

## О ФАКТОРАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РЕТРОСПЕКТИВНУЮ ДИНАМИКУ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ОЗЕРА БОЛЬШОЕ МИАССОВО (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2015 Н.А. Исакова<sup>1</sup>, П.Г. Аминов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ильменский государственный заповедник УрО РАН, Челябинская область

<sup>2</sup> Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская область

Статья поступила в редакцию 15.05.2015

В статье рассмотрены некоторые показатели трофического статуса озера – прозрачность водных масс и рассчитанный на ее значения трофический индекс Карлсона (TSI), прослежены многолетние изменения TSI. Установлена скорость седиментации (датировка по <sup>210</sup>Pb), проведен ретроспективный анализ трофического статуса по диатомовым комплексам и выявлены факторы, определяющие его динамическое состояние.

*Ключевые слова:* трофический статус, ретроспективная динамика, диатомовые комплексы, температурный режим, колебания уровня вод.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальным вопросом современной гидробиологии является изучение факторов, приводящих к росту трофического уровня водоемов, не подверженных антропогенному эвтрофированию [1, 4, 5]. Для этого необходим непрерывный ряд наблюдений за многолетней динамикой трофического статуса, включающий период доиндустриального развития региона. Обычно такая информация бывает труднодоступной либо отсутствует. Поэтому в настоящее время для палеорекострукций лимнологических условий широко применяется диатомовый анализ: большое внимание уделяется описанию температурного режима, величины рН, минерализации [14, 15, 25, 28 и др.]. Оценку изменения общего трофического статуса водоема проводят с помощью показателей сапробности диатомовых комплексов [6]. Для изучения процесса антропогенного эвтрофирования водоемов в индустриальный период предложен метод малых колонок [29].

В качестве модельного объекта нами выбрано оз. Большое Миассово, расположенное на территории Ильменского государственного заповедника, которое может служить эталоном естественной динамики эвтрофирования для озёр восточного склона Южного Урала, находящихся в условиях жесткого техногенного пресса. Выявление факторов, определяющих многолетнюю динамику его трофического статуса, стало целью настоящей работы.

Для достижения этой цели поставлена следующая задача: используя натурные и архивные

данные по прозрачности воды за последние 100 лет, а также результаты диатомового анализа, провести реконструкцию изменений трофического статуса оз. Б. Миассово.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оз. Большое Миассово – центральное звено Кисегач-Миассовской озерной системы восточных предгорий Ильменских гор. Длина озера составляет 8,0 км, ширина – 1,5 км, площадь водного зеркала – 11,4 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 25,0 м, средняя – 11,2 м. В озере насчитывается около 10 заливов [11].

Отбор колонки донных отложений проведен со льда (08.04.2012) в глубинной части озера [7]. Получена колонка мощностью 320 см (R581, WGS84 N 55° 09,214' E 060° 16,366'). Для анализа использованы верхние неконсолидированные слои (0–34 см), которые отбирали стратометром (диаметр 34 мм) с интервалом 2 см. Образцы укладывали в полиэтиленовые пакеты. Возраст верхних горизонтов колонки 0–18 см определен с помощью изотопного метода (<sup>210</sup>Pb) и составляет 83 года.

Для ретроспективного анализа трофического статуса оз. Б. Миассово использованы многочисленные архивные и натурные материалы по прозрачности воды и рассчитанный на их основе индекс Карлсона TSI ( $TSI = 10(6 - \log_2 SD)$ ) [2].

Диатомовый анализ донных отложений и подготовку проб к микроскопии проводили согласно стандартным методикам [8–10]. Створки диатомей заключали в среду Эляшева и идентифицировали при увеличении ×1000 (Nikon eclipse E600W) с учетом современных взглядов на систематическое положение таксонов родового и видового рангов [26, 27]. Количественный учет створок диатомовых водорослей проводили согласно методике [12]. Приуроченность диатомей

Исакова Наталья Александровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник. E-mail: isakova\_70@mail.ru  
Аминов Павел Гаязович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.  
E-mail: aminov@mail.ru

к типам водоемов того или иного трофического статуса дана по литературным источникам [3, 6]. Динамику изменения трофического статуса оценивали с помощью индекса A/C, предложенного Стокнером [29].

