

УДК 576.2: 282.232/275

Ф. Б. Шкундина, д-р биол. наук, проф., **Г. А. Гуламанова**, ассист.Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Башкирский государственный университет,
Россия, 450074, Уфа, ул. Фрунзе, 32

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

На протяжении последних 30 лет изучен фитопланктон разнотипных озер Республики Башкортостан (РБ). На основании проведенных исследований сделан вывод о нарастании степени антропогенного эвтрофирования.

Ключевые слова: эвтрофирование, водоросли, численность и биомасса фитопланктона, пойменные, карстовые и тектонические озера, Республика Башкортостан.

Эвтрофирование — это увеличение уровня биологической продуктивности, связанное в первую очередь с накоплением в озерах питательных веществ. Это ускоряет естественный ход процесса обмеления и зарастания озер в десятки и сотни раз. Причиной эвтрофирования является антропогенное воздействие, как на само озеро, так и на его водосбор [1, 2, 3].

Антропогенное эвтрофирование является одной из глобальных экологических проблем. Согласно выводам Международной программы по глобальной оценке водных ресурсов (UNEP-GIWA), эвтрофирование рек, озер и водохранилищ рассматривается как острая проблема для половины водных ресурсов земного шара.

В результате антропогенного эвтрофирования повышается скорость новообразования органического вещества, продукция преобладает над деструкцией, и биомасса экосистемы возрастает. В воде появляются токсические соединения (продукты жизнедеятельности водорослей и сопутствующих им бактерий) и большое количество органических веществ. Вода приобретает неприятный запах. Возникает дефицит растворенного кислорода.

Усиление темпов эвтрофирования озер РБ за последние 50 лет тесно связано с интенсификацией сельского хозяйства, а также с развитием рекреационного использования, в первую очередь, на территориях национальных и природных парков.

Цель работы: изучить многолетнюю динамику фитопланктона разнотипных озер РБ. По результатам, полученным в ходе исследования, определить степень антропогенного эвтрофирования.

Материалы и методы исследования

Методика сбора и обработки материала соответствовала общепринятым подходам в изучении водорослей [4].

Пробы фитопланктона отбирались систематически в летний период с 1979 по 2007 гг. батометром Рутнера. Пробы объемом 0,5 л фиксировали 40% раствором формалина и концентрировали общепринятым осадочным способом с последующим отцеживанием до 50 мл [5, 6]. Количественные пробы просчитывали

в камере Нажотта объемом 0,01 см³ с использованием светового микроскопа (Микмед-1).

При исследовании количественных проб фитопланктона пересчет численности организмов на 1 л воды производили по формуле:

$$N = K \cdot \frac{n \cdot A \cdot v \cdot 1000}{a \cdot V},$$

где N – количество организмов в литре воды исследуемого водоема; K – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 см³; n – количество организмов, обнаруженных на просмотренных дорожках (квadrатах); A – количество дорожек (квadrатов) в счетной камере; a – количество дорожек, на которых производился подсчет водорослей; v – первоначальный объем отобранной пробы (см³); V – объем концентрата пробы (см³).

Биомассу фитопланктона определяли расчетно-объемным методом. Наиболее точным считается стереометрический метод [5].

Для определения степени органического загрязнения использовали систему определения сапробности, предложенную Р. Кольквитцем и М. Марссоном, в последующей модификации Сладечека [4, 7]. Виды-индикаторы в этой системе разделены на 4 основные группы в соответствии с величиной их индивидуального индекса сапробности (s) от ксеносапробов ($s = 0-0,5$), обитатели чистых вод, до полисапробов ($s = 3,5-4,0$), предпочитающих воды, богатые органикой. Индекс сапробности рассчитывали по формуле:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h},$$

где S – индекс сапробности сообщества водорослей; s – индикаторная значимость вида; h – относительная встречаемость. Частоту встречаемости вида-индикатора определяли по 9-балльной шкале [8].

Для определения трофического статуса озер использовали показатели прозрачности воды. Прозрачность определяли полевым методом с использованием диска Секки (международный стандарт ИСО 7027) [9], расчет производили по формуле:

$$TSI = 60 - 14,41 \cdot \ln Secchi (m),$$

где $Secchi$ – прозрачность воды по диску Секки [10].

