

# БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДГОРНЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЯ ПО ЗООБЕНТОСУ

Л.В. Яныгина, Е.Н. Крылова

*На основе анализа данных по составу, структуре и количеству зообентоса оценено экологическое состояние некоторых предгорных водоемов Алтая (оз. Колыванское, Белое, р. Слюдянка, Колыванка). Для анализа экологического состояния исследованных водных объектов рекомендовано использовать несколько индексов (Шеннона, Гуднайта и Уитлея, Попченко). Отмечена неблагоприятная экологическая обстановка в оз. Колыванском и р. Слюдянке в период исследований.*

## ВВЕДЕНИЕ

Экосистемы горных и предгорных водоемов наиболее чувствительны к антропогенному воздействию, что обусловлено, в том числе и преобладанием в их населении высокочувствительных к загрязнению организмов. Основным фактором загрязнения природной среды предгорных водоемов, традиционно используемых в туристических целях, является высокая рекреационная нагрузка. Так, около трети береговой линии оз. Колыванского (одного из наиболее интенсивно используемых водоемов предгорий Алтая) относится к 4 и 5 стадии рекреационной дигрессии, что выходит за границы устойчивости природного комплекса [1].

Биоиндикация загрязнения водоемов по структурным показателям зообентоса – наиболее удобный и показательный метод оценки экологического состояния. Бентосные организмы удовлетворяют многим требованиям, предъявляемым к биоиндикаторам, в том числе: повсеместная встречаемость, достаточно высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора и обработки, сочетание приуроченности к биотопу с определенной подвижностью, достаточно продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период [2].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для настоящей работы был собран в июле 2003 г. на водных объектах бассейна р. Локтевка: оз. Колыванском, оз. Белом, безымянном притоке оз. Белого, р. Слюдянке, р. Колыванке. Всего было отобрано 12 проб зообентоса и 8 проб зооперифитона. Пробы зообентоса с мягких грунтов отбирали дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>, на мелкокаменистых грунтах использовали трубчатый дночерпатель с площадью захвата 0,0096 м<sup>2</sup>. Затем пробы промывали через газ № 21, выбирали

бентосных животных и фиксировали их 70% этанолом. После установления постоянного веса животных разбирали по систематическим группам, затем просчитывали и взвешивали на торсионных весах ВТ-500.

Анализ материала проводили общепринятыми гидробиологическими методами. Для оценки экологического состояния исследованных водных объектов использовали следующие индексы: Карра и Хилтунена [3] – величина абсолютной численности олигохет; Гуднайта и Уитлея [4] – процентное отношение численности олигохет к численности всего зообентоса; Э.А. Пареле [5] – отношение суммарной численности всех тубифицид к численности всех олигохет; В.И. Попченко [6] – отношение суммарной численности *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Spirosperma ferox* к численности всех олигохет; видового разнообразия Шеннона. Уровень сходства сообществ оценивали по индексу Жаккара [3].

## ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗООБЕНТОСА

В зообентосе исследованных водных объектов отмечено 82 вида бентосных беспозвоночных. Наибольшее число видов относится к насекомым: Diptera – 37 (*Chironomidae* – 28, *Ceratopogonidae* – 4, *Limoniidae* – 2, *Tipulidae* – 1, *Chaoboridae* – 1, *Psychodidae* – 1), *Ephemeroptera* – 4, *Trichoptera* – 5, *Odonata* – 2, *Heteroptera* – 1, *Coleoptera* – 5. Среди других беспозвоночных отмечены: *Oligochaeta* – 15, *Hirudinea* – 4, *Hydracarina* – 6, *Mollusca* – 2, *Amphipoda* – 1.

Наибольшая частота встречаемости отмечена у *Limnodrilus hoffmeisteri* (47%), *Limnodrilus claparedianus* (27%), *Tubifex tubifex* (40%), *Procladius ferrugineus* (33%), *Cricotopus gr. sylvestris* (40%), *Cryptochironomus gr. defectus* (27%), *Caenis horaria* (27%), *Abalabesmyia gr. monilis* (27%). Около половины таксонов (45) были отмечены лишь в одной

пробе. По типу питания преобладают детритофаги, относительно велика доля хищников (21% видов), за весь период исследований не было обнаружено фильтратов. В зообентосе отмечена большая доля фитофильного комплекса видов (около 20%).