Для палеореконструкции температурного режима оз. Б. Миассово использована оригинальная шкала термоиндексов [17, 21], учитывающая индикаторные характеристики 33 видов современных диатомей: по термическим свойствам – криобионты, криофилы, термобиионты и термофилы; на основе индикаторного веса стено- и эвритермные виды.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Положение водоема в эволюционном ряду можно определить, оценивая уровень трофии. Эта оценка, как правило, носит интегральный характер и включает комплекс признаков взаимосвязанных между собой и дополняющих друг друга. Существует возможность определения трофического статуса по нескольким показателям или одному, наиболее информативному. Среди интегральных биологических показателей нередко используют показатели развития фитопланктона, например, величину биомассы, а среди абиотических показателей наиболее распространенным является прозрачность воды.

В современный период (1995-2010 гг.) биомасса фитопланктона составляет 4,69 г/м<sup>3</sup> и соответствует состоянию мезотрофии [19, 20, 23].

Ретроспективная динамика трофического статуса за 100-летний период (с 1912 г.) прослежена по изменению трофического индекса Карлсона TSI, рассчитанного на основе имеющихся архивных и натурных данных по прозрачности воды (рис. 1). За «потенциальный» уровень принят индекс TSI,

равный 33 и соответствующий олигомезотрофному типу водоема. Он определен, исходя из «потенциальной прозрачности» водоема 6,5 м, которую рассчитывали по уравнению регрессии [18]:

$$Pp = 0,73 \cdot P\tau^{-0,74},$$

где Pp – прозрачность потенциальная (м), Pτ – показатель эпителимниона.

Несмотря на фрагментарность сведений о прозрачности, из графика (рис. 1) видно, что трофический статус – это динамический показатель. Значения индекса TSI колеблются в пределах 35-45, что соответствует изменению статуса от олигомезотрофии до мезотрофии.

Периодичность колебаний, по всей вероятности, неслучайна и вызвана определенными факторами. Для того чтобы выявить эти закономерности и факторы, необходимо иметь непрерывный ряд наблюдений. Эти сведения может восполнить «диатомовый календарь».

Диатомовый анализ малой колонки донных отложений (рис. 2) показал, что в керне отчетливо прослеживается динамика экологической структуры диатомового комплекса. В керне наблюдается смена руководящих видов в танатоценозах планктонных диатомей: по направлению к верхним горизонтам можно выделить три экологические зоны (EZ): EZ<sub>1</sub> – интервал 26-34 см, EZ<sub>2</sub> – интервал 22-26 см и EZ<sub>3</sub> – интервал 0-22 см. Олиготрофный вид EZ<sub>1</sub> *Cyclotella distinguenda* var. *unipunctata* уступает позиции эвтрофному виду EZ<sub>3</sub> *Stephanodiscus hantzschii*. Несколько позднее наблюдается смена субдоминантов – постепенно снижается численность олиготрофного вида *Handmannia comta* и увеличивается численность эвтрофного вида *Fragilaria crotonensis*. Очевидно, что EZ<sub>2</sub> – переходная зона, в которой доминирование не выражено и танатоценозы характеризуются отсутствием руководящего комплекса.

