

Под устойчивостью, прежде всего, понимают потенциальный запас буферности почв [6]. Защитные возможности почв по отношению к микроэлементам, большинство из которых являются тяжелыми металлами, не беспредельны [7-8]. Чем выше эти свойства почвы, тем большее количество тяжелых металлов она способна переводить в малодоступные для корней растений и слабомигрирующее соединения [8]. Многими исследователями было указано, что миграция микроэлементов зависит от свойств почв, решающее значение среди которых имеют: реакция среды, гумусированность, гранулометрический состав, содержание Fe, Al (подвижных форм) и карбонаты.

На основании шкалы буферности почв, составленной В.Б. Ильиным [8], было рассчитано долевое участие каждого из

свойств гумусовых горизонтов почв долины Средней Катуни в формировании их буферной способности (табл. 2).

По градации В.Б. Ильина [8] горно-лесные черноземовидные почвы исследуемой территории характеризуется повышенной степенью буферности. В этом случае предельно допустимый уровень накопления тяжелых металлов находится в диапазоне от 10 до 13 фоновых содержаний. Высокой степенью буферности гумусовых горизонтов характеризуются черноземы обыкновенные, черноземы южные и темно-каштановые почвы с предельно допустимым гигиеническим уровнем содержания тяжелых металлов от 13 до 16 фоновых значений и выше.

Таблица 2

Долевое участие свойств гумусовых горизонтов почв долины Средней Катуни в формировании их буферной способности

Почвы долины Средней Катуни	Компоненты почвы, определяющие её буферность					Сумма баллов	Степень буферности
	гумус	физ. глина	pH <sub>v</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	карбонаты		
Горно-лесные черноземовидные	$9,9 \pm 1,6$	$19,7 \pm 3,0$	$7,5 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	$4,4 \pm 1,4$	40,5	повышенная
	8	5	12,5	2,5	12,5		
Черноземы обыкновенные	$4,9 \pm 0,4$	$21,5 \pm 2,1$	$8,1 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,1$	$15,7 \pm 2,0$	49,5	высокая
	5	10	15	4	15,5		
Черноземы южные	$4,1 \pm 0,4$	$15,5 \pm 1,2$	$8,0 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$	$10,9 \pm 1,7$	43	высокая
	5	5	15	2,5	15,5		
Темно-каштановые	$4,7 \pm 0,4$	$11,5 \pm 1,2$	$7,8 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,1$	$12,3 \pm 4,4$	43	высокая
	5	5	15	2,5	15,5		

Примечание: \* – валовое количество оксида железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); в числителе – среднее значение показателя ± ошибка средней арифметической; в знаменателе – количество баллов, полученных за счет долевого участия компонента почвы.

#### Выводы

1. Изученные почвы характеризуются слабощелочной и щелочной реакцией среды, высоким содержанием карбонатов, легким гранулометрическим составом.

2. Почвы долины Средней Катуни обладают высокой буферной способностью гумусовых горизонтов, исходя из этого, можем сказать, что исследованные типы и подтипы почв обладают высокой устойчивостью к загрязнению тяжелыми металлами.

#### Библиографический список

1. Мальгин, М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск, 1978.
2. Почвы Горно-Алтайской автономной области. – Новосибирск, 1973.
3. Агрохимические методы исследования почв. – М., 1975.
4. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М., 1970.
5. Отчет по теме: «Изучение водохозяйственного, гидрохимического и экологического состояния рек бассейна Верхней Оби». – Новосибирск; Барнаул; Томск, 1990. – Разд. 3.
6. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. – М., 1997.
7. Добровольский, Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М., 1990.
8. Ильин, В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск, 2001.

#### Bibliography

1. Maljgin, M.A. Biogeokhimiya mikroelementov v Gornom Altae. – Novosibirsk, 1978.
2. Pochvi Gorno-Altajskoj avtonomnoj oblasti. – Novosibirsk, 1973.
3. Agrokhimicheskie metodih issledovaniya pochv. – M., 1975.
4. Arinushkina, E.V. Rukovodstvo po khimicheskemu analizu pochv. – M., 1970.
5. Otchet po teme: «Izuchenie vodokhozyajstvennogo, gidrokhimicheskogo i ehkologicheskogo sostoyaniya rek bassejina Verkhney Obi». – Novosibirsk; Barnaul; Tomsk, 1990. – Razd. 3.
6. Glazovskaya, M.A. Metodologicheskie osnovih ocenki ehkologo-geokhimicheskoy ustoychivosti pochv k tekhnogennim vozdeystviyam. – M., 1997.
7. Dobrovolskiy, G.V. Funkcii pochv v biosfere i ehkosistemakh / G.V. Dobrovolskiy, E.D. Nikitin. – M., 1990.
8. Iljin, V.B. Mikroelementih i tyazhelih metallih v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoj oblasti / V.B. Iljin, A.I. Sihso. – Novosibirsk, 2001.

