

Фитопланктон как показатель экологического состояния озерной системы Салтаим – Тенис (Омская область)

О. П. БАЖЕНОВА, О. О. КРЕНЦ

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина
644008, Омск, Институтская пл., 1
E-mail: olga52@bk.ru

Статья поступила 29.09.2017

Принята к печати 15.11.2017

АННОТАЦИЯ

По материалам многолетних исследований фитопланктона проведена оценка современного экологического состояния и направления изменений озерной системы Салтаим – Тенис (Омская обл.). Описан видовой состав, структура, обилие и доминирующие комплексы фитопланктона. Установлено преобладание цианобактерий в формировании численности и доминирующего комплекса фитопланктона. Трофический уровень озер соответствует эвтрофной и политрофной категориям вод. Индекс сапробности воды колеблется от α -олигосапробной до β -мезосапробной зоны. Экологическое состояние озерной системы по сравнению с состоянием в середине XX в. остается стабильным.

Ключевые слова: фитопланктон, озерная система Салтаим – Тенис, экологическое состояние, трофический статус, индекс сапробности, Омское Прииртышье.

Важнейшим природным потенциалом Омской обл., расположенной на юге Западно-Сибирской равнины, являются водные ресурсы. Все водотоки области принадлежат бассейну р. Иртыш, поэтому часто эту территорию называют Омским Прииртышьем. В долинах крупных рек и на водоразделах расположено около 16 тыс. малых и больших озер с общей площадью 190,4 тыс. га [Земля..., 2006].

Озера Омского Прииртышья интенсивно используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, рыбного промысла, в рекреационных, природоохранных и иных целях. В совокупности это означает, что озера, как и другие компоненты биосферы, оказывают

важнейшие экосистемные услуги, особенно значимые в условиях глобального экологического кризиса. Исследования последних лет на больших европейских озерах, сходных по своим характеристикам с озерами данного региона, показали, что интенсивность экосистемных услуг находится в большей зависимости от социально-экономических условий, чем от факторов окружающей среды [Vilbaste et al., 2016]. В связи с этим оценка экологического состояния водных экосистем в целях их рационального использования приобретает первостепенную значимость для сохранения устойчивого состояния окружающей среды. Экологическое состояние водных объектов и качество их вод является необ-

ходимым условием сохранения здоровья населения, биоразнообразия, эстетического и рекреационного потенциала природы [Хублярян, Моисеенко, 2009].

Ключевое место в системе оценки экологического состояния водных объектов принадлежит фитопланктону, поскольку он находится в основании трофической пирамиды и первый принимает на себя оказываемое воздействие. Фитопланктон, как и другие водорослевые сообщества, служит максимально удобным объектом в системе биомониторинга, обладая быстрым и интегральным ответом на любые внешние воздействия [Абакумов, 1977; Трифонова, 1979].

Древние реликтовые озера Салтаим и Тенис расположены в лесостепной зоне Западно-Сибирской низменности и относятся к числу наиболее крупных рыбопромысловых водоемов Омского Прииртышья. В прошлом они составляли единый водоем, а сейчас соединены между собой Балашевским проливом шириной 2 км. Связанные между собой речками и протоками озера представляют собой единую природную систему вследствие общности происхождения, положения в одной озерной котловине и схожести приозерных ландшафтов [Земля..., 2006]. Расположены они в широком межгрядном понижении, гривы находятся от уреза воды на различном расстоянии, обуславливая высоту и характер берегов. Берега низменные, местами заболоченные, покрыты плотными зарослями тростника с примесью рогоза, осоки и камыша, шириной до 1,5 км [Тарасевич, 1965]. Характерной особенностью озерной системы Салтаим – Тенис является мелководье, в результате чего наблюдается сильное развитие водной флоры, заиленность дна и зимний замор рыб. Происхождение озер, зависимость их водного режима от циклических изменений климата, большая роль, которую они играют в народном хозяйстве, ставят их в один ряд с другими крупными водоемами юга Западной Сибири [Пульсирующее озеро..., 1982; Биоразнообразие..., 2010; Обзор..., 2015].

Длина оз. Салтаим составляет 17 км, ширина – около 16 км. Наибольшая длина оз. Тенис 16 км, ширина – около 8 км. Средняя глубина озер колеблется от 1,9 (Тенис) до 2,3 м (Салтаим). Площадь водного зеркала

оз. Салтаим 146 км², оз. Тенис – 118 км², водосборная площадь всей озерной системы составляет 5710 км² [Земля..., 2006].

Согласно классификации В. П. Иванова [Теоретические вопросы..., 1993] по величине площади водного зеркала озерная система Салтаим – Тенис относится к классу больших водоемов, а в соответствии с классификацией С. П. Китаева [1984], учитывающей среднюю и максимальную глубины – к малым водоемам.

Питание озер происходит за счет поверхностного и подземного притока с водосбора и осадков на зеркале. Ледостав начинается в первых числах ноября, ледоход – в мае [Тарасевич, 1965].

Вода озер имеет серовато-зеленый [Зенюк, 1968] или соломенно-желтый (данные авторов) цвет. Прозрачность воды очень низкая, наибольшая отмечается зимой – до 95 см, наименьшая – летом (25–35 см). Минерализация воды колеблется в межгодовом и сезонном аспекте, по этому показателю озерная система Салтаим – Тенис относится к пресным водоемам, иногда переходя в статус солоноватых вод [Королев, Лейнвебер, 2017]. Активная реакция воды – слабощелочная, колеблется в пределах 7,2–8,16 [Зенюк, 1968; Королев, Лейнвебер, 2017]. Окисляемость воды высокая (15–46 мг О/л), что связывают с заболоченным водосбором. Кислородный режим летом благоприятный, но зимой озера подвержены заморам. В воде постоянно обнаруживается аммонийный азот, что можно объяснить не только тем, что в питании водоемов значительную роль играют воды низинных болот, но и поступлением сточных вод близко расположенных населенных пунктов [Тарасевич, 1965].

