

СОСТАВ и СТРУКТУРА ЗООБЕНТОСА как ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ озер **БУРЛИНСКОЙ** **СИСТЕМЫ**



В 2010–2011 гг. исследованы состав и структура донных беспозвоночных в 12 озерах Бурлинской системы. Донная фауна включает 76 видов из восьми классов. На основе изучения состава и структуры зообентоса оценено экологическое состояние водоемов. Воды большинства озер отнесены к умеренно загрязненным.

Введение

Бассейн р. Бурлы с многочисленными озерами — одна из бессточных озерно-речных систем, расположенных в междуречье Оби и Иртыша. Эти системы представляют собой уникальные природные объекты и являются надежными индикаторами циклов увлажнения территории юга Западной Сибири [1].

Циклические колебания уровня режима озер юга Обь-Иртышского междуречья определяют значительные изменения во времени их гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик [2]. Наряду с действием природных факторов, в бассейне р. Бурлы с начала 1930-х годов до 1990 г. проводилось регулирование стока [1]. В настоящее время существует проект по обводнению бассейна р. Бурлы, реализация которого приведет к

О.Н. Жукова*,
младший научный сотрудник,
ФГБУН Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения
Российской академии наук

Д.М. Безматерных,
кандидат биологических наук,
доцент, заместитель
директора по научной работе,
ФГБУН Институт водных и экологических проблем
Сибирского отделения
Российской академии наук

существенным изменениям ее гидрологических характеристик [3, 4]. Это определяет необходимость исследования процессов преобразования в водных экосистемах бассейна в результате гидротехнического строительства, для которых особое значение имеют данные об их исходном состоянии [5]. Гидротехническое строительство также может повлечь за собой ухудшение экологического состояния водоемов.

Цель работы — оценить экологическое состояние озер Бурлинской системы по составу и структуре зообентоса, дать рекомендации по применению методов биоиндикации на изученных водоемах.

Материалы и методы исследования

В 2010–2011 гг. в рамках комплексных лимнологических экспедиций ИВЭП СО РАН исследованы сообщества донных беспозвоночных двенадцати озер Бурлинской системы (рис. 1). Материал для

*Адрес для корреспонденции: jukova@iwep.ru



Рис. 1. Карта-схема обследованных озер Бурлинской системы: 1 — Большое, 2 — Бол. Пустынное, 3 — Бол. Топольное, 4 — Верхнее, 5 — Кабанье, 6 — Кривое, 7 — Мал. Топольное, 8 — Нижнее, 9 — Песчаное, 10 — Прыганское, 11 — Хомутиное, 12 — Хорошее.

исследований отбирали и обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам [6]: качественные сборы проводили сачком или скребком, количественные — дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,025 м² или штанговым дночерпателем ГР 91-000 ТО с площадью захвата 0,007 м². Всего отобрано и проанализировано 56 количественных и 16 качественных проб. Для оценки экологического состояния исследованных водных объектов использовали три индекса: фламандский мультиметрический [7]; Гуднайта и Уитлеа — процентное отношение численности олигохет к численности всего зообентоса [8]; видового разнообразия (по Шеннону). Уровень трофности озер определяли по шкале, предложенной в [9]. Доминирующие виды устанавливали по частоте встречаемости [10]. Сходство таксономического состава оценивали при помощи мер включения [11]. Статистическая обработка материала проведена в пакете программ Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

В составе бентоса исследованных озер Бурлинской системы выявлено 76 видов донных беспозвоночных из восьми

классов: нематоды, малощетинковые черви, пиявки, мшанки, двусторчатые и брюхоногие моллюски, ракообразные и насекомые. Амфибиотические насекомые составили 82,9 % от числа обнаруженных таксонов (68 видов). Большая их часть (32 вида) принадлежала к отряду двукрылых, 36 видов — стрекозы, поденки, клопы, жуки, бабочки и ручейники. Среди двукрылых преобладали личинки хирономид (23 вида), представленные, в основном, подсем. Chironominae. Кроме того, в составе донной фауны озер отмечены 3 вида олигохет, 7 — моллюсков, 2 — ракообразных, по одному виду мшанок и нематод. Среди хирономид наиболее часто встречались личинки *Chironomus* sp. (42 %) и *Procladius ferrugineus* Kieffer, 1919 (25 %), из других таксонов наибольшую частоту встречаемости имели *Gammarus lacustris* Sars., 1863 (27 %) и *Caenis horaria* (L., 1758) (21 %). Наибольшее число видов донных беспозвоночных выявлено в озерах Верхнее (28) и Песчаное (26). Расчет мер включения видового состава донных беспозвоночных озер Бурлинской системы показал их высокую степень сходства. Для большинства озер характерна связь на уровне 50–69 %, максимальная степень сходства отмечена для пар озер Мал. Топольное — Хорошее и Мал. Топольное — Песчаное, наиболее