В зоогеографическом отношении наибольшее число обнаруженных бентосных беспозвоночных (38%) имело палеарктическое или голарктическое распространение, значительно ниже доля европейских (6%), европейско-сибирских (5%) видов и космополитов (4%). Особый интерес вызывает нахождение в р.Колыванке и в притоке оз. Белого хирономид р.*Heleniella*, отмечавшихся ранее только в горных и предгорных реках Дальнего Востока. Наибольшее число бентосных беспозвоночных (54 вида) обнаружено в оз. Белом, из которых 40 (около половины общего списка) отмечены только в этом озере. Значительно ниже видовое богатство оз. Колыванского – 18 видов, в р. Колыванка и р. Слюдянка отмечено по 10 видов бентосных беспозвоночных, в безымянном притоке оз. Белого – 7 видов.

Максимальные значения индекса видового разнообразия Шеннона (табл. 1) отмечены для оз. Белого (2,03 – 2,56). В оз. Колыванском индекс видового разнообразия на илах изменялся в пределах 1,73 - 1,84; на

песке – 1,09 - 1,83. Минимальные значения индекса Шеннона установлены в притоке оз. Белого (0,93) и р. Слюдянке (0,72).

Обследованные реки и озера значительно различаются по видовому составу зообентоса. Максимальных значений индекс сходства (по Жаккару) достигал при сравнении видовых списков бентосных животных оз. Белого и оз. Колыванского (19,7%), оз. Колыванского и р. Слюдянки (16%). Наиболее оригинальна фауна р. Колыванки и притока оз. Белого (6% общих видов между собой при отсутствии сходства с другими точками). Низкие показатели видового сходства могут быть связаны как с большим разнообразием биотопов в исследованных водных объектах, так и с общей для всех водоемов тенденцией агрегированного распределения зообентоса.

### ЧИСЛЕННОСТЬ И БИОМАССА ЗООБЕНТОСА

Наибольшие значения численности и биомассы зообентоса (табл. 2) отмечены в р. Слюдянке (33750 экз./м<sup>2</sup> и 30,6 г/м<sup>2</sup>); доминировали олигохеты (95% общей численности и 93% биомассы). Такая структура бентосного сообщества может свидетельствовать о неблагоприятной экологической обстановке (вероятнее всего – органическое загрязнение) в водотоке в период исследований.

Таблица 1

Оценка класса чистоты водоемов по биотическим индексам

Водоем, водоток	оз Колыванское				р.Колыванка	р.Слюдянка	оз.Белое					
	1	2	5	7			10	11	12	13	14	15
Пункт отбора	1	2	5	7	10	11	12	13	14	15	16	17
N олигохет, экз./м <sup>2</sup>	20	1320	0	1240	0	32187	2171	1372	360	1840	2160	0
Индекс Гуднайта Уитлея	11,1	56,9	0	51,7	0	95,4	36,9	13,7	36	18,9	60	
класс чистоты	1	2	1	2		4	2	1	2	1	3	
Индекс Пареле	0	1	0	0,77	0	1	0	0,14	1	0,91	0,98	0
класс чистоты	1	4		3		4	1	1	4	4	4	
Индекс Цанера	0	1	0	1	0	2	0	1	2	1	2	0
Индекс Шеннона	1,83	1,73	1,1	1,84	2,06	0,93	2,39	2,29	1,4	2,56	2,03	0,72

Примечание. класс чистоты 1 – чистые воды, 2 –слабозагрязненные, 3 – загрязненные, 4 - грязные

**БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДГОРНЫХ ВОДОЕМОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ ПО ЗООБЕНТОСУ**