Первые исследования фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис проводились летом 1954 г. А. П. Скабичевским [1956]. В нем господствовали синезеленые водоросли (в современном понимании – цианобактерии), многочисленную группу представляли зеленые хлорококковые водоросли. В составе диатомовых найдены истинно- и случайно-планктонные виды.

Детальное исследование фитопланктона озер Салтаим и Тенис, проводившееся в 1965–1968 гг. Сибирским отделением Государ-

ственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства (ГосНИОРХ), позволило выяснить видовой состав, распределение, сезонную и годичную динамику численности и биомассы фитопланктона, который имел почти одинаковый таксономический состав, что объясняется непосредственной связью их через пролив и постоянными стогно-нагонными течениями, позволяющими водоемам постоянно обмениваться флорой. Одинаковый гидрологический и гидрохимический режимы водоемов, степень зарастаемости высшими растениями и характер грунтов также определяют сходство флористического состава фитопланктона [Зенюк, 1972, 1975].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Количественные пробы фитопланктона объемом 0,5 л отбирали в период открытой воды 2010–2012 гг., подледный фитопланктон изучали зимой 2012 г. на станциях, равномерно расположенных по акватории озер (рис. 1). Пробы консервировали 40%-м формалином, концентрировали осадочным методом. Одновременно отбирали качественные (сетные) пробы фитопланктона, измеряли температуру и прозрачность воды по диску Секки. Их обработку осуществляли общепринятыми методами. Подсчет количества клеток проводили в камере Горяева на световом микроскопе Микмед-1. Биомассу фитопланктона опре-

деляли стандартным счетно-объемным методом [Федоров, 1979]. Всего собрано и обработано 52 количественных (Тенис – 28, Салтаим – 24) и 14 качественных (Тенис – 7, Салтаим – 7) проб фитопланктона.

Идентификацию видов проводили по современным отечественным и зарубежным определителям, монографиям и систематическим сводкам. Для уточнения таксономической принадлежности и актуальности видовых названий использовали базу данных интернет-ресурса AlgaeBase [Guiry M. D., Guiry G. M., 2017]. Для определения видов диатомовых водорослей использовали постоянные препараты. Некоторые виды диатомей идентифицировали по данным сканирующей электронной микроскопии [Генкал и др., 2012].

Установление новых для Омского Прииртышья видов водорослей и цианобактерий осуществляли путем сравнения с данными, полученными в середине XX в. группой альгологов под руководством А. П. Скабичевского [Андреев и др., 1963], позднее – Т. А. Сафоновой [1996] и современными сведениями [Баженова, 2005; Коновалова, 2011; Барсукова, Баженова, 2012; Коржова, 2013; Баженова, Игошкина, 2014].

Для водных объектов, подверженных эвтрофированию, доминирующие виды рекомендовано выделять по численности [Михеева, 1992]. В состав доминирующего комплекса включали виды, численность которых составляла не менее 10 % от общей численно-

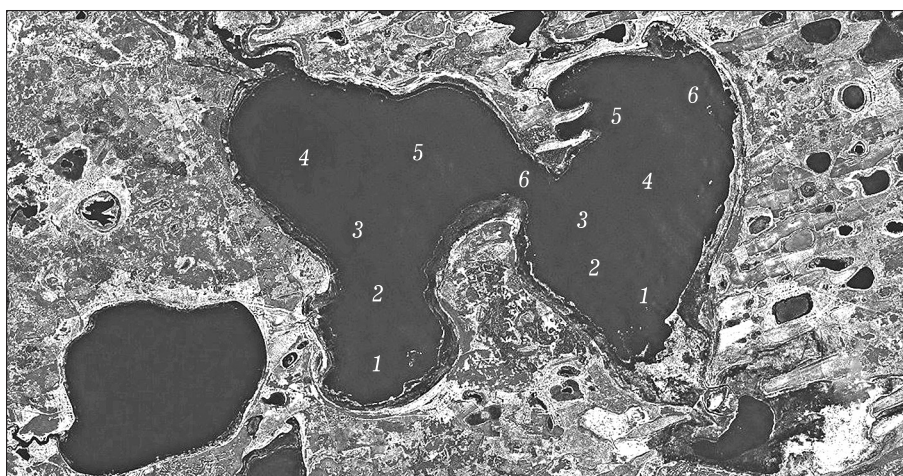


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб фитопланктона в озерной системе Салтаим – Тенис

сти фитопланктона [Корнева, 2009]. При этом учитывали также их частоту встречаемости (pF), частоту (DF) и порядок доминирования (Dt) [Макаревич, 1966; Кожова, 1970; Горбулин, 2012]. Сочетание всех указанных критериев при выделении видов-доминантов позволяет более корректно составить список доминирующих видов. Виды, имеющие низкие значения частоты встречаемости ($pF < 20$) и доминирования ($DF < 10$) при низких значениях порядка доминирования ($Dt < 10$), имеют случайный характер и не включались в доминирующий комплекс.