Статья поступила в редакцию 07.12.11

УДК 574.587

*Bezmaternykh D.M., Chernyshkova K.V., Zhukova O.N.* **COMPOSITION AND STRUCTURE OF ZOOBENTHOS OF LAKE CHANY.** Data on composition and structure of zoobenthos in Lake Chany in 2004 are given. The influence of the fundamental ecological factors on a biomass and quantity of a zoobenthos is considered. The zoogeographical and ecological analysis of the lake fauna is carried out. The species diversity is estimated, and the saprobity index is calculated. The data obtained are indicative of low eutrophication and mild biotic lake contamination.

**Key word:** benthos, benthic invertebrates, Chany Lake, environmental factors.

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ЗООБЕНТОСА ОЗЕРА ЧАНЫ

*Д.М. Безматерных, канд. биол. наук, доц., уч. секр. ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: bezmater@iwep.ru;*

*К.В. Чернышкова, магистрант АлтГУ, г. Барнаул;*

*О.Н. Жукова, аспирант ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, E-mail: jukova@iwep.ru*

Приводятся данные о составе и структуре зообентоса оз. Чаны в 2004 г. Рассмотрено влияние основных экологических факторов на биомассу и численность зообентоса. Выполнен зоогеографический и экологический анализ фауны. Оценено видовое разнообразие, рассчитан индекс сапробности. Полученные данные свидетельствуют о слабом антропогенном эвтрофировании и биотическом загрязнении озера.

**Ключевые слова:** бентос, донные беспозвоночные, Чаны, экологические факторы.

Чаны – крупнейший водоем Западной Сибири, расположенный в пределах Обь-Иртышского междуречья (Барабинская степь, Новосибирская область). Это бессточное солончатое озеро, морфологически естественно подразделяющееся на 5 плесов: оз. Малые Чаны, оз. Яркуль, Чиняихинский, Тагано-Казанцевский и Яркувский (рис. 1).

Для бассейна оз. Чаны характерен умеренный континентальный климат. Озеро Чаны имеет малую относительную глубину (от 1,4-1,9 в юго-восточной части озера до 4,8-8,5 м в оз. Яркуль) и пологие берега. В 2004 г. минерализация воды различных плесов озера колебалась от 0,63-0,72 г/л (оз. Малые Чаны) до 4,64-5,20 г/л (Яркувский плес). Питание преимущественно снеговое, а также за счет рек, прежде всего Каргата и Чулыма. Размах колебаний уровня воды около 3 м., ледовый покров устанавливается во 2-й половине октября – 1-й половине ноября, вскрывается в мае. Пульсации уровня отражаются на солёности воды озера и масштабах заморных явлений (до 46% площади озера). Поэтому весь биологический режим озера крайне непостоянен. Об этом свидетельствуют неустойчивые показатели развития водных сообществ.

Озеро имеет большое народно-хозяйственное значение. На него оказывается нагрузка сельского и рыбного хозяйства и связанных с ним отраслей [8]. В связи с этим происходят различные изменения в структуре и продуктивности сообществ.

Исследования выполнены в рамках комплексных лимнологических исследований проводимых ИВЭП СО РАН и является продолжением ранее проведенных работ.

### Материалы и методы

Материал собран и обработан по стандартным гидробиологическим методикам [11]. Качественные сборы его проводили сачком или скребком, количественные сборы – штанговым дночерпателем ГР 91-000 ТО. Пробы промывали через «капроновый газ» с размером ячеек 450x450 мкм, отмытую часть пробы с оставшимися организмами разбирали в кюветах и фиксировали 70% этанолом. Обработка проб проведена в камеральных условиях с использованием МБС-10, все организмы подсчитывали и взвешивали на торсионных весах ВТ-500. Минерализацию воды определяли в полевых условиях при помощи комплексного анализатора АНИОН-7051.