По происхождению озера РБ делятся на три группы: тектонические озера (озеро Яктыкуль); карстовые водоемы (озера Асликуль и Кандрыкуль); пойменные озера (озера Шамсутдин, Кулеш, Ширень, Исяккуль, Узить, Татыш, Упканькуль).

По степени минерализации вод они разделяются на олигогалинные (слабозасоленные Кандрыкуль, Асликуль) и пресноводные. Грунты в этих озерах преобразовались в сапропель, который может использоваться или уже используется в лечебных целях.

Для оценки степени эвтрофирования озер РБ в течение последних 30 лет авторами был изучен фитопланктон [11, 12, 13].

Результаты и их обсуждение

Карстовые и тектонические озера национальных парков и памятников природы. Все эти водоемы имеют большое природоохранное значение, уникальный растительный и животный мир. Фитопланктон этих озер образован, в основном,

диатомовыми, зелеными, динофитовыми водорослями и цианопрокариотами. Зимой наблюдается минимум биомассы и разнообразия фитопланктона. Весной начинается массовое размножение диатомовых, затем на смену им приходят зеленые и цианопрокариоты, а в Кандрыкуле в конце лета — динофитовые. Осенью наблюдается вторая вспышка в размножении диатомовых. Фитобентос (придонные сообщества) в озерах обычно хорошо развит. Часто в нем отмечаются харовые водоросли.

Самое крупное озеро в республике — озеро Асликуль. Национальный парк «Асликуль» образован в 1993 г., площадь 47,5 тыс. га, охранной зоны не имеет, создан с целью сохранения уникальной флоры и фауны озера.

Озеро Асликуль образовалось на месте гигантского карстового провала. Наибольшая длина озера — 8 км, ширина — 5 км, глубина не превышает 5–6 м, только в немногих местах достигает 7 м, площадь — 18 км². В фитопланктоне озера по численности доминируют зеленые, а по биомассе — диатомовые водоросли. Биомасса фитопланктона изменялась в период с 1985 по 1995 год от 6,6 до 21,08 г/м³, а численность от 3396 до 8926 тыс. кл/л. В 2004 г. средняя численность летом составила 10572 тыс. кл/л. Эти показатели характеризуют значительную степень эвтрофирования оз. Асликуль. Доминировали *Asterionella* Hass., *Cyclotella* Kütz., *Amphora* Ehr. из диатомовых водорослей, из цианопрокариот — роды *Merismopedia* (Meyen) Elenk. и *Oscillatoria* (Vauch. ex Gom.).

Природный парк «Кандрыкуль» образован в 1995 г. на базе акватории одноименного озера и прилегающей к нему водосборной площади, включая сельскохозяйственные земли и земли государственного лесного фонда. Озеро бессточное, пополнение воды происходит за счет атмосферных осадков, грунтовых вод, многочисленных родников. На дне обнаружены лечебные грязи. Преобладающие грунты в озере — заиленные пески с галькой. Вода немного солоноватая. Около 15% площади водоема покрыто подводной растительностью.

В прибрежно-водной растительности широко представлены харовые водоросли. В фитопланктоне цианопрокариоты доминируют по численности на протяжении всего вегетационного периода. По биомассе господствуют динофитовые, хотя иногда могут преобладать диатомовые водоросли и цианопрокариоты. Биомасса фитопланктона изменялась от 6,2 до 175,8 мкг/см², что значительно ниже, чем в озере Асликуль. Доминирующими родами были в 1979–1981 гг.: *Ceratium* Schrank, *Asterionella* Hass., *Melosira* Ag., *Dinobryon* Ehr., *Microcystis* (Kütz.) ex Lemm., *Scenedesmus* Meyen и др.; 1985–1986 гг. — *Cyclotella* Kütz., *Ceratium* Schrank, *Asterionella* Hass. и представители золотистых водорослей и цианопрокариот. В 2003–2004 гг. появилось пятно «цветения» водорослей. На отдельных створах интенсивно развивались эвгленовые водоросли; динофитовые и золотистые обнаруживались единично. Из цианопрокариот интенсивно вегетировали представители родов *Merismopedia* (Meyen) Elenk. и *Gloeocapsa* (Kütz.) Hollerb. Другим закономерным признаком антропогенных нарушений является уменьшение количества харовых водорослей в этом типично «харовом» водоеме.