Для определения видовой насыщенности фитопланктона использовали зависимость Виллиса [Баринаова и др., 2006]. При анализе сходства его видового состава применяли коэффициент флористического сходства Сёренсена – Чекановского (K_{SC}) [Шмидт, 1980]. Для оценки качества воды рассчитывали индекс сапробности по Пантле и Букк [Шитиков и др., 2003]. Гидрохимическая характеристика исследуемых озер (по литературным данным) проведена по классификации О. А. Алекина [1970]. Класс качества воды и трофический статус водоемов определяли по биомассе фитопланктона в период его максимального развития [Абакумов, 1977; Оксюк и др., 1993], при этом учитывали средние за летний сезон показатели биомассы [Трифоновна, 1990].

Для оценки различий количественных показателей фитопланктона между озерами Салтаим и Тенис рассчитывали непараметрический U -критерий Манна – Уитни [Кобзарь, 2006]. Сравнение данных проводили по численности и биомассе фитопланктона. Достоверность отличий рассматривали на 5%-м уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За исследуемый период в фитопланктоне оз. Салтаим идентифицировано 106 видов и 107 видовых и внутривидовых таксонов (ВВТ), относящихся к семи отделам, 10 классам, 14 порядкам, 28 семействам, 61 роду, в том числе: Cyanobacteria – 38, Euglenophyta – 3, Dinophyta – 1, Cryptophyta – 1, Bacillariophyta – 8, Chlorophyta – 51, Streptophyta – 5 ВВТ. Основу видового богатства фитопланктона формируют отделы Chloro-

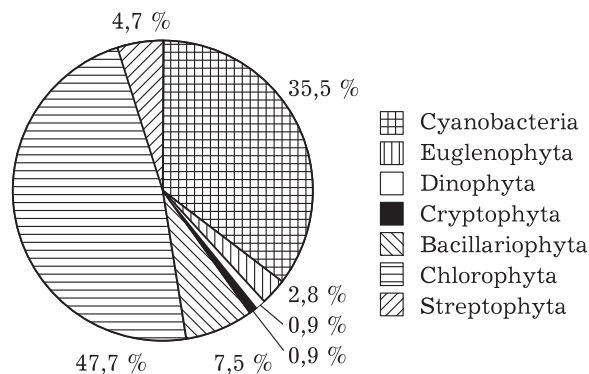


Рис. 2. Таксономическая структура фитопланктона оз. Салтаим, 2010–2012 гг.

phyta и Cyanobacteria. Остальные отделы в таксономической структуре фитопланктона представлены небольшим числом ВВТ (рис. 2).

По таксономическому составу фитопланктон оз. Салтаим имеет цианобактериально-хлорофитный характер. На уровне классов, порядков, семейств и родов в его составе преобладают представители Cyanobacteria и Chlorophyta.

В фитопланктоне оз. Тенис идентифицировано 108 видов и 109 ВВТ, относящихся к 8 отделам, 11 классам, 16 порядкам, 30 семействам, 67 родам, в том числе: Cyanobacteria – 35, Euglenophyta – 4, Dinophyta – 2, Cryptophyta – 1, Chrysophyta – 2, Bacillariophyta – 10, Chlorophyta – 52, Streptophyta – 3 ВВТ (рис. 3).

Таксономическая структура фитопланктона озер Тенис и Салтаим имеет общие черты – ведущее место в нем также принадлежит отделам Chlorophyta и Cyanobacteria.

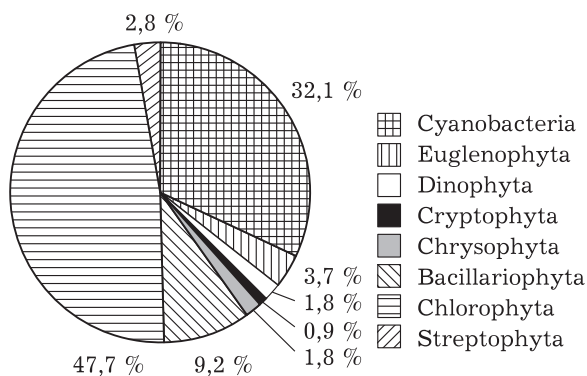


Рис. 3. Таксономическая структура фитопланктона оз. Тенис, 2010–2012 гг.

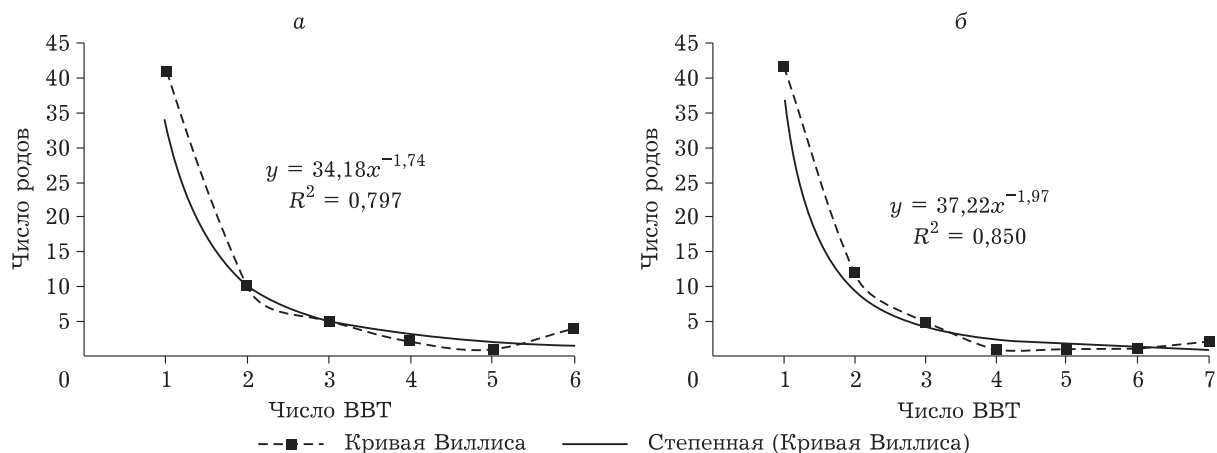


Рис. 4. Зависимость Виллиса для фитопланктона озер: а – Салтаим; б – Тенис

В составе фитопланктона озерной системы найдено два новых для Омского Прииртышья вида цианобактерий: *Chroococcus planktonicus* Bethge и *Microcystis viridis* (A. Br.) Lemm.