С 14 по 18 августа 2004 г. было отобрано 56 проб зообентоса, места отбора проб указаны на рис. 1.

### Результаты и их обсуждение

В 2004 г. в зообентосе озера Чаны в исследуемых пробах обнаружено 37 видов гидробионтов, относящихся к 6 классам. Наибольшее число видов приходится на класс насекомых, к отряду двукрылых – 25 видов. Из них наибольшим видовым богатством отличаются хирономиды – 19 видов, далее по видовому обилию следуют моллюски – 9 видов и личинки мокрецов – 6 видов. В остальных таксонах обнаружено по 1 виду (рис. 2).

Несмотря на то, что количественные показатели развития зообентоса изменяются в разные годы, доминанты в структуре донных сообществ остаются постоянными – отмечается массовое развитие хирономид, меняется лишь состав субдоминантов: моллюски, мокрецы или другие насекомые [3].

По видовому разнообразию на первом месте стоит Тагано-Казанцевский плес – 18 видов из 37, что составляет 49% от общего числа видов. Наименее разнообразным по видам является зообентос оз. Малые Чаны: всего 9 видов из 37, что составляет 24 % (рис. 2).

Структура зообентоса и уровень его развития характеризуется существенной дифференциацией по акватории озера, что, прежде всего, обусловлено значительным градиентом геоморфологических, гидрологических и гидрохимических факторов.

Проведенный сравнительный анализ структуры зообентоса различных участков оз. Чаны показал, что плесы озера можно разделить на две основных группы, в первую из которых входят оз. М. Чаны, Чиняихинский и Тагано-Казанцевский плесы, а вторую – оз. Яркуль и Яркувский плес. Причем первая группа отличается значительно большей общностью, особенно схожи по структуре зообентоса Чиняихинский и Тагано-Казанцевский плесы. Вторую, более разнородную группу образуют наиболее глубоководные плесы озера – оз. Яркуль и Яркувский плес.



Глубины (отметка уровня 106,9 м БС)

менее 2,5 м

от 2,5 до 3,5 м

от 3,5 до 6 м

более 6 м

Острова

Точки отбора проб и

типы донного грунта в них:

★ песок

◆ ил

▲ глина

Рис. 1. Карта-схема Чановской озерной системы

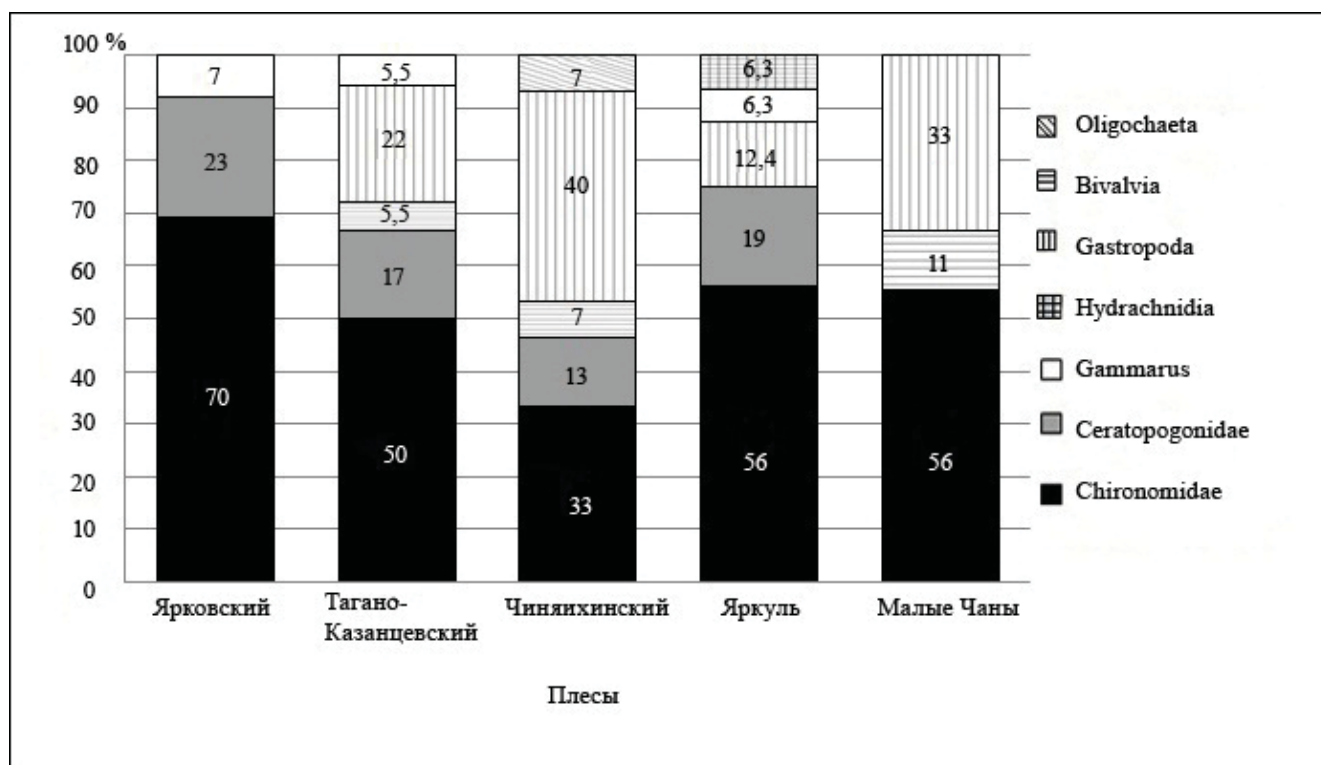


Рис. 2. Видовое разнообразие зообентоса оз. Чаны по различным плесам, %

Для расчета средневзвешенных по площади озера характеристик были использованы сведения ИВЭП СО РАН по распространению грунтов, т.к. данные, полученные по результатам пробоотбора в 2004 г. значительно отличались от результатов 1976-1977 гг., полученных Институтом озераведения АН СССР, по которым площадь, занимаемая глинами, была крайне незначительна [10]. По этим данным средняя доля илов по озеру составила 41%, песков – 38% и глин – 21%. С учетом этих значений средневзвешенная биомасса зообентоса по озеру составила 7,1 г/м<sup>2</sup>, а валовая биомасса 12894 т, что меньше чем в 2002-2003 г. [7], но близко средним показателям за 15 лет наблюдений – 6,2 г/м<sup>2</sup> и 13281 т.

Между численностью зообентоса и характером грунта прослеживается следующая зависимость. На илах отмечена максимальная численность донных беспозвоночных, абсолютный максимум зафиксирован на озере Яркуль и составляет 4929 экз./м<sup>2</sup>, что по сравнению с данными на песках больше в 3 раза (1643 экз./м<sup>2</sup>). Исключение составляет Тагано-Казанцевский плес, обнаружен максимум на песках – 2429 экз./м<sup>2</sup>. Таким образом, наиболее благоприятны для развития донных беспозвоночных илистые грунты, наименее – глинистые.

С величиной минерализации воды достоверно установлена только слабая положительная корреляция с численностью мокрецов, коэффициент корреляции составляет 0,28 (при уровень значимости  $p = 0,04$ ).

Анализ структуры зообентоса различных плесов, в общем, подтвердил ранее выявленную тенденцию к увеличению роли в донных сообществах гетеротопных видов (амфибиотических насекомых) и уменьшения гомотопных (моллюсков и ракообразных) при возрастании минерализации воды, что ранее было показано по изменению видового состава.

На участках озера с наименьшей минерализацией численность и биомасса мокрецов наименьшая (Чиняихинский плес 51 экз./м<sup>2</sup> и 0,1 г/м<sup>2</sup>), а на наиболее минерализованных участках происходит заметное увеличение показателей развития мокрецов (Яркоковский плес и оз. Яркуль численность 529 экз./м<sup>2</sup> и 810 экз./м<sup>2</sup>, биомасса 0,3 и 0,7 г/м<sup>2</sup>, соответственно). Исключение составляют численность и биомасса оз. Малые Чаны – 107 экз./м<sup>2</sup> и 1,5 г/м<sup>2</sup>.

Выявлено, что помимо состава грунтов и уровня минерализации воды, важнейшим фактором формирования донных сообществ в оз. Чаны является глубина [4]. Это согласуется с данными В.В. Конивец, который установил, что валовая биомасса мел-

ководий (<2 м) на порядок меньше таковой для глубоководных участков, причем их площади по озеру практически равны [10]. Сходное распределение зообентоса выявлено в эвтрофном оз. Эсром (Дания), где биомасса плавно повышается с глубиной от 0 до 8-9 м, а затем также понижается [12].