Озеро Яктыкуль характеризуется наиболее низкими значениями количественных показателей фитопланктона среди обследованных озер. Здесь численность фитопланктона варьировала от 684 тыс. кл/л до 816 тыс. кл/л, а биомасса — от 1,10 г/м³ до 1,39 г/м³. Наиболее четко выражено преобладание диатомовых водорослей.

Особенности пойменных озер. Нами были обследованы и пойменные озера реки Белой — Шамсутдин, Кулеш, Ширень, Исяккуль, Узить, Татыш [12, 13],

расположенные в северо-западной части Башкортостана. Озера Шамсутдин, Кулеш, Татыш, Ширень — на левобережье, а озера Узить, Исяккуль — на правобережье р. Белой. Они — старицы, образовались на месте покинутого рекой русла. Такие озера в первую очередь подвергаются антропогенному эвтрофированию. Доминирование по числу видов представителей отдела *Chlorophyta* отличает вышперечисленные пойменные озера от карстовых озер Кандрыкуль и Асликуль, где диатомовые и зеленые были представлены в одинаковом количестве. По численности доминирующий комплекс был представлен: в оз. Шамсутдин — *Microcystis pulverea* (Wood) Fotri emend. Elenk., *Anadaena spiroides* Kleb, *Scenedesmus quadricauda* Breb.; в оз. Кулеш — *Microcystis pulverea*, *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Bumilleria clebsiana* Pasch.; в оз. Ширень — *Microcystis pulverea*, *Fragilaria intermedia* Grun., *Fragilaria magosyi* Lacsny; в оз. Исяккуль — *Microcystis pulverea*, *Fragilaria intermedia*, *Gloeocapsa minor* (Kütz.) Hollerb. var. *minor*; в оз. Узить — *Microcystis pulverea*, *Melosira granulata* Ag., *Oscillatoria chalybea* (Mert.) Gom.

В озере Татыш преобладали зеленые водоросли и цианопрокариоты, по биомассе — зеленые и диатомовые водоросли. В разные годы (2005–2007) численность фитопланктона варьировала от 7452 тыс. кл/л до 9216 тыс. кл/л, биомасса — от 10,44 г/м³ до 16,19 г/м³.

К пойменным озерам относится и озеро Упканькуль (Упкан). Озеро не очень глубокое (не более 5 м), наиболее мелководно в северной и южной части (1–2 м), где растет редкое реликтовое растение — водяной орех. В связи с этим озеро Упканькуль объявлено памятником природы. Обитают эти растения в прибрежной зоне водоема, здесь же много плавающих листьев кубышки желтой, кувшинки белой, гречихи земноводной.

В фитопланктоне озера Упканькуль преобладали *Melosira* Ag. и *Ankistrodesmus* Corda. Численность фитопланктона изменялась от 3960 до 4896 тыс. кл/л, а биомасса — от 1,54 до 1,49 г/м³. Озеро Упканькуль может быть отнесено к мезотрофному типу.

Средние за вегетационный период показатели численности и биомассы пойменных озер в сравнении с карстовым озером Кандрыкуль представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели значений численности и биомассы фитопланктона за вегетационный период в 90-е годы

Озера	Средняя численность (тыс. кл/л)	Средняя биомасса (г/м ³)
Шамсутдин	6417	4,30
Кулеш	7702	2,04
Ширень	4109	2,32
Исяккуль	6601	3,60
Узить	10031	3,90
Кандрыкуль	84050	6,88

Для определения трофического статуса этих озер мы использовали индексы, основанные на предположении, что определенные систематические группы фитопланктона показывают различные уровни обогащения биогенными элементами. Индексы трофности были наименьшими в озере Исяккуль, которое расположено в лесу и редко посещается рыбаками. Наиболее эвтрофированным было озеро Кандрыкуль. При использовании фитопланктона как показателя пойменные озера образовывали следующий ряд в порядке возрастания степе-

ни антропогенного эвтрофирования: Исяккуль – Кулеш – Шамсутдин и Ширень – Узить.