Проведенный флористический анализ указывает на общие закономерности распределения ранговых мест видов и ВВТ в фитопланктоне озер – на всех уровнях таксономической структуры лидирующие позиции занимают зеленые водоросли и цианобактерии. Первые два места на уровне классов в фитопланктоне занимают цианобактерии (класс Cyanophyceae) и зеленые водоросли (класс Chlorophyceae), на уровне порядков – Sphaeropleales (Chlorophyta) и Chroococcales (Cyanobacteria). Первые три ранговых места занимают семейства зеленых водорослей (Scenedesmaceae, Oocystaceae) и цианобактерий (Merismopediaceae). На уровне родов первые три места занимают зеленые водоросли *Scenedesmus*, *Oocystis*, *Desmodesmus*.

Фитопланктон озер Салтаим и Тенис имеет высокое флористическое сходство, коэффициент Сёренсена – Чекановского равен 0,79.

Критерием достаточности списка видов для анализа таксономического состава и структуры фитопланктона является соблюдение зависимости Виллиса между распределением числа видов (с учетом ВВТ) и родов. Как известно [Барина и др., 2006], в хорошо изученных флорах распределение числа видов по числу родов выражается в виде гиперболы, закономерное распределение говорит о полноте выявленного разнообразия фитопланктона. Для озер Салтаим и Тенис

полученная кривая по форме близка к гиперболе и подчиняется распределению Виллиса, коэффициент сходства варьирует в пределах 0,80–0,85, что говорит о достаточной полноте выявленного разнообразия фитопланктона (рис. 4).

Систематические исследования фитопланктона озер Салтаим и Тенис проведены в 1965–1968 гг. Т. И. Зенюк. В своих работах [1967, 1968, 1972, 1974, 1975, 1980] она приводит обобщенные сведения о его видовом составе обоих озер. Это указывает, что Т. И. Зенюк также рассматривала эти водоемы как единую озерную систему с точки зрения общности видового состава и обилия фитопланктона. В 1965–1968 гг. в фитопланктоне озер наиболее богатыми в видовом отношении оказались цианобактерии и зеленые водоросли, в совокупности составлявшие 71,80 % от общего числа идентифицированных ВВТ. Остальные отделы водорослей характеризовались низким видовым богатством. Сравнение данных авторов по фитопланктону с данными Т. И. Зенюк показало незначительные различия в таксономической структуре и видовом составе (рис. 5), обусловленные как находками редко встречающихся видов, так и существенными изменениями в систематике цианобактерий и водорослей в последнее время, в результате которых многие виды и разновидности сведены в синонимы [Guiry M. D., Guiry G. M., 2011], что уменьшило количество идентифицированных ВВТ по сравнению с данными Т. И. Зенюк.

Согласно концепции экологических модификаций В. А. Абакумова [1991], относитель-

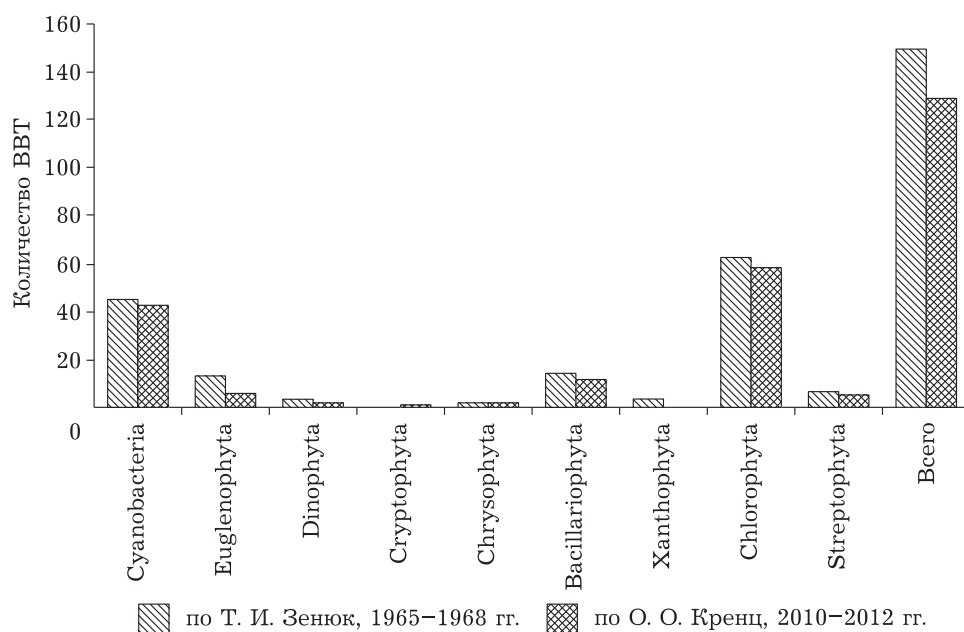


Рис. 5. Таксономическая структура фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис по данным разных лет исследований

ное постоянство как видового богатства, рассматриваемого как общее число ВВТ, так и таксономической структуры фитопланктона свидетельствует о том, что экосистема озер Салтаим и Тенис находится в достаточно устойчивом состоянии экологической модуляции. Экологическая модуляция – наиболее распространенное направление метаболического прогресса, не приводящее, как правило, к глубоким изменениям интенсивности метаболизма биоценозов, она выражается в смене доминантных видов, в изменении состава руководящих комплексов, в общем изменении видового состава биоценозов и т. п. [Абакумов, 1991].