В 2004 г. выявлена достоверная положительная умеренная корреляция глубины с уровнем развития всего зообентоса и его основных таксонов, которую можно объяснить целым комплексом неблагоприятных факторов характерных для мелководий озера: нестабильность грунтов в результате волнового воздействия,

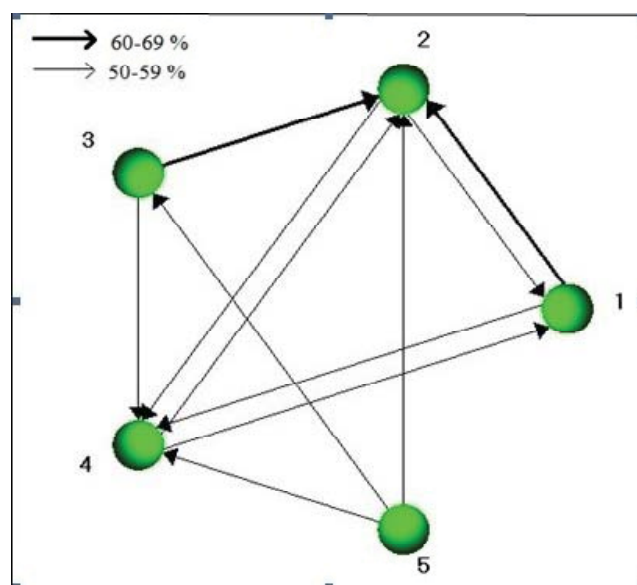


Рис. 3. Ориентированный мультиграф бинарных отношений на множестве мер включения описания зообентоса по наличию видов для плесов оз. Чаны: 1. Яркоковский плес, 2. Тагано-Казанцевский плес, 3. Чиняихинский плес, 4. оз. Яркуль, 5. оз. Малые Чаны



промерзание, заморы. Возможно, во многом именно этим, а не уровнем минерализации объясняется изменение уровня развития бентоса от наименее продуктивных плесов к наиболее продуктивным, поскольку оба параметра, в общем, возрастают в этом же направлении.

Для выявления воздействия важнейших экологических факторов был проведен расчет мер включения фаун донных беспозвоночных плесов оз. Чаны, который показал умеренную степень сходства (рис. 3). Наибольшее сходство видового состава беспозвоночных выявлено для Яркового и Тагано-Казанцевского плесов и Тагано-Казанцевского и Чиняихинского плесов. Это вероятно обусловлено близким географическим расположением и взаимным влиянием экосистем данных плесов, а также сходством их гидробиологических характеристик.

При данном уровне значимости (50-69%) связь отсутствует между оз. Малые Чаны с Ярковским плесом и Чиняихинским плесом. Данную ситуацию можно объяснить обособленностью озера Малые Чаны, а также его значительно отличающимися гидробиологическими характеристиками. Кроме того, на оз. Малые Чаны оказывается большая рыбохозяйственная нагрузка, в частности связанная с расселением серебряного карася амурской морфы, которое произошло в 90-е годы и последующей вспышкой его численности в конце XX в. С 1998-1999 гг. отмечалось резкое изменение кормовой базы в водоеме.

По данным Л.С. Визер и Д.И. Наумкина [5] до 1983 г. численность и биомасса зообентоса в оз. Малые Чаны была значительно выше, чем в Тагано-Казанцевском и Ярковском плесах, а после резко снизилась. Хотя показатели численности, биомассы и видового разнообразия для оз. Малые Чаны еще достаточно низки по сравнению с другими плесами, но в целом по озеру кормовая база уже восстановилась и достигла показателей 70-80-х годов (в 70-е годы численность зообентоса в среднем по озеру летом достигала 1310 экз./м<sup>2</sup> и биомасса 6,62 г/м<sup>2</sup>, в 2004 – 1756,8 экз./м<sup>2</sup> и 8,98 г/м<sup>2</sup>, соответственно).

Зоогеографический анализ зообентоса озера Чаны показал следующие результаты: по 30% от общего числа видов приходится на голарктические и транспалеарктические виды, к западнопалеарктическим относится 3%. Для 37% – географическое распространение не определено, т.к. их не удалось определить до вида или отсутствует информация по их распространению. Тем не менее, в соответствии с системами зоогеографического районирования гидрофауна оз. Чаны может быть отнесена к Европско-Сибирской подобласти Палеарктики.