И по родам и по видам высокий уровень органического загрязнения отмечался в Кандрыкуле. В Исяккуле состав фитопланктона показал низкие уровни органического загрязнения, т. к. оно расположено в лесной зоне и в меньшей степени используется в рекреационных целях.

Степень антропогенного воздействия на экосистемы озер определяли по водорослям – индикаторам сапробности (табл. 2).

Таблица 2

Среднее арифметическое индекса сапробности
в обследованных озерах в 90-е годы

Шамсутдин - 1,29	Узить - 1,85
Ширень - 1,70	Исяккуль - 1,89
Кулеш - 1,80	Кандрыкуль - 1,55

Последние исследования фитопланктона озер РБ проводились в июле–августе 2005–2007 гг. в 5 различных по происхождению водоемах (пойменных – оз. Татыш, Шамсутдин, карстовых – Кандрыкуль, Асликуль, тектоническом – Яктыкуль). Так, в пробах большинства серий по численности доминировали *Chlorella vulgaris* Beijer, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *Ceratium hirundinella* (O. F. Müll.) Bergh. Следует отметить, что количественные показатели фитопланктона менялись в широких пределах. Так, наибольшими показателями характеризовался фитопланктон пойменного оз. Татыш, а наименьшими – тектонического оз. Яктыкуль. Был рассчитан трофический индекс Карлсона по прозрачности воды. В целом, по индексу TSI трофность исследованных озер уменьшалась в ряду Татыш (пойменное, эвтрофное – 58,3) → Шамсутдин (пойменное, эвтрофное – 54,4) → Яктыкуль (тектоническое, в прибрежной части мезотрофное – 45,9, в глубоководной части – олиготрофное – 29,6) → Кандрыкуль (мезотрофное – 44,5) → Асликуль (олиготрофное – 36,9). Значения количественных показателей свидетельствуют и о разной степени трофии исследованных озер. Так, трофический статус озер повышается в ряду Яктыкуль → Асликуль → Кандрыкуль → Шамсутдин → Татыш. При этом слабоэвтрофные – эвтрофные условия с преобладанием цианобактериально-хлорококкового комплекса и представителей диатомовых водорослей характерны для пойменных озер Шамсутдин и Татыш. В то же время карстовые озера Асликуль и Кандрыкуль и тектоническое озеро Яктыкуль тяготеют к мезо-олиготрофии с преобладанием в составе фитопланктона диатомовых и зеленых водорослей, а также немногих представителей из отделов цианопрокариот и динофитовых.

Следует отметить, что количественные показатели фитопланктона менялись в широких пределах. Так, наибольшими показателями характеризовался фитопланктон пойменного оз. Татыш, а наименьшими – тектонического оз. Яктыкуль. Нами был проведен корреляционный анализ биомассы фитопланктона (как биологического показателя степени эвтрофирования) с прозрачностью воды (как физического показателя). Результаты расчета показали слабую отрицательную корреляцию биомассы фитопланктона с прозрачностью воды ($r = -0,32$).

Согласно шкале трофности Р. Волленвайдера исследованные озера расположились по убыванию: Татыш (пойменное, высокоэвтрофное – 13,36 г/м³)

→ Шамсутдин (пойменное, эвтрофное – 8,78 г/м³) → Кандрыкуль (карстовое, мезотрофное – 2,75 г/м³) → Асликуль (карстовое, мезотрофное – 1,75 г/м³) → Яктыкуль (тектоническое, мезотрофное – 1,24 г/м³).

Была использована также шкала эколого-санитарного состояния исследованных озер. Согласно классификации качества поверхностных вод с экологических позиций в странах Евросоюза и СНГ [7], по показателям биомассы фитопланктона оз. Татыш соответствует классу загрязненных, разряду сильно загрязненных вод, оз. Шамсутдин – классу загрязненных, разряду умеренно загрязненных вод, оз. Кандрыкуль – классу вод умеренной чистоты, разряду слабо загрязненных, оз. Асликуль и Яктыкуль – классу умеренной чистоты, разряду достаточно чистых вод.