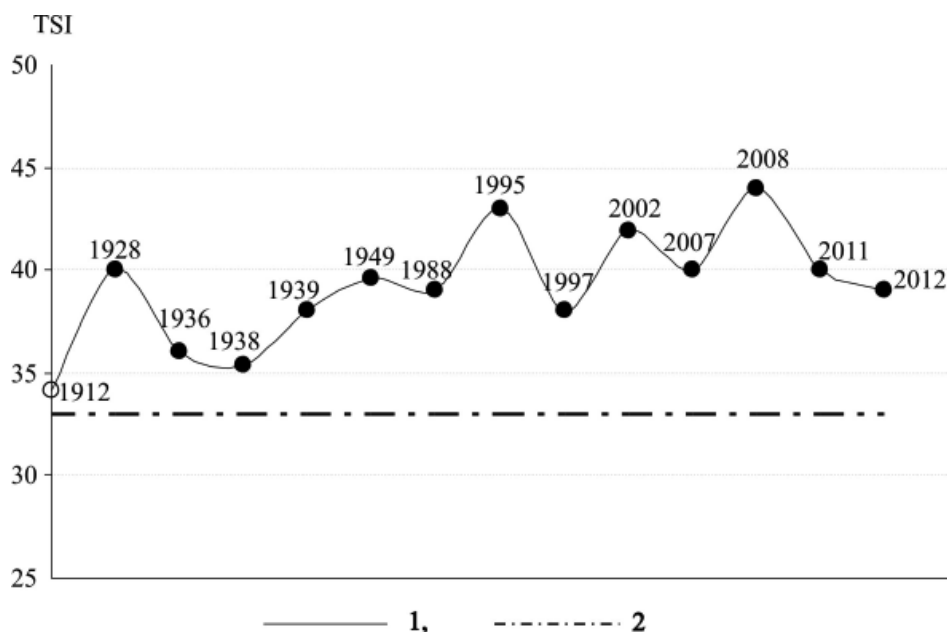
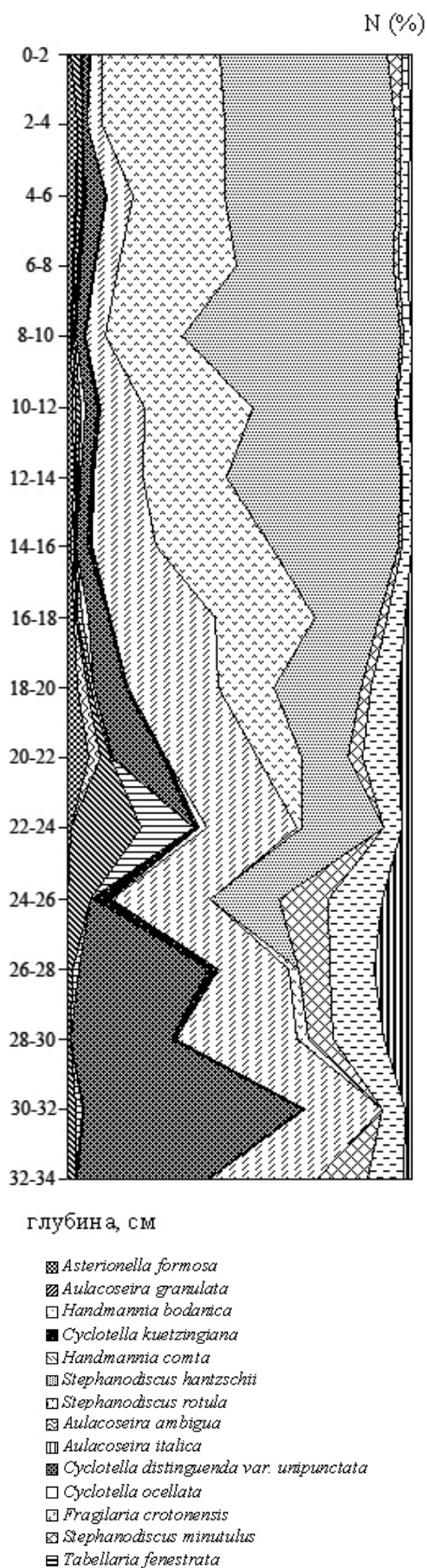


Рис. 1. Изменение трофического индекса TSI, 1912-2013 гг.  
1 – «ретроспективный» TSI, 2 – «потенциальный» TSI