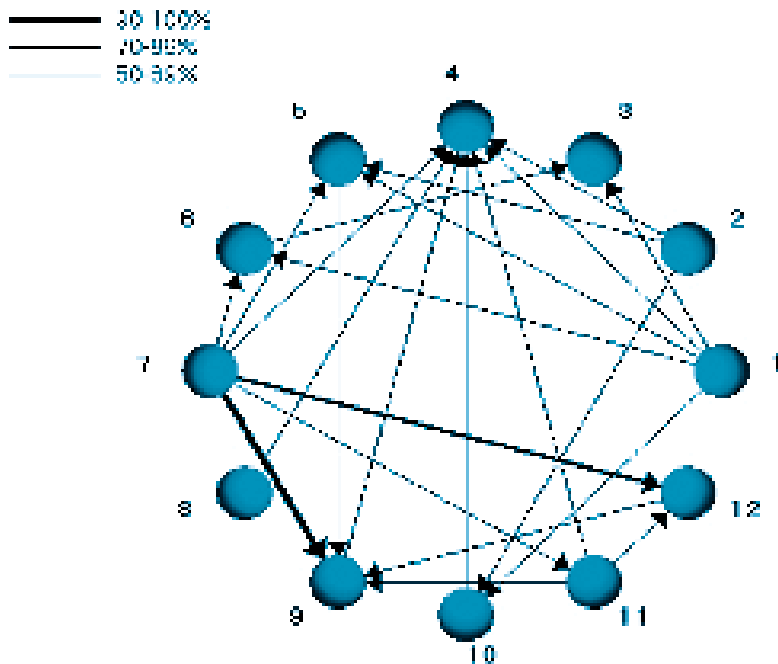


Рис. 2. Ориентированный мультиграф бинарных отношений на множестве мер включения описания зообентоса по наличию видов (нумерацию озер см. на рис. 1).

оригинальным оказался состав бентоса оз. Верхнее (рис. 2).

Озера Бурлинской системы характеризовались достаточно высокими показателями плотности и биомассы донных беспозвоночных. Большая часть озер соответствовала умеренному и среднему классу продуктивности. Биомасса колебалась в разных озерах от 0 до 61 г/м², численность от 0 до 143 тыс. экз./м² (табл. 1). Минимальные значения численности и биомассы отмечены в открытой части озер Бол. Топольное (0,2 тыс. экз./м²; 0,1 г/м²), Кривое (0,7 тыс. экз./м²; 0,4 г/м²) и Кабанье (0,7 тыс. экз./м²; 0,4 г/м²). Основу численности и биомассы зообентоса этих участков озер составили *Cryptochironomus cf. defectus* и *Chironomus sp.* Массовое развитие ракообразных *Gammarus lacustris* привело к значительному росту биомассы зообентоса в литорали оз. Прыганское (37 г/м²) при относительно низких значениях численности (1,2 тыс. экз./м²). Максимальные значения биомассы зафиксированы в оз. Хомутиное (143 тыс. экз./м²; 61 г/м²), что обусловлено развитием одного вида личинок хирономид *Fleuria lacustris* Kieffer, 1924.

По составу и структуре зообентос Бурлинской системы сходен с зообентосом соседних систем озер — Карасукской и Касмалинской [12, 13] (рис. 3).

Высокое видовое разнообразие является главным фактором устойчивого существования водных экосистем. В изученных озерах Бурлинской системы максимальное видовое разнообразие (по индексу Шеннона) отмечено для четырех озер: Бол. Пустынное (2,1 бит/экз.), Верхнее (2,9 бит/экз.), Нижнее (2,7 бит/экз.), Хорошее (2,5 бит/экз.), что свидетельствует о благоприятных условиях для формирования донных беспозвоночных в этих озерах (табл. 2). Минимальные значения индекса видового разнообразия отмечены в озерах Кривое (0,5 бит/экз.) и Большое (0,6 бит/экз.), что соответствует загрязненным водам. В остальных озерах Бурлинской системы индекс изменялся в пределах от 1,0 до 1,4 бит/экз., что говорит об умеренном загрязнении вод.

Согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 для оценки качества воды водоемов по характеристикам зообентоса рекомендовано использовать биотический индекс Вудивисса и отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов (индекс Гуднайта и Уитлеа). Индекс Вудивисса был разработан для оценки качества воды водотоков. Анализ литературных источников показал [14], что для определения качества воды озер целесообразнее использовать фламандский мультиметрический индекс (ММИФ), в основе которого лежит бельгийский биотический индекс, который, в свою очередь, является развитием индекса Вудивисса. Для расчета индекса ММИФ ис-

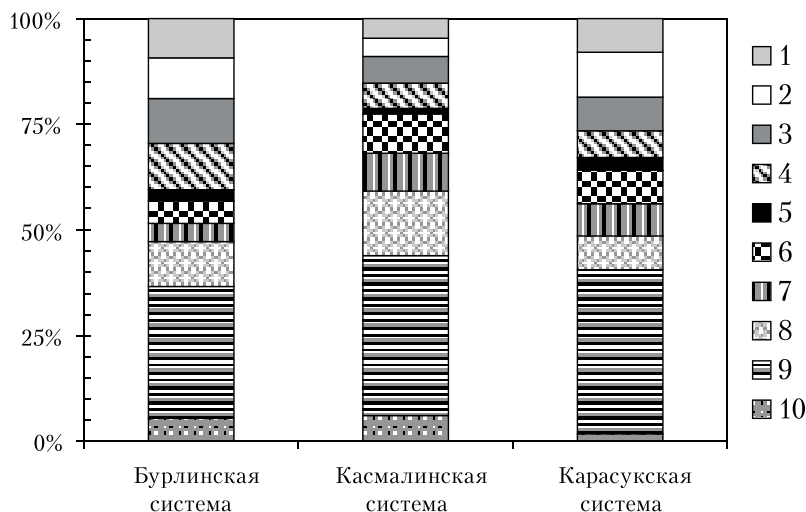


Рис. 3. Таксономический спектр фаун донных беспозвоночных Бурлинской, Касмалинской и Карасукской озерных систем: 1 — кольчатые черви, 2 — моллюски, 3 — ручейники, 4 — стрекозы, 5 — поденки, 6 — клопы, 7 — жуки, 8 — двукрылые без хирономид, 9 — хирономиды, 10 — прочие.

Таблица 1

Количественные характеристики макрозообентоса исследованных озер Бурлинской системы

Озеро	Минерализация, г/дм ³	Число видов	Доминирующие (руководящие) виды по частоте встречаемости	Плотность \lim / \bar{x} , тыс. экз./м ²	Биомасса \lim / \bar{x} , г/м ²	Уровень трофности по [9]
Большое	0,7	8	<i>Chironomus</i> sp.	2,5-3,5 3,0	5,8-10 8,1	β-мезотрофный
Бол. Пустынное	0,4	8	-	1,0-1,3 1,1	1,7-2,5 2,1	олиготрофный
Бол. Топольное	18	20	<i>Polypedium</i> cf. <i>scalaenum</i>	0,2-37 10,2	0,1-14 3,9	α-мезотрофный
Верхнее	0,3	28	-	1,2-10 4,9	1,3-19 7,3	β-мезотрофный
Кабанье	1,2	14	<i>Fleuria lacustris</i>	0,7-14 0,9	0,6-8,3 3,5	α-мезотрофный
Кривое	9,7	16	-	0,7-13 0,9	0,4-4,1 1,7	олиготрофный
Мал. Топольное	1,0	4	<i>Chironomus</i> sp.	2,4-4,5 3,2	0,7-3,3 1,5	олиготрофный
Нижнее	0,4	9	-	2,9-3,8 3,3	1,9-2,4 2,1	олиготрофный
Песчаное	1,4	26	<i>Polypedium</i> cf. <i>nubiculosum</i>	0,7-3,5 2,1	0,8-13 6,9	β-мезотрофный
Прыганское	0,3	21	<i>Chironomus</i> sp., <i>Caenis horaria</i>	0-2,9 1,4	0-37 17	α-эвтрофный
Хомутиное	1,1	13	<i>Fleuria lacustris</i>	49-140 96	30-61 45	β-эвтрофный
Хорошее	2,09	18	-	13-14 14	2,6-8,1 5,4	β-мезотрофный

Примечание: «-» — явные доминанты не обнаружены (частота встречаемости не превышала 50 %).