Выводы

1) Проведенные нами исследования показали усиление антропогенного эвтрофирования пойменных озер РБ вследствие усилившегося рекреационного использования. Видовой состав с преобладанием цианопрокариотно-хлорококкового комплекса и количественные показатели развития фитопланктона позволяют отнести эти озера к водоемам мезо-эвтрофного типа.

2) Для карстовых и тектонических озер, расположенных на особо охраняемых природных территориях, характерно снижение степени эвтрофирования до мезо-олиготрофного типа. В составе фитопланктона этих озер преобладают представители отделов *Bacillariophyta* и *Chlorophyta*, а также немногие виды синезеленых (*Cyanoprokaryota*) и динофитовых (*Dinophyta*) водорослей.

Литература

1. Экология зарастающего озера и проблема его восстановления. – С.Пб.: Наука, 1999. – 222 с.
2. Водные объекты в условиях техногенеза: методология мониторинга и критерии допустимой нагрузки / В. Г. Драбкова, М. Я. Прыткова, С. А. Кондратьев, Т. П. Гронская, Л. В. Ефремова, Н. В. Игнатьева, И. Н. Сорокин, Г. А. Алябина. – С.Пб.: Изд. НИИХ СПбГУ, 1988. – 68 с.
3. Churski Z. Eutrophication and disappearance of lakes in the Brodnica Lake District, Northern Poland, as a result of human interference // *Hydrobiologia*. – 1998. – Vol. 103. – P. 165–168.
4. Вассер С. П., Кондратьев Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли. Справочник – К.: Наукова думка, 1989. – 608 с.
5. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. – Л.: Наука, Ленингр. отделение, 1980. – 440 с.
6. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 168 с.
7. Баринаева С. С., Анисимова О. В., Медведева П. А. Водоросли – индикаторы в оценке качества окружающей среды. – М.: ВНИИПрироды, 2000. – 150 с.
8. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – С.Пб.: ГМИ, 1992. – 318 с.
9. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами / Под ред. А. Г. Муравьева. – С.Пб.: Крисмас; Санкт-Петербург, 2004. – С. 48–52.
10. Carlson R. E. More complications in the chlorophyll-Secchi disk relationship. *Limnology and Oceanography*. 1980. – P. 378–382.
11. Шкундина Ф. Б. Оценка степени эвтрофирования озера Кандры-Куль на основе флористического состава фитопланктона // *Гидробиологический журнал*. – 1985. – Т. 21, №2. – С. 91–95.
12. Шкундина Ф. Б., Денисова Н. В. Фитопланктон как показатель антропогенного эвтрофирования пойменных озер реки Белой // *Вестник Башк. Ун-та*. – 2002. – №2. – С. 62–66.

13. Шкундина Ф. Б., Денисова Н. В. Изменение трофической структуры озер Башкортостана под влиянием различных форм урбанизации // Проблемы региональной экологии. – 2002. – № 5. – С. 7–11.

Ф. Б. Шкундина, Г. А. Гуламанова

ГОУ ВПО Башкирский государственный университет,
Россия, 450074, Уфа, вул. Фрунзе, 32

ОСНОВНИ ТЕНДЕНЦІ АНТРОПОГЕННОГО ЕВТРОФІКУВАННЯ ОЗЕР РЕСПУБЛІКИ БАШКОРТОСТАН

Резюме

На протязі останніх 30 років досліджували фітопланктон різнотипових озер Республіки Башкортостан. На основі проведених досліджень зроблено висновок про наростання ступеня антропогенної евтрофікації.

Ключові слова: евтрофікування, водорості, численність і біомаса фітопланктону, пойменні, карстові і тектонічні озера, Республіка Башкортостан.

F. B. Shkundina, G. A. Gulamanova

Bashkir State University,
450074, Ufa, Russia, Frunze Str, 32

THE BASIC TENDENCIES OF HUMAN EUTROPHICATION OF THE LAKES OF REPUBLIC BASHKORTOSTAN

Summary

Species composition and quantity of phytoplankton of polytypic waters on the territory of Bashkortostan were investigated. Human eutrophication of the lakes was increased.

Keywords: eutrophication, algae, quantity and biomass of phytoplankton, inundated, the karstic and tectonic lakes, Republic Bashkortostan.