**Рис. 2.** Соотношение численности створок (N,%) планктонных диатомей в танатоценозах оз. Б. Миассово по глубине

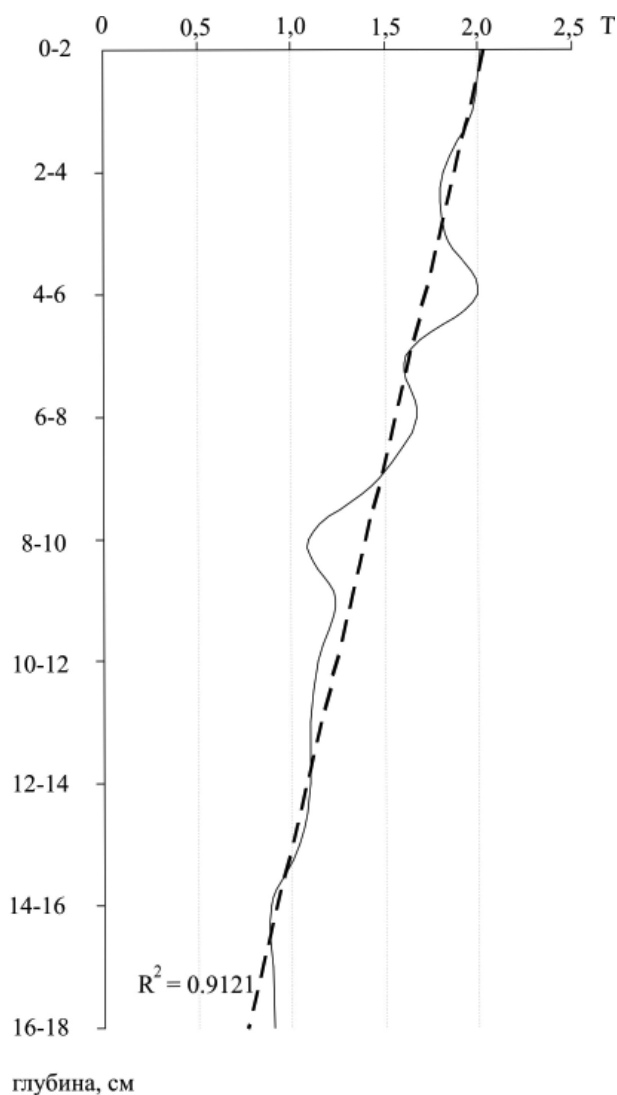
Значения термофильности диатомей [21], руководящих в EZ<sub>1</sub> (*C. distinguenda* var. *unipunctata* – термоиндекс 1,0, *H. comta* – 0,3) и EZ<sub>3</sub> (*S. hantzschii* – 2,6, *F. crotonensis* – 1,6), свидетельствуют также о смене популяций видов криофильной флоры на термофильную.

Исходя из этого, можно предположить, что повышение температуры воды служит субсидией [13], приводящей к росту продуктивности водных сообществ и соответственно к повышению трофического статуса водоема. Впервые, используя оригинальную шкалу термофильности [21] планктонных диатомей, мы провели палеореконструкцию температурного режима озера. Для горизонтов 1-17 (0-34 см) вычислен термоиндекс Т, показывающий термофильность сообществ планктонных диатомовых водорослей и позволяющий проследить динамику температуры воды. На рисунке 3 видно, как, начиная с 24-26 см к поверхности колонки, кривая термоиндекса заметно растет вверх, а его значения увеличиваются примерно в 2 раза, что свидетельствует об изменении теплового режима водоема с середины XIX в.

Архивные материалы и натурные данные по термическому режиму озер Южного Урала также подтверждают полученные результаты. За 35 лет (с 1974 г.) период открытой воды увеличился на 8-24 суток, независимо от их средней глубины и наличия стратификации за счет запаздывания ледостава на 11-20 суток. Среднегодовая температура водной толщи выросла на 0,6-4,2° С. С конца 1930-х гг. максимальная толщина эпилимниона увеличилась на 1-3 м, стратификация стала сменяться летней гомотермией. Максимальная температура границы мета- и гиполимниона выросла на 0,2-4,1°С. Установление осенней гомотермии за 10 последних лет сдвинулось на 2 недели на более поздние сроки [16]. Следовательно, повышение температуры воды приводит к росту продуктивности водных сообществ и соответственно повышению трофического статуса водоема за счет увеличения сроков вегетации.