При рассмотрении биотопической приуроченности зообентонтов оз. Чаны было выявлено, что в целом по озеру преобладают виды-пелофилы (49%), при этом в озере на илстые грунты приходится – 41%. Доля псаммофилов равна 35%, что соотносится с площадью песчаных грунтов – 32%.

Трофическая структура зообентоса учитывает способ питания и преобладающий состав потребляемой пищи, она может быть чувствительным индикатором антропогенного воздействия (особенно эвтрофикации) [2]. Наибольшее количество видов зообентоса оз. Чаны составляют зоофаги – 32%. Также, достаточно большое число видов животных характеризуются как всеядные и фитодетритофаги, их доля по 27%. На долю зоодетритофагов приходится 8%, а фитофагов и фильтраторов по 3% от общего числа видов. Низкая доля фильтраторов и значительная доля детритофагов свидетельствует о достаточно высокой степени эвтрофикации водоема [1].

Эти данные согласуются с оценкой трофического статуса оз. Чаны по уровню развития биомассы зообентоса. Так как озеро достаточно разнородное и имеет обособленные плесы, оценивалась трофность отдельных участков озера, для этого мы пользовались классификацией С.П. Китаева [6].

Из полученных данных видно, что сходные результаты получились для озера Малые Чаны, Тагано-Казанцевского и Чиняихинского плесов (средневзвешенная биомасса – 4,0, 3,7 и 3,7

Библиографический список

1. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб., 2000.
2. Безматерных, Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири (аналитич. обзор). – Новосибирск, 2007.
3. Безматерных, Д.М. Состав, структура и количественная характеристика зообентоса озера Чаны в 2001 году // Сибирский экологический журн. – 2005. – № 2.
4. Безматерных, Д.М. Современное состояние и многолетняя динамика зообентоса озера Чаны / Д.М. Безматерных, К.В. Чернышкова, К.В. Марусин // Проблемы региональной экологии, 2008. – № 6.
5. Визер, Л.С. Динамика кормовой базы озера Чаны / Л.С. Визер, Д.И. Наумкина // Сибирская зоологическая конференция: тез. докл. всерос. конф., посвящ. 60-летию ИСЭЖ СО РАН. – Новосибирск, 2004.
6. Китаев, С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // V съезд Всесоюзного гидробиологического общества. – Куйбышев, 1986. – Ч. 2.

г/м<sup>2</sup>, соответственно), эти объекты относятся к типам  $\alpha$ -мезотрофных водоемов, умеренного класса продуктивности. На оз. Яркуль этот показатель равен 17,6, что свидетельствует об  $\alpha$ -эвтрофном уровне биомассы и повышенном классе продуктивности. На Яркоковском плесе выявлено максимальное значение – средневзвешенная биомасса равна 22,3, этот плес относится к  $\beta$ -эвтрофным водоемам с высоким классом продуктивности.

В настоящий момент известно нескольких десятков методов биоиндикации с помощью зообентоса. Один из наиболее распространенных, а также входящий в систему гидробиологического мониторинга России – это индекс сапробности Р. Пантле и Х. Букка (в модификации В. Сладечека) [2].

На разных участках озера значение индекса сапробности колебалось в пределах от 1,80 до 3,80 баллов (третий, четвертый и пятый классы качества). Самое низкое значение индекса было отмечено для Чиняихинского плеса – 1,80, его воды принадлежали к  $\beta$ -мезосапробной зоне (третий класс качества, умеренно загрязненные). Воды Тагано-Казанцевского (2,60) и Яркоковского (3,00) плесов и оз. Яркуль (2,84) относились к  $\alpha$ -мезосапробным (четвертый класс качества, загрязненные). Если учитывать тот факт, что в озерах средней полосы естественная сапробность обычно близка к  $\beta$ -мезосапробному уровню [9], а антропогенная деятельность оказываемая непосредственно на озеро незначительна, то можно сделать вывод, что сапробность оз. Чаны мало отличается от фонового уровня (кроме оз. Малые Чаны, со значением 3,8 – полисапробная зона, пятый класс качества, тяжелая степень загрязнения).

Одним из хороших способов количественной оценки структуры сообществ является определение индексов таксономического разнообразия. Один из наиболее информативных и простых в применении – индекс видового разнообразия Маргалефа. Интерпретацию полученных расчетов индексов для биоиндикации проводят исходя из предположения, что с увеличением уровня загрязнения водоема видовое разнообразие, как правило, падает [2].