Доминирующий комплекс фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис, сформированный согласно приведенным выше критериям, слагают четыре вида цианобактерий: *Lyngbya saltaimica* Skabitch., *Aphanocapsa holsatica* Lemm., *Chroococcus minimus* (Keissl.) Lemm., *Romeria* Koczw. ex Geitl. sp. Максимальные значения частоты (DF) и порядка доминирования (Dt) характерны для *L. saltaimica* и *A. holsatica*, которые определяют характерный облик фитопланктона озерной системы. По частоте встречаемости и порядку доминирования первое место занимает *L. saltaimica*, имеющая максимальные значения этих показателей (табл. 1). Этот вид

Т а б л и ц а 1

Доминирующий комплекс фитопланктона озерной системы Салтаим–Тенис

Вид	Зима	Лето	Осень	Частота встречаемости (pF)	Частота доминирования (DF)	Порядок доминирования (Dt)
Отдел Суанобактерия						
Класс Суанопхyceae						
Порядок Chroococcales						
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	–	+	–	77,4	55,7	72,7
<i>Chroococcus minimus</i>	–	+	–	51,1	44,8	43,9
Порядок Oscillatoriales						
<i>Romeria</i> sp.	+	+	+	79,8	20,3	25,6
<i>Lyngbya saltaimica</i>	+	+	+	87,5	87,0	98,8

является постоянным компонентом доминирующего комплекса фитопланктона озерной системы и летом достигает уровня “цветения”. Максимальная численность *L. saltaimica* отмечена в августе 2010 г. и достигала 2410 млн кл./л.

По сравнению с серединой XX в. видовой состав доминирующего комплекса фитопланктона озерной системы несколько изменился, что также характерно для состояния экологической модуляции. По данным А. П. Скабичевского [1956], главная роль в фитопланктоне оз. Салтаим также принадлежала цианобактериям, но среди них выделялся *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. Следует отметить, что в своих исследованиях А. П. Скабичевский и Т. И. Зенюк не применяли количественных критериев для выделения доминантов. В настоящее время *M. aeruginosa* достигает высокого обилия, но в число доминантов, даже с учетом только 10 % численности, не входит.

Современный состав доминирующего комплекса полностью отражает как особенности фитопланктона, так и экологическое состояние реликтовой озерной системы Салтаим – Тенис, находящейся, согласно А. В. Топачевскому [1975], в умеренной стадии “цветения” воды.

Характер и таксономическая структура фитопланктона изученной озерной системы имеют большое сходство с другими крупными озерами юга Западной Сибири. В большинстве изученных озер лесостепной зоны региона наибольшее видовое богатство присутствует у зеленых водорослей, а цианобактерии по этому показателю занимают второе место, но достигают значительного уровня развития, формируя основную долю общей численности фитопланктона [Федоров, 1963; Халфина, 1964; Пульсирующее озеро..., 1982; Сафонова, Ермолаев, 1983; Ермолаев, 1987, 1989, 1991, 1998, 2008; Биоразнообразие..., 2010; Баженова и др., 2011, 2012; Озеро..., 2014; Обзор..., 2015]. Для этих мелководных олигогалинных высокотрофных озер региона характерно сильное ветровое воздействие и мало изменившийся уровень антропогенного воздействия, что отражается в таксономической структуре фитопланктона, где преобладают Chlorophyta и Cyanobacteria, а

большинство Bacillariophyta представлено случайно планктонными видами [Биоразнообразие..., 2010].

Следует также отметить, что значительные различия озер региона по происхождению, степени минерализации вод, иным гидрохимическим и морфометрическим характеристикам, нередко придают их фитопланктону специфические черты видового состава. Например, в оз. Соленом (г. Омск) в конце лета – начале осени происходит массовая вегетация редкой для Западной Сибири цианобактерии *Arthrospira fusiformis* Woronich., перспективного источника ценного биологического сырья, богатого протеинами [Баженова, Коновалова, 2012; Баженова и др., 2014]. Ведущим компонентом доминирующего комплекса фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис является нитчатая цианобактерия *L. saltaimica*, впервые описанная А. П. Скабичевским [1956] и нигде более не встречающаяся в водоемах Омского Прииртышья. Отличительной особенностью этого вида, по своим характеристикам наиболее близкого к *L. lagerheimii* (Möb.) Gom., является наличие толстых поперечных стенок и более широкий изгиб спирали. Размерные характеристики и морфология *L. saltaimica* в 2009–2012 гг. полностью совпадают с данными А. П. Скабичевского. Из всех обследованных озер Омского Прииртышья только в системе Салтаим – Тенис найден редкий вид зеленых водорослей *Pseudopediastrum kawraiskyi* (Schmidle) Hegew., отмеченный также в р. Оша, вытекающей из этих озер [Барсукова, Баженова, 2012] и в оз. Зайсан, из которого берет начало р. Иртыш [Андреев и др., 1963; Баженова, 2005].