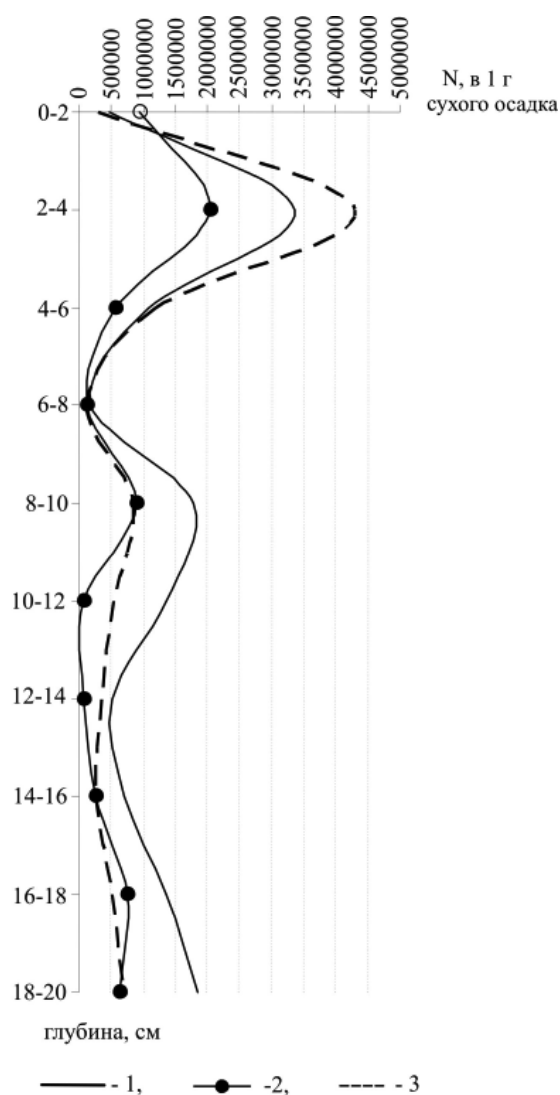
Для объективности оценки направленности биопродукционных процессов исследована статистическая зависимость численности отдельных представителей Bacillariophyta современного фитопланктона от прозрачности водных масс. Значимая обратная корреляция Спирмена установлена для трех термофильных видов, характерных для эвтрофных вод: *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. et Möll. (-0,78), *S. rotula* (Kütz.) Hendeу (-0,68) и *Asterionella formosa* Hass. (-0,61). Динамика численности этих видов носит волнообразный характер (рис. 4). Зафиксированы два пика численности этих видов – в интервалах 8-10 см (соответствует 1990 г.) и 2-4 см (2006 г.), что, по-видимому, связано с увеличением содержания биогенных веществ в данные периоды времени.

