVO RAN (Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Science). No.1. P.34–43. [In Russian].
- Yavorskaya N.M., Klimin M.A. 2021. Pigmental characteristics of the periphyton algae and their using for assessment of the water current conditions of the Bolshekhkhtsirsky nature reserve (Khabarovsk territory) // Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings. Vol.9. Vladivostok: IP Serdjuk O.A. P.226–242. [In Russian].
- Yavorskaya N.M., Makarchenko E.A. 2015. New data on taxonomy, distribution and biology of archaic Diptera *Nymphomyia rohdendorfi* Makarchenko, 1979 (Diptera, Nymphomyiidae) // Evrazijskij jentomologicheskij zhurnal (Eurasian Entomological Journal). T.6. Vol.14. P.523–531. [In Russian].
- Yavorskaya N.M., Sirotskii S.E. 2013. The ecological state of streams of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region based on zoobenthos indicators // Biogeochemistry and hydroecology of terrestrial and aquatic ecosystems. Vol.20. Habarovsk: IVJeP DVO RAN. P.176–203. [In Russian].
- Zinchenko T.D. 2011. Ecological and faunal review of chironomids (Diptera, Chironomidae) small rivers in Middle and Low Volga basin (Atlas). Tol'jatti: Kassandra. 258 p. [In Russian].

Поступила в редакцию 16.4.2022