Таблица 2

Численность и биомасса зообентоса в водных объектах бассейна р. Локтевка

Водоем	оз. Колыванское				р. Колыванка	р. Слюдянка	оз. Белое					приток оз. Белого	
	1	2	5	7			10	11	12	13	14		15
№ точки													
грунт	песок	ил	песок	ил	песок	ил	ще-бенъ	камни	ил	ил	ил	песок	
N, экз./м <sup>2</sup>	180	2320	1042	2400	1667	33750	5886	10000	1000	9720	3600	760	
B, г/м <sup>2</sup>	0,04	7,14	0,833	5,12	5	30,62	1,26	6	1,7	7	3,14	3,45	

В оз. Колыванском максимальные значения средней численности и биомассы отмечены на илах (2360 экз./м<sup>2</sup> и 6,1 г/м<sup>2</sup>), по численности доминировали хирономиды и олигохеты, по биомассе – хирономиды (*Chironomus gr. plumosus* – 80-85% общей биомассы). Значительно ниже показатели численности и биомассы зообентоса на песке (180 экз./м<sup>2</sup> и 0,04 г/м<sup>2</sup>) и заиленном песке (1042 экз./м<sup>2</sup> и 0,83 г/м<sup>2</sup>); доминировали как по численности, так и по биомассе хирономиды.

В оз. Белом наибольшие количественные показатели зообентоса отмечены на камнях северной литорали (10000 экз./м<sup>2</sup> и 6,0 г/м<sup>2</sup>); ниже эти показатели на илах с водными растениями (6660 экз./м<sup>2</sup> и 5,07 г/м<sup>2</sup>), минимальны – на щебне (5886 экз./м<sup>2</sup> и 1,26 г/м<sup>2</sup>). На илах как по численности, так и по биомассе доминировали олигохеты, субдоминировали хирономиды; на остальных грунтах преобладали хирономиды.

Сравнительно высокие значения биомассы зообентоса (3,45 г/м<sup>2</sup>) при незначительной численности (760 экз./м<sup>2</sup>) характерны для песчаных грунтов притока оз. Белого, что обусловлено массовым развитием в этой точке *Gammarus lacustris* (84% общей численности и 88% биомассы).

При подсчете общей численности и биомассы зообентоса не учитывали данные по количественному развитию речного рака (*Astacus astacus*), сбор которого проводят специальными методами, неиспользованными в данной работе. Следует также отметить, что пробы были отобраны в июле – в период, когда большинство групп амфибиотических насекомых уже вылетели, и, возможно, приведенные данные отражают минимальные за вегетационный сезон значения количественных показателей.

### ЗООПЕРИФИТОН МАКРОФИТОВ

Зооперифитон исследованных водоемов представлен 72 видами беспозвоночных, большинство из которых – насекомые: Diptera – 23 (*Chironomidae* – 20, *Ceratopogonidae* – 2, *Chaoboridae* – 1), *Ephemeroptera* – 2, *Trichoptera* – 5, *Odonata* – 4, *Heteroptera* – 3, *Coleoptera* – 3. Среди других классов беспозвоночных отмечены: *Oligochaeta* – 15, *Hirudinea* – 4, *Hydracarina* – 8, *Mollusca* (класс *Gastropoda*) – 5. Коэффициент фаунистического сходства (по Жаккару) таксономических списков зообентоса и зооперифитона сравнительно высок (0,4). Возможно, это связано с тем, что большая часть водоема покрыта макрофитами и часть бентосных проб была отобрана с заросших грунтов (об этом свидетельствует и высокая доля фитофильного комплекса в бентосе). Кроме того, беспозвоночные животные способны к активным миграциям, что способствует взаимопроникновению фаун.

Наибольшая частота встречаемости отмечена у *Caenis horaria*, *Glyptotendipes glaucus*, *Cricotopus gr. sylvestris*, *Ophidonais serpentina*, *Helobdella stagnalis*. В трофической структуре зооперифитона также преобладают детритофаги, доля хищников в перифитоне (28%) выше, чем в бентосе.