Однако по ответной реакции небольшого



**Рис. 3.** Изменение термоиндекса (Т) танатоценозов планктонных диатомей по глубине

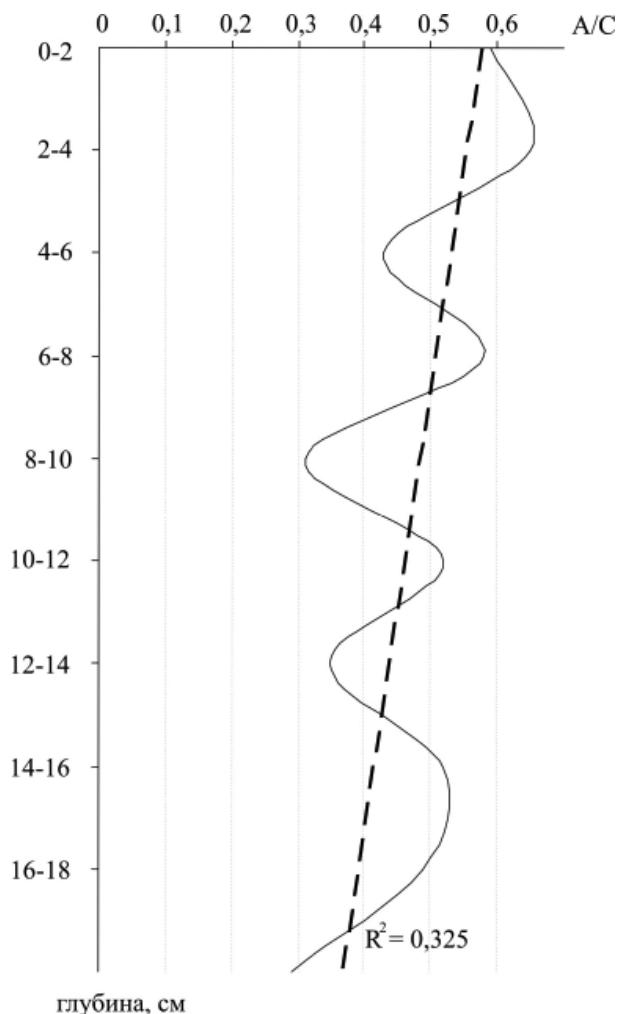
количества видов о характере внешнего воздействия на систему судить сложно, т.к. каждый вид (на уровне отдельных организмов и популяций) обладает индивидуальными механизмами защиты. В данном случае отдельные виды можно рассматривать в качестве индикаторов определенных изменений в экосистеме. Поэтому характер внешнего воздействия мы анализируем на более высоком уровне иерархии систем организации живого вещества – уровне сообществ диатомовых водорослей. Их ответную реакцию на увеличение содержания биогенных веществ хорошо демонстрирует индекс А/С, предложенный Стокнером [29] – соотношение общей численности створок бесшовных (А) и центральных (С) диатомей в танатоценозах (рис. 5). Увеличение индекса свидетельствует о возрастании количества поступающих в водоем питательных веществ и, следовательно, интенсивности биопродукционных процессов. Сравнение динамики индекса А/С и скорости седиментации (рис. 6) показало, что максимальным значениям индекса соответствует отрицательный общий седиментационный ба-



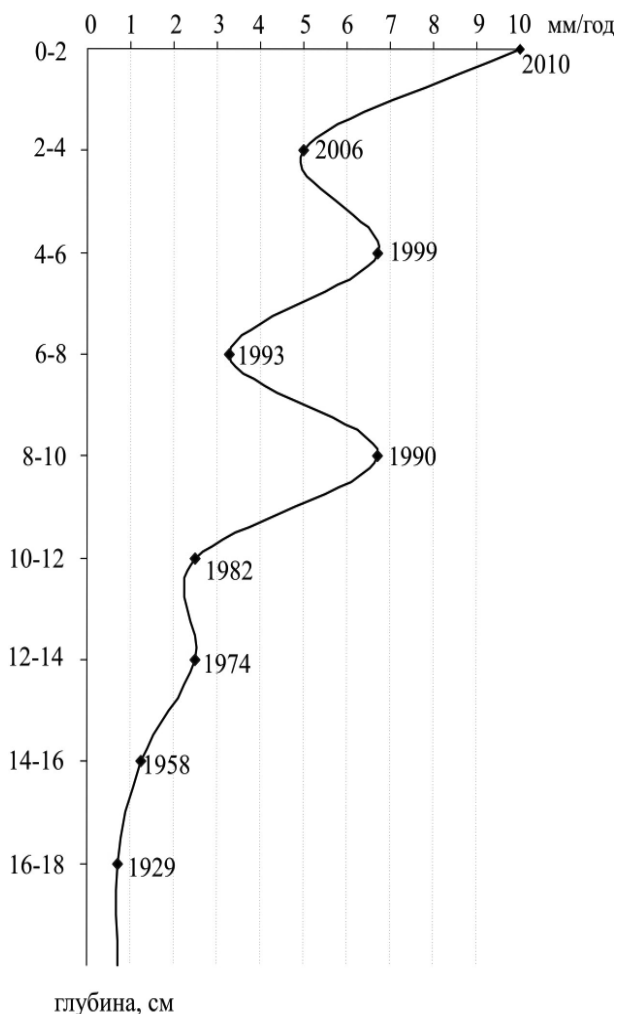
**Рис. 4.** Изменение численности (N) некоторых диатомовых водорослей в колонке донных отложений по глубине: 1 – *Stephanodiscus rotula*, 2 – *S. minutulus*, 3 – *Asterionella formosa*

ланс, а минимальным – положительный. Это объясняется тем, что при изменениях уровня воды и, соответственно, интенсивности поступления биогенов, массы веществ, внесенных в бассейн за каждый последующий годичный цикл, будут оседать в том же порядке и в той же последовательности, но отставая друг от друга на порцию, отвечающую году [22].