Максимальные значения индекса Р. Маргалефа принимает на Тагано-Казанцевском (3,04) и Чиняихинском (2,86) плесах, не много ниже значение на оз. Яркуль (2,67), а самое низкое видовое разнообразие наблюдается на Яркоковском плесе (1,95) и оз. Малые Чаны (2,05), что вероятнее всего определяется высокой степенью рыбохозяйственной нагрузки, а не высоким уровнем загрязнения.

## Выводы

Таким образом, уровень развития донных сообществ оз. Чаны отличается значительной неоднородностью, как во времени, так и пространстве, которая определяется существенными градиентами важнейших для зообентоса экологических факторов: особенностью грунтов, уровнем и минерализацией воды, глубиной. Наиболее благоприятны для развития донных беспозвоночных илстые грунты, наименее – глинистые. Количественные характеристики большинства групп зообентонтов увеличиваются при возрастании уровня воды и глубины. Повышение минерализации воды вызывает сдвиги в таксономической и экологической структуре сообществ, в частности, возрастает численность личинок мотыльков и доля гетеротопов в структуре бентоса. В целом, по озеру наблюдается тенденция к доминированию в зообентосе личинок хирономид, состав субдоминантов может значительно меняться. Структура зообентоса и уровень его развития в 2004 г., в общем, соответствовали средним многолетним значениям.

Полученные данные свидетельствуют о двух основных направлениях антропогенного воздействия на экосистему озера: 1) слабое эвтрофирующее воздействие, связанное с некоторой степенью антропогенного преобразования водосборной бассейна; 2) значительное воздействие на структуру сообщества, связанное с биотическим загрязнением (расселением серебряного карася) и рыболовством.

7. Мисейко, Г.Н. Зообентос озера Чаны: биоразнообразие, биопродуктивность, значение в биоиндикации (Западная Сибирь) // Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века: матер. междунар. конф. – Минск, 2004.
8. Общая природная характеристика и экологические проблемы Чановской и Кулундинской озерных систем и их бассейнов / О.Ф. Васильев, В.А. Казанцев, П.А. Попов, В.В. Кириллов // Сибирский экологический журн. – 2005. – № 2.
9. Практическая гидробиология. – М., 2006.
10. Пульсирующее озеро Чаны. – Л., 1982.
11. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб., 1992.
12. The lakes handbook. V. 1. Limnology and limnetic ecology / Ed. by P.E. OSullivan and C.S. Reynolds. – Blackwell Publishing, 2004.

## Bibliography

1. Alimov, A.F. Ehlementih teorii funkcionirovaniya vodnihkh ehkosistem. – SPb., 2000.
2. Bezmaternikh, D.M. Zoobentos kak indikator ehkologicheskogo sostoyaniya vodnihkh ehkosistem Zapadnoy Sibiri (analitich. obzor). – Novosibirsk, 2007.
3. Bezmaternikh, D.M. Sostav, struktura i kolichestvenna kharakteristika zoobentosa ozera Chanih v 2001 godu // Sibirskiy ehkolo-gicheskij zhurn. – 2005. – № 2.
4. Bezmaternikh, D.M. Sovremennoe sostoyanie i mnogoletnyaya dinamika zoobentosa ozera Chanih / D.M. Bezmaternikh, K.V. Chernishkova, K.V. Marusin // Problemih regional'noy ehkologii, 2008. – № 6.
5. Vizer, L.S. Dinamika kormovoy bazih ozera Chanih / L.S. Vizer, D.I. Naumkina // Sibirskaya zoologicheskaya konferenciya: tez. dokl. vseros. konf., posvyath. 60-letiyu ISiEhZh SO RAN. – Novosibirsk, 2004.
6. Kitaev, S.P. O sootnoshenii nekotorihkh troficheskikh urovney i «shkalakh trofnosti» ozer raznihkh prirodnihkh zon // V sjhezd Vsesoyuznogo gidrobiologicheskogo obhtestva. – Kuyjbihshev, 1986. – Ch. 2.
7. Misyeko, G.N. Zoobentos ozera Chanih: bioraznoobrazie, bioproduktivnostj, znachenie v bioindikacii (Zapadnaya Sibirj) // Strategiya razvitiya akvakul'turij v usloviyakh XXI veka: mater. mezhdunar. konf. – Minsk, 2004.
8. Obthaya prirodnaya kharakteristika i ehkologicheskie problemih Chanovskoj i Kulundinskoy ozernihkh sistem i ikh bassejnov / O.F. Vasiljev, V.A. Kazancev, P.A. Popov, V.V. Kirillov // Sibirskiy ehkologicheskij zhurn. – 2005. – № 2.
9. Prakticheskaya gidrubiologiya. – M., 2006.
10. Pul'siruyuthee ozero Chanih. – L., 1982.
11. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnihkh ehkosistem. – SPb., 1992.
12. The lakes handbook. V. 1. Limnology and limnetic ecology / Ed. by P.E. OSullivan and C.S. Reynolds. – Blackwell Publishing, 2004.