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время в мировой практике используют свыше 60 методов мониторинга экологического состояния водных объектов по характеристикам зообентоса, большинство из которых разработано для Европы и не имеет региональных модификаций для Сибири [2]. Наличие такого большого числа методов свидетельствует о том, что универсаль-

ного, пригодного для всех случаев метода нет. Таксономический состав, численность и биомасса зообентоса дают возможность прямой оценки состояния водных экосистем, отражают уровень загрязнения за определенный период, связанный с жизненным циклом организмов.

Для оценки экологического состояния исследованных водных объектов использовали пять индексов: Карра и Хилтунена; Гуднайтта и Уитлея; Э.А. Пареле; В.И. Попченко, Шеннона. Максимальные значения индекса видового разнообразия по Шеннону (см. табл. 1) отмечены для оз. Белого (2,03 – 2,56), что соответствует слабозагрязненным водам; исключение составила только глубоководная станция, где индекс Шеннона не превысил 1,37. В оз. Колыванском индекс видового разнообразия на илах изменялся в пределах 1,73 – 1,84; на песке – 1,09 – 1,83, что может свидетельствовать об умеренном загрязнении. Минимальные значения индекса видового разнообразия в притоке оз. Белого (0,93) и в р. Слюдянке (0,72), что может свидетельствовать о неблагоприятной экологической обстановке в этих водотоках.

Анализ показателей, рассчитанных по соотношению численности различных групп олигохет, также выявил загрязнение р. Слюдянки (см. табл. 1). При анализе экологического состояния исследованных водных объектов наименее информативным оказался индекс Пареле, значения которого не соответствовали остальным показателям (так в оз. Белом (точки 14, 15, 16) по большинству показателей вода характеризуется как «чистая» или «сравнительно чистая», по Пареле – «грязная»). Это еще раз подтверждает, что из множества предложенных методов биологического анализа и оценки качества вод по структурным и функциональным характеристикам зообентоса в настоящее время нет единого и общепризнанного. Для каждого конкретного региона (водотока) и конкретной ситуации необходимо просчитать наибольшее количество индексов выявить наиболее подходящие индексы с тем, чтобы обеспечить достаточно высокую точность полученных данных и их информативность.

Таким образом, в исследованных водных объектах бассейна р. Локтевка обнаружено 108 видов беспозвоночных животных, большинство из них (67) относится к насекомым. Наибольшее число видов бентосных беспозвоночных имеет палеарктическое или голарктическое распространение.

Максимальное видовое богатство отмечено в оз. Белом (54 вида), значительно ниже эти показатели в оз. Колыванском (18), р. Колыванка и р. Слюдянка (по 10), минимальны – в притоке оз. Белого (7 видов).

В большинстве исследованных водных объектов в доминирующую группу видов как по численности, так и биомассе входили хирономиды и олигохеты; исключение составил только приток оз. Белого, где доминировал *Gammarus lacustris*. Максимальные значения численности и биомассы зообентоса отмечены на илах, минимальные – на песках, что отражает общие закономерности распределения бентосных беспозвоночных.

Большие значения численности и биомассы зообентоса в р. Слюдянке при доминировании олигохет, низкие значения индекса видового разнообразия Шеннона могут свидетельствовать о неблагоприятной экологической обстановке в данном водотоке в период исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 04-04-49257, № 06-04-63095к, и Молодежного гранта СО РАН № 121. Авторы выражают благодарность м.н.с. лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН М.И. Ковешникову за отбор материала.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаева О.П. Определение рекреационных нагрузок на побережье озера Колыванское // Алтай: экология и природопользование: Тр. IV Российско-монгольской конф. молодых ученых. – Бийск, 2005. – С. 95-100.
2. Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. – 2000. – № 1. – С. 68-82.
3. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г. Винберга. – Л.: АН СССР, 1974 – 60 с.
4. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext., Sec. – 1961. – V. 106. – P. 139-142.
5. Пареле Э.А. Малощетинковые черви районов рек Даугава и Лиелупе, их значение в санитарно-биологической оценке: Автореф. дис... к.б.н. – Тарту, 1975. – 23 с.
6. Попченко В.И. Закономерности изменения сообществ донных беспозвоночных в условиях загрязнения природной среды // Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем: Тр. сов.-франц. симп. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 135-141.