Таким образом, внешнее воздействие на экосистему оз. Б. Миассово – биогенная нагрузка, носит периодический характер. Исследуемый водоем расположен на охраняемой территории, где исключена хозяйственная деятельность и, следовательно, отсутствует антропогенное эвтрофирование. Поступление биогенных веществ через протоку из оз. Малое Миассово, площадь водосбора которого урбанизируется, маловероятно, т.к. оз. Б. Миассово расположено выше по течению. А если бы это было так, то кривая изменения индекса А/С характеризовалась бы пи-



**Рис. 5.** Изменение индекса А/С, оз. Б. Миассово по глубине



**Рис. 6.** Динамика скорости седиментации, оз. Б. Миассово

ками различной амплитуды, а при нарастающем воздействии имела бы сглажено-волнообразный или ступенчатый ритм [24]. Учитывая вышеизложенное, мы считаем, что поступление биогенных веществ носит природный характер и связано, по всей вероятности, с колебаниями увлажнения водосборной территории и уровня воды в озере.

### ВЫВОДЫ

Трофический статус оз. Б. Миассово динамичен. Трофический индекс TSI, рассчитанный за 100-летний период (1912-2013 гг.) по прозрачности воды, показывает его изменения в диапазоне от 35 до 45, что соответствует олигомезотрофному и мезотрофному уровням.

Ведущими факторами, определяющими динамику трофического уровня и положение водоема в олиготрофно-эвтрофной сукцессии, является климатическая составляющая, а именно температурный режим и увлажнение водосборной территории, влияющие на колебания уровня воды в озере.

В результате многолетнего изменения теплового режима водоема наблюдаются смена криофильного элемента флоры на термофильный и увеличение сроков вегетационного периода.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф., Голубков М.С. Эвтрофирование водоемов и структура сообщества гидробионтов // Биология внутренних вод. 2014. № 3. С. 5-11.
2. Андроникова И.Н. Классификация озер по уровню биологической продуктивности / Теоретические вопросы классификации озер. СПб.: Наука, 1993. С. 51-72.
3. Баранова С.М., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив. 2006. 498 с.
4. Бульон В.В. Имеет ли место естественное эвтрофирование озер // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 6. С. 759-764.
5. Вотинцев К.К. Угрожает ли эвтрофикация Байкалу // Известия Академии наук. Серия биологическая. 1992. № 4. с. 618-627.
6. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244с.
7. Дерягин В.В. Рекогносцировочные исследования донных отложений озера Большое Миассово // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: мат-лы II Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием, 22-25 мая 2012 г. Челябинск: «Край Ра», 2012. С. 87-92.

8. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). СПб.: Наука, 1974. Т. 1. 403 с.; 1988. Т.2. Вып. 1. 116 с.; 1992. Т. 2. Вып. 2. 125 с.
9. Диатомовый анализ [под ред. А.Н. Криштофовича.] М.-Л.: Государственное издательство геологической литературы, 1949. Кн. 2. 239 с.; 1950. Кн. 3. 399 с.
10. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1952. 619 с.
11. Ландшафтный фактор в формировании гидрологии озер Южного Урала. Л.: Наука, 1978. 284 с.
12. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер. (Серия: История озер СССР). Л.: Наука, 1986. 254 с.
13. Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т.1. М.: Мир, 1986. 328 с.
14. Разумовский Л.В. Оценка качества вод на основе анализа структуры диатомовых комплексов // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 6. С. 742-750.
15. Разумовский Л.В., Гололобова М.А. Реконструкция температурного режима и сопряженных гидрологических параметров по диатомовым комплексам из озера Глубокого // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 4. С. 490-504.
16. Rogozin A.G. О влиянии глобального потепления климата на термический режим и зоопланктонные сообщества озер Южного Урала // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: тез. Докл. IV Междун. науч. конф., 12-17 сент. 2011, Минск – Нарочь / Белорусский гос. университет; сост. и общ. ред. Т.М. Михеевой. Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. С. 41.
17. Rogozin A.G., Snit'ko L.V., Timoshkin O.A. Термоиндикаторные свойства видов зоопланктона и их измерение // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 1, С. 85-91.
18. Романов В.П. Применение морфометрических показателей в целях определения природного потенциала водоемов и прогнозирование их состояния // Антропогенные изменения экосистем малых озер (причины, последствия, возможность управления). Книга 1. Мат.-лы всесоюз. совещания, Ленинград, 27-29 марта 1990 г. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 118-121.
19. Snit'ko L.V. Экология и сукцессии фитопланктона озер Южного Урала. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2009. 376 с.
20. Snit'ko L.V., Snit'ko V.P. Индикаторная роль фитопланктона в оценке многолетних изменений качества вод озер Большое Миассово и Тургояк (Южный Урал) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 216-224.
21. Snit'ko L.V., Rogozin A.G., Timoshkin O.A. Термоиндикаторные свойства видов фитопланктона (на примере водоемов Южного Урала) // Биология внутренних вод. 2015. № 2. С. 50-59.
22. Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М., Разживина А.Н., Ратеев М.А., Сапожников Д.Г., Шишова Е.С. Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 791 с.
23. Экология озера Большое Миассово [под ред. А.Г. Рогозина, В.А. Ткачева]. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2000. 318 с.
24. Экосистемы в критических состояниях. М.: Наука, 1989. 155 с.
25. Birks H.J.B., Line J.M., Juggins S., Stevenson A.C., Ter Braak C.J.F. Diatoms and pH reconstruction // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1990. B. 327. P. 263-278.
26. Khursevich G.K. A preliminary worldwide inventory of the extinct freshwater fossil diatoms from the orders Thalassiosirales, Stephanodiscales, Paraliales, Aulacoseirales, Melosirales, Coscinodiscales and Biddulphiales / Khursevich G.K., Kocielek J.P. // nova Hedwigia. 2012. B. 141. P. 315-364.
27. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2. Stuttgart; New York: Fischer, 1986. 876 s; 2 Teil. 1988. 596 s; 3 Teil. 1991a. 576 s; 4 Teil. 1991b. 436 s.
28. Renberg I., Hellberg T. The pH history of Lakes in Southwestern Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments // Ambio. 1982. V. 11, № 1. P. 30-33.
29. Stockner J.G., Benson W.W. The succession of diatom assemblages in the recent sediments of Lake Washington // Limnol. a. Oceanogr. 1967. Vol. 12. P. 513-532.

## THE FACTORS DETERMINING RETROSPECTIVELY DYNAMICS OF TROPHIC STATUS OF THE LAKE BOLSHOE MIASSOVO (SOUTH URALS)

© 2015 N.A. Isakova<sup>1</sup>, P.G. Aminov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ilmeny State Reserve, Chelyabinsk Region

<sup>2</sup> Institute of Mineralogy, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Miass, Chelyabinsk Region

The article discusses some of the indicators of the trophic status – the transparency of the water masses and Carlson's Trophic State Index (TSI). Long-term changes of TSI are traced. A sedimentation rate (dating to <sup>210</sup>Pb) is determined, a retrospective analysis of the trophic status based on diatom assemblages is performed. The factors determine its dynamic are established.

**Keywords:** trophic status, retrospective dynamics, diatom assemblages, temperature, water level fluctuations.

*Natalia Isakova, Candidate of Biology, Research Fellow.*

*E-mail: isakova\_70@mail.ru*

*Pavel Aminov, Candidate of Geology, Senior Research Fellow.*

*E-mail: aminov@mail.ru*