Статья поступила в редакцию 13.12.11

УДК 502.55

*Vragova E.V. Mathematical model of the behavior of oil spills in the waters of rivers and swampy areas.* In this paper we consider the behavior of oil spills in the water. Forecast for the oil spilled on the surface, known as the simulation trajectory. The equations of the model, representing a modification of the traditional system of equations of "shallow water", obtained by a perturbation in the small parameter of the original three-dimensional problem. The advantage of using the model is an environmental risk assessment and decision making during oil spill response organization.

*Key words: model, oil spill, parameterization, simulation trajectory.*

*E.V. Vragova, канд. тех. наук, научный сотрудник Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,  
E-mail: vragovae@rambler.ru*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА АКВАТОРИИ РЕК И БОЛОТНОЙ МЕСТНОСТИ

В статье рассматривается поведение нефтяных разливов в воде. Прогноз движения нефти, разлитой по поверхности воды, известен как моделирование траектории. Уравнения модели, представляющие модификацию традиционной системы уравнения «мелкой воды», получены методом возмущения по малому параметру из исходной трехмерной задачи. Преимуществом при использовании модели является оценка экологического риска и принятия решений при организации ликвидации разлива нефти.

*Ключевые слова: модель, нефтяной разлив, параметризация, моделирование траектории.*

Поведение нефтяных разливов в воде определяется как физико-химическими свойствами самой нефти, так и состоянием водной среды. Схематически процесс распространения нефти в воде можно представить следующим образом. На начальной стадии разлива происходит растекание нефти по водной поверхности, обусловленное ее положительной плавучестью. Скорость растекания может варьироваться в широких пределах и зависит, в основном, от физических свойств нефти при данных гидрометеорологических условиях. В зависимости от объема нефти, этот процесс может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов и даже дней в особо крупных разливах. Дальнейшее распространение нефти по поверхности обусловлено действием поверхностного натяжения и турбулентной диффузии или точнее турбулентным характером касательных напряжений на границах раздела нефть-вода и нефть-воздух. Деформация и перенос нефтяного пятна определяются совместным действием ветра и при наличии поверхностных течений в месте нахождения нефтяного пятна. С момента разлива начинается испарение летучих фракций нефти, при этом меняются физико-химические свойства растекающейся нефти (плотность, вязкость). Поскольку количество испарившейся нефти определяется типом нефти, площадью испарения и гидрометеорологическими условиями (ветер темпера-

тура), процессы растекания и испарения достаточно тесно связаны. При достаточно сильных ветрах и развитом волнении часть нефти естественно диспергируется в воду в виде капель. Дальнейшая судьба диспергированной нефти определяется, в основном, динамической структурой поля течений. Перенос эмульсии определяется практически теми же факторами, что и пленочной нефти. Внутренняя динамика эмульсии слабо изучена и обычно полагается несущественной [1].

Из приведенного схематического описания поведения нефти в воде видно, что оно определяется свойствами нефти и окружающей средой. Часть процессов выветривания нефти изучена достаточно хорошо и может быть промоделирована, часть процессов может быть описана на уровне простых параметризаций, основанных на экспериментальных данных, данные по ряду процессов практически отсутствуют.

Моделирование траектории нефтяного пятна: Прогноз движения нефти, разлитой по поверхности воды, известен как моделирование траектории. Нефть движется по поверхности воды в основном под воздействием движущих сил в виде преобладающих ветров и поверхностных течений.

Моделирование процессов трансформации нефти: при попадании нефти на водную поверхность ее характеристики начи-