пользуется пять одинаково взвешенных метрик. В отличие от бельгийского индекса, данный индекс помимо ЕРТ (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) также учитывает и другие чувствительные таксоны. Также преимущество ММІФ состоит в том, что он рассчитывается для определенного типа озер, в том числе солоноватых. Значение метрик подбирается в соответствии с типом озера. По суммарному значению всех метрик определяют качество воды водоема.

В озерах Бурлинской системы значения фламандского ММІФ менялись в пределах от 0,05 до 0,8. Наиболее низкие его значения отмечены в озерах Большое, Бол. Топольное, Мал. Топольное и Кабанье, что свидетельствует о «плохом» качестве воды водоемов. Треть озер характеризовалась «низким» качеством воды, значения индекса изменялись от 0,25 до 0,45. Увеличение

значений индекса наблюдалось в озерах Нижнее (0,55) и Песчаное (0,55), что свидетельствует о «посредственном» состоянии водоемов. Наиболее благоприятное состояние выявлено в мелководных озерах Верхнее и Прыганское, где качество воды оценивается как «хорошее».

Значения олигохетного индекса в изученных озерах изменялись от 0 до 100 %. Высокие значения индекса отмечены в оз. Мал. Топольное, на различных участках которого значения индекса варьировали от 71 до 100 %, что соответствует V и VI классам качества — «грязным» и «очень грязным» водам. В большинстве озер олигохеты не были зарегистрированы. Таким образом, индекс Гуднайта и Уитлеа оказался малоинформативным для изученных систем озер, т.к. основным ограничением его применения является то, что при низкой численности

Таблица 2

Индикаторы экологического состояния озер Бурлинской системы

Озеро	H	Ко, % – Кл	ММIF	Уровень трофности
Большое	0,6	0	0,25 – пл	β-мезотрофный
Бол. Пустынное	2,1	0	0,30 – н	олиготрофный
Бол. Топольное	0,9	0	0,25 – пл	олиготрофный
Верхнее	2,9	0	0,80 – х	β-мезотрофный
Кабанье	1,1	0	0,25 – пл	α- мезотрофный
Кривое	0,5	0	0,35 – н	олиготрофный
Мал. Топольное	1,0	89 – VI	0,05 – пл	олиготрофный
Нижнее	2,7	0	0,55 – п	олиготрофный
Песчаное	1,3	28 – II	0,55 – п	β-мезотрофный
Прыганское	1,1	0	0,70 – х	α-эвтрофный
Хомутиное	1,4	48 – III	0,30 – н	β-эвтрофный
Хорошее	2,5	10	0,45 – н	β-мезотрофный

Примечания: H – индекс видового разнообразия по Шеннону, Ко – олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа, ММIF – фламандский мультиметрический индекс; Кл – класс качества вод: I – очень чистые, II – чистые, III – умеренно загрязненные, VI – загрязненные; х – хорошее, п – посредственное, н – низкое, пл – плохое.

ности олигохет индекс не дает достоверных результатов [15], он может использоваться только совместно с другими биотическими индексами.

Уровень развития зообентоса озер Бурлинской системы менялся от «самого низкого» до «высокого» уровня по шкале, предложенной в [9]. Максимальные биомассы бентоса были зарегистрированы в озерах Прыганское и Хомутиное, остальные озера соответствовали олиготрофным и мезотрофным типам водоемов (табл. 2).

Данные биоиндикации согласуются с данными гидрохимических исследований. Выявлена достоверная положительная корреляция между биологическими индексами и некоторыми гидрохимическими показателями (табл. 3). Кроме того, выявлена значительная положительная связь между индексом видового разнообразия и ММIF (0,68; $p = 0,02$): это объясняется, тем, что индекс Шеннона является одной из метрик ММIF.