Летний фитопланктон озерной системы Салтаим – Тенис характеризуется высоким обилием и значительными колебаниями в межгодовом аспекте. Максимальные показатели обилия фитопланктона в оз. Салтаим отмечены в августе 2010 г. (табл. 2).

Высокая численность летнего фитопланктона обусловлена массовой вегетацией цианобактерий, достигающей умеренной стадии “цветения” воды, в основном *L. saltaimica*. Численность этого вида в период исследований колебалась от 26,33 до 2406,60 млн кл./л. Кроме него высокую численность формиро-

Численность и биомасса летнего фитопланктона оз. Салтаим, 2010–2012 гг.

Время отбора	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м ³	Численность, % биомасса, %			
			Суанобас- teria	Bacillario- phyta	Chloro- phyta	Прочие
Август 2010 г.	2586,67 ± 937,44	18,03 ± 4,94	99,49	0,12	0,39	0,001
			55,45	14,68	29,41	0,46
Июнь 2011 г.	466,37 ± 182,41	7,36 ± 4,08	97,57	0,26	2,16	0,01
			32,21	17,16	50,49	0,14
Август 2011 г.	2456,25 ± 352,79	12,98 ± 1,07	99,42	0,08	0,50	0,001
			47,73	13,35	34,60	4,32
Август 2012 г.	609,12 ± 908,78	6,25 ± 6,05	99,18	0,10	0,71	0,01
			44,94	5,22	39,99	9,85

вали и другие цианобактерии – *A. holstatica* (104–2308 млн кл./л) и *Ch. minimus* (0,5–1071,30 млн кл./л).

Показатели биомассы фитопланктона оз. Салтаим соответствуют переходному этапу от начальной (до 10 г/м³) к умеренной (10–100 г/м³) стадии “цветения”. Как известно, при умеренном “цветении” воды фитопланктон играет положительную роль в процессах самоочищения водоемов [Топачевский, 1975]. Из-за мелкоклеточности доминирующих цианобактерий их доля в формировании общей биомассы фитопланктона оз. Салтаим существенно ниже, чем в создании общей численности, значительная часть биомассы фитопланктона формируется зелеными водорослями, особенно в начале летнего сезона. По мере развития “цветения” воды роль зеленых водорос-

лей в сложении общей численности и биомассы фитопланктона уменьшается (см. табл. 2).

Уровень развития фитопланктона в оз. Тенис так же высок, как и в оз. Салтаим. Максимальная численность отмечена в августе 2010 г., а максимальная биомасса – в июне 2011 г., что связано с преобладанием в это время в фитопланктоне оз. Тенис диатомовых и зеленых водорослей (табл. 3).

Провести корректное сравнение литературных данных о численности фитопланктона в озерной системе в 1965–1968 гг. [Зенюк, 1972] с приведенными данными не удалось из-за разных методик расчета численности нитчатых цианобактерий, что часто встречается в исследованиях фитопланктона [Биоразнообразие..., 2010]. Расчет численности нитчатых цианобактерий проведен, исходя из среднего

Численность и биомасса летнего фитопланктона оз. Тенис, 2010–2012 гг.

Время отбора	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м ³	Численность, % биомасса, %			
			Суанобас- teria	Bacillario- phyta	Chloro- phyta	Прочие
Август 2010 г.	3246,96 ± 432,35	17,17 ± 3,05	99,61	0,08	0,31	0,001
			61,86	9,23	28,70	0,21
Июнь 2011 г.	602,83 ± 127,87	21,48 ± 6,20	95,95	1,34	2,70	0,01
			30,69	20,00	48,65	0,66
Август 2012 г.	1727,82 ± 221,46	11,84 ± 3,04	99,43	0,17	0,40	0,0004
			59,27	8,54	31,15	1,04

числа клеток в трихоме, а в исследованиях Т. И. Зенюк его проводили по количеству трихомов, без перевода этого показателя в количество клеток.

В 2012 г. в оз. Салтаим отобраны пробы зимнего фитопланктона. Уровень его развития в это время невысокий, средняя численность составляет 68,6 млн кл./л, средняя биомасса – 0,93 г/л.

Основу численности (99,34 %) и биомассы (69,49 %) зимнего фитопланктона также создавали цианобактерии. По сравнению с летом доля зеленых и диатомовых водорослей в создании биомассы фитопланктона снизилась, значительный вклад (15,18 %) в общую биомассу вносили эвгленовые водоросли (*Euglena oblonga* Schmitz). Его постоянным компонентом являлся *Chroomonas acuta* Üterm., чье развитие в неблагоприятных для фотосинтеза условиях можно объяснить большим количеством легко усвояемой низкомолекулярной органической пищи для миксотрофных видов криптофитовых, образующейся при разложении цианобактерий [Корнева, 2009].

Колебания биомассы фитопланктона в оз. Салтаим по данным авторов происходили в пределах 6,25–18,03 г/м³, в 1965–1968 гг. эти пределы были того же порядка (4,22–9,26 г/м³). В оз. Тенис в 1965–1968 гг. колебания биомассы составили 4,26–9,34 г/м³, а по полученным данным, оказались в 2 раза выше. Учитывая некоторые изменения структуры фитопланктона в 2010–2012 гг., например, возрастание относительной доли в формировании биомассы диатомовых и зеленых водорослей, такое ее возрастание вполне объяснимо.

За время проведенных исследований статистически достоверных различий (с применением *U*-критерия Манна – Уитни при $p = 0,05$) в показателях численности и биомассы фитопланктона между озерами Салтаим и Тенис не установлено, что в очередной раз подтверждает вывод о том, что эти водоемы являются единой озерной системой.

Один из распространенных методов биомониторинга – сапробиологический анализ, результаты которого позволяют оценить экологическое состояние водных объектов в разных аспектах [Barinova, Chekryzheva, 2014;

Myrzagaliyeva et al., 2014]. В фитопланктоне озерной системы Салтаим – Тенис идентифицировано 81 ВВТ, являющихся индикаторами сапробности, высокая доля показательных организмов (63,28 % от общего количества ВВТ) дает возможность корректно провести сапробиологическую характеристику водоема.

Большинство индикаторов сапробности (32,5 % от общего числа ВВТ с известной сапробиологической характеристикой) относится к β -мезосапробионтам, небольшая доля индикаторов (14,4 %) – к обитателям чистых вод. Около половины индикаторов сапробности (46,9 %) являются обитателями переходных зон (α - β , β - α , α - α , χ - β), обладающими высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ. Преобладание таких видов указывает на устойчивость экосистемы водоемов к загрязнению органическими веществами [Одум, 1986] и высокий потенциал самоочищения вод, что характерно для многих исследованных рек и озер Омского Прииртышья [Баженова, 2005; Барсукова, Баженова, 2012; Баженова и др., 2012; Баженова, Игошкина, 2014]. По систематической принадлежности большинство индикаторов сапробности относится к отделу Chlorophyta, что отражает ведущее положение зеленых водорослей в таксономической структуре фитопланктона озерной системы. Значения индекса сапробности воды в годы исследований колеблются в пределах от α -олигосапробной до β -мезосапробной зоны (табл. 4).

Характеристика сапробного состояния озерной системы Салтаим – Тенис во второй половине XX в. дана Т. И. Зенюк [1972]. В это время в фитопланктоне преобладали индикаторы олигосапробной и β -мезосапробной зон. В отличие от полученных данных, показатели сильной степени загрязненности вод – полисапробионты и α -мезосапробионты не найдены. Установлено, что среднее значение индекса сапробности ($1,39 \pm 0,09$), приближающееся к верхнему пределу α -олигосапробной зоны, свидетельствует о незначительных изменениях состояния вод озерной системы Салтаим – Тенис за прошедшее время. Следует отметить, что в связи с пересмотром в последнее время сапробиологических

**Индекс сапробности воды озерной системы
Салтаим – Тенис**

Месяц	Среднее значение индекса	Пределы колебания
	2010 г.	
Август	1,41 ± 0,04	1,34–1,46
	2011 г.	
Июнь	1,35 ± 0,13	1,25–1,56
Август	1,30 ± 0,02	1,28–1,32
	2012 г.	
Август	1,51 ± 0,20	1,34–1,81
В среднем за 2010–2012 гг.	1,39 ± 0,09	1,25–1,81

характеристик многих индикаторных видов водорослей и цианобактерий провести более точное сравнение современного сапробного состояния водоемов с данными 1965–1968 гг. невозможно. Кроме того, сапробиологическая характеристика доминирующей в фитопланктоне цианобактерии *L. saltaimica* до настоящего времени не установлена.

Уровень сапробности вод озерной системы Салтаим – Тенис в целом такой же, как у многих крупных неглубоких озер юга Западной Сибири [Ермолаев, 1989, 1991, 2008; Баженова и др., 2012; Обзор..., 2015], находящихся в процессе естественного эвтрофирования.

Трофический уровень данной системы, как и многих мелководных озер лесостепной зоны юга Западной Сибири [Пульсирующее озеро..., 1982; Биоразнообразие..., 2010; Баженова и др., 2012; Озеро..., 2014; Обзор..., 2015], высокий. Воды оз. Салтаим соответствуют эвтрофной и политрофной категории, оз. Тенис – политрофной. По совокупности показателей фитопланктона воды озерной системы Салтаим – Тенис относятся к четвертому классу качества “загрязненные”. Водоемы из различных физико-географических зон с высоким трофическим статусом и преобладанием в фитопланктоне цианобактерий легко переходят в категорию гипертрофных, поэтому их состояние необходимо отслеживать в биомониторинге [Баженова и др., 2012; Обзор..., 2015; Sřifa, Phlips, Cichra et al., 2016].

Для фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис характерен средний уровень видового богатства и разнообразия, что связано с далеко зашедшим процессом естественного эвтрофирования этих реликтовых водоемов. В составе фитопланктона идентифицировано 128 ВВТ из восьми отделов. Абсолютное преобладание цианобактерий в формировании численности и доминирующего комплекса фитопланктона является характерной чертой многих пресных мелководных озер юга Западной Сибири, достигших уровня “цветения” воды. Вместе с тем в фитопланктоне озерной системы отмечены определенные особенности видового состава – уникальность доминирующей цианобактерии *L. saltaimica*, присутствие редких для региона видов (*P. kawraiskyi*, *Ch. planctonicus*, *Microcystis viridis*), что связано как с происхождением, так, вероятно, и с особенностями их гидрохимического режима.

Отсутствие в настоящее время пунктов наблюдения Росгидромета на этих водоемах не дает возможности проанализировать динамику гидрохимического режима и провести оценку их экологического состояния по данным химического мониторинга. В таких случаях неопределимую пользу приносит использование данных биомониторинга в рамках концепции экологических модификаций В. А. Абакумова. Согласно ей наибольшую значимость для оценки направления изменений экологического состояния водных объектов имеют структурные преобразования основных биоценозов за многолетний период. Фитопланктон, как и другие водорослевые сообщества, служит максимально удобным объектом в системе биомониторинга, обладая быстрым и интегральным ответом на любые внешние воздействия. Кроме того, с середины XX в. для озерной системы Салтаим – Тенис систематические данные имеются только по нему.