Таким образом, таксономическая структура и уровень развития зообентоса озер Бурлинской системы свидетельствует об «умеренном загрязнении» вод. Наиболее благоприятные условия для развития зо-

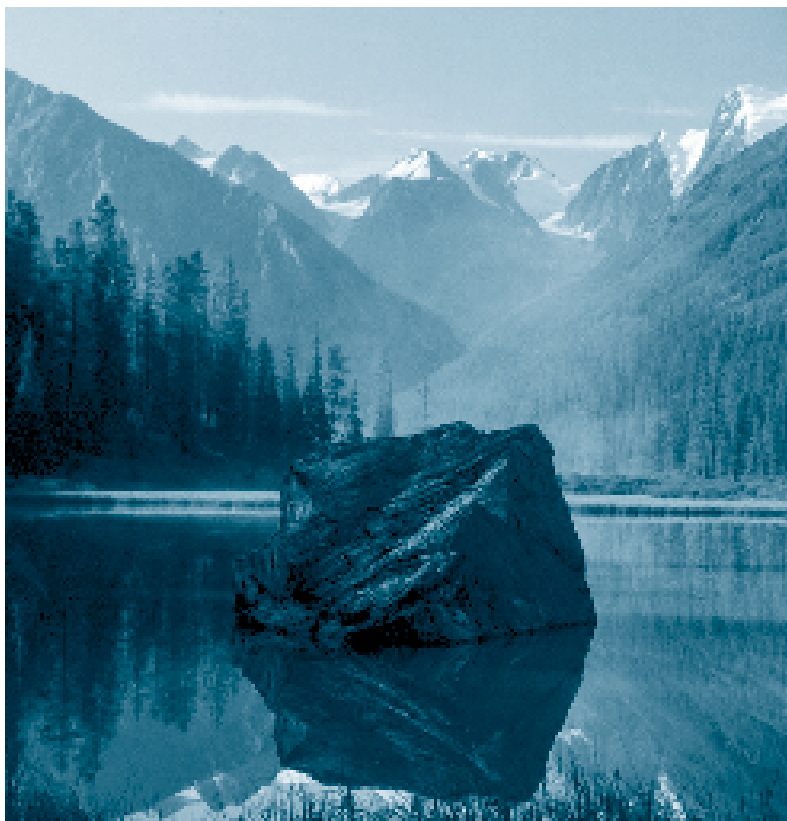
обентоса отмечены в озерах Верхнее и Нижнее. Низкое видовое разнообразие и количественные характеристики зообентоса свидетельствовали о неблагоприятных условиях в озерах Большое, Кабанье, Мал. Топольное и Хомутиное. Низкое качество воды в перечисленных водоемах может быть связано как с антропогенной нагрузкой на данные водоемы, так и с естественным фоновым содержанием органических веществ. Основными источниками загрязнения водных объектов бассейна р. Бурла являются, прежде всего, животноводческие фермы и комплексы. Неблагоприятная экологическая обстановка в данных озерах отмечена также и по результатам гидрохимических анализов [5]. В перечисленных озерах на момент отбора проб зообентоса наблюдались превышающие ПДК_{рх} значения БПК₅, по эколого-санитарным показателям [16] вода исследуемых озер характеризовалась как «сильно загрязненная». Повышенные показатели БПК₅ свидетельствуют о загрязнении водных объектов органическими веществами.

В минерализованных озерах Бол. Топольное и Кривое использованные индексы также показали неблагоприятное

экологическое состояние водоемов. Это можно объяснить тем, что под действием увеличения минерализации воды снижается видовое разнообразие и обилие бентосных организмов, и индексы, основанные на индикаторных видах, оказываются малоинформативными. Использование биомассы и продуктивности сообществ для индикации эвтрофирования соленых водоемов также неинформативно, т.к. возрастание минерализации приводит увеличению энергетических трат гидробионтов на осмотическую регуляцию и снижению их биомассы и продукции [17].

Заключение

Таким образом, в составе зообентоса озер Бурлинской системы выявлено 76 видов донных беспозвоночных из восьми классов. Озера Бурлинской системы характеризовались достаточно высокими показателями плотности и биомассы донных беспозвоночных. По уровню развития зообентоса большая часть озер соответствовала мезотрофному уровню. Для индикации экологического состояния озер Бурлинской системы можно рекомендовать индекс видового разнообразия (по Шеннону) и специальный биотический индекс, разработанный для озер (MMIF), в качестве дополнительного можно использовать олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа. При экологической оценке минерализованных озер следует учитывать угнетающее действие солей. В общем, таксономическая структура и уро-



вень развития зообентоса озер Бурлинской системы свидетельствуют об умеренном загрязнении вод.

Литература

1. Галахов В.П. Водный баланс бессточных озерно-речных систем Обь-Иртышского междуречья (в пределах Алтайского края) / В.П. Галахов, М.С. Губарев А.Н., Назаров. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2010. 111 с.
2. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажнённости материков северного полушария // Записки географ. об-ва СССР. Л.: Наука, 1957. Т. 16. 337 с.
3. Кошелева Е.Д. Компьютерное моделирование взаимодействия грунтовых и поверхностных вод в зоне Бурлинского магистрального канала / Е.Д. Кошелева, К.Б. Кошелев. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. 238 с.
4. Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Бурла на территории Алтайского края и Новосибирской области: Сводная пояснительная записка. Кн. 1. Ч. 1. Природные и социально-экономические условия / Гл. инж. проекта В.Г. Чернобаев. Фондовые материалы ОАО «Алтайводпроект». Барнаул, 2003. 112 с.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции гидрохимических показателей и биологических индексов

Гидрохимические показатели	Видовое разнообразие по Шеннону	MMIF
pH	0,92 (p = 0,0001)	0,70 (p = 0,02)
O ₂	0,28 (p = 0,42)	0,16 (p = 0,65)
NH ₄	-0,83 (p = 0,003)	-0,61 (p = 0,05)
NO ₂	0,16 (p = 0,65)	0,20 (p = 0,57)
NO ₃	-0,43 (p = 0,21)	-0,49 (p = 0,14)

Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные значения.

5. Кириллов В.В. Состав и структура водных экосистем бассейна реки Бурлы в 2010 году / В.В. Кириллов, Е.Ю. Зарубина, А.В. Котовщиков и др. // Наука — Алтайскому краю 2010 год. Сб. статей. Барнаул: Алтайский дом печати, 2010. Вып. 4. С. 239-252.
6. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
7. Gabriels W. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium) / W. Gabriels, K. Lock, N. DePauw et al. // *Limnologica*, doi:10.1016/j.limno.2009.10.001. 2009.
8. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М.: Госкомитет по стандартам, 1982. 12 с.
9. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
10. Баканов А.И. Использование комбинированных индексов для мониторинга пресноводных водоемов по зообентосу // *Водные ресурсы*. 1999. Т. 26, № 1. С. 108-111.
11. Андреев В.Л. Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
12. Безматерных Д.М. Состав и структура зообентоса разнотипных озер степной и лесостепной зоны Алтайского края и факторы его формирования. Ч. 1. Общие сведения / Д.М. Безматерных, О.Н. Жукова, Л.А. Долматова // *Мир науки, культуры и образования*. 2009. № 2 (14). С. 20-23.
13. Жукова О.Н. Состав и структура макрозообентоса Карасукской озерно-речной системы (Западная Сибирь) / О.Н. Жукова, Д.М. Безматерных // *Мир науки, культуры, образования*. 2010. № 2 (21). С. 85-90.
14. Семенченко В.П. Экологическое качество поверхностных вод / В.П. Семенченко, В.И. Разлуцкий. Минск: Беларус. навука, 2010. 329 с.
15. Пшеницына В.Н. Об эффективности шкалы Вудивисса при биоиндикации качества воды // *Гидробиол. журн.* 1986. Т. 24. № 4. С. 42-45.
16. Оксийок О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод / О.П. Оксийок, В.Н. Жукинский, П.Н. Брагинский и др. // *Гидробиол. журн.*, 1993. Т. 29. № 4. С. 62-77.
17. Хлебович В.В. Критическая соленость и хорогалитикум: современный анализ понятий // *Биология солоноватых и гипергалинных вод*. Л.: ЗИН АН СССР, 1989. С. 5—11.

O.N. Zhukova, D.M. Bezmaternykh

ZOOBENTHOS CONTENT AND COMPOSITION AS ECOLOGICAL STATUS INDICATORS FOR A LAKE SYSTEM OF THE BURLA RIVER

In 2010-2011 the zoobenthos content and composition were studied in 12 lakes of the Burla River system. The benthos fauna contains 76 species broken into 8 groups. The ecological status of the lakes was estimated on basis of zoobenthos content and composition studies. In majority of lakes the water was classified as moderately polluted.

Key words: zoobenthos, the Burla River, lakes, biological indicators, West Siberia