В сравнении с исследованиями середины XX в. таксономический состав, обилие, структура и доминирующие комплексы фитопланктона озерной системы Салтаим – Тенис в целом сохранили основные черты. Значимость отдельных видов в составе доминирующего

комплекса и целых систематических групп (в данном случае – цианобактерий) в общей численности и биомассе фитопланктона не изменилась.

Трофический уровень озер остался неизменным и соответствует эвтрофной и поли-трофной категории вод. Сапробное состояние водоемов изменилось незначительно, а преобладание в фитопланктоне видов с высокой степенью толерантности к загрязнению органическими веществами указывает на устойчивость экосистемы в целом. Приведенные данные в совокупности свидетельствуют об устойчивом экологическом состоянии озерной системы Салтаим – Тенис. Уровень хозяйственного использования территории и численность населения (около 20 тыс. чел.) в пределах данного бассейна с середины XX в. остались прежними, что косвенно подтверждает преобладание процессов естественного эвтрофирования этого водоема над антропогенным.

ЛИТЕРАТУРА

- Абакумов В. А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: тр. сов.-англ. семинара. Л., 1977. С. 93–100.
- Абакумов В. А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: тр. Междунар. симп. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 18–40.
- Алекин О. А. Гидрохимия. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 442 с.
- Андреев Г. П., Горячева Г. И., Скабичевский А. П., Чернявская М. А., Чистяков Л. Д. Водоросли реки Иртыш и его бассейна // Тр. Том. гос. ун-та. 1963. Т. 152. С. 69–103.
- Баженова О. П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 248 с.
- Баженова О. П., Игошкина И. Ю. Фитопланктон и экологическое состояние водоема природного парка “Птичья гавань” (г. Омск). Омск: Вариант–Омск, 2014. 160 с.
- Баженова О. П., Барсукова Н. Н., Вахрушев А. А., Герман Л. В., Игошкина И. Ю., Коновалова О. А., Кренц О. О. Цианопрокариоты из планктона водных объектов среднего Иртыша // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сб. науч. ст. по материалам X Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: ARTICA, 2011. С. 13–15.
- Баженова О. П., Герман Л. В., Кренц О. О., Шаховал В. Е., Вахрушев А. А. Экологическое состояние и рекреационная ценность разнотипных озер Омской области // Омск. науч. вестн. 2012. № 1 (108). С. 213–216.
- Баженова О. П., Коновалова О. А. Фитопланктон озера Соленого (г. Омск) как перспективный источник биоресурсов // Сиб. экол. журн. 2012. № 3. С. 375–382 [Bazhenova O. P., Konovalova O. A. Phytoplankton of Lake Solenoye (Omsk) as a promising source of bioresources // Contemporary Problems of Ecology. 2012. Vol. 5, N 3. P. 275–280].
- Баженова О. П., Кренц О. О., Коржова Л. В., Барсукова Н. Н., Коновалова О. А. Цианопрокариоты в планктоне рек и озер Омского Прииртышья // Альгология. 2014. Т. 24, № 2. С. 209–221 [Bazhenova O. P., Krenco O. O., Korzhova L. V., Barsukova N. N., Konovalova O. A. Cyanoprokaryota in plankton of the rivers and lakes of Omsk Priirtyshye // Int. Journ. Algae. 2014. Vol. 16, N 2. P. 144–155].
- Баринаова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразии водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
- Барсукова Н., Баженова О. Фитопланктон и экологическое состояние притоков среднего Иртыша. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 151 с.
- Биоразнообразии Карасукско-Бурлинского региона (Западная Сибирь). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 273 с.
- Генкал С. И., Баженова О. П., Митрофанова Е. Ю. Центрические диатомовые водоросли (Centrophyceae) водоемов и водотоков бассейна среднего участка реки Иртыш // Биол. внутр. вод. 2012. № 1. С. 5–14 [Genkal S. I., Bazhenova O. P., Mitrofanova E. Y. Centric diatom algae (Centrophyceae) in water bodies and water courses of the Middle Irtysh Basin // Inland Water Biol. 2012. Vol. 5, N 1. P. 1–10].
- Горбулин О. С. Комплексы доминантных форм фитопланктона разнотипных водоемов // Альгология. 2012. Т. 22, № 3. С. 303–315.
- Ермолаев В. И. Фитопланктон озера Сартлан и его продуктивность // Природные ресурсы озер Западной Сибири, прилегающих горных территорий и их рациональное использование: межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск, 1987. С. 89–96.
- Ермолаев В. И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск: Наука, 1989. 95 с.
- Ермолаев В. И. Особенности фитопланктона озер юга Западной Сибири // Антропогенные изменения экосистем малых озер: причины, последствия, возможность управления: мат-лы Всесоюз. совещ. СПб., 1991. Кн. 2. С. 229–232.
- Ермолаев В. И. Фитопланктон крупных Чано-Барабинских озер, его видовое разнообразие и таксономическая структура // Сиб. экол. журн. 1998. Т. 5, № 2. С. 137–145.
- Ермолаев В. И. Фитопланктон крупных озер Новосибирской области (Западная Сибирь) // Гидробиол. журн. 2008. Т. 44, № 2. С. 15–26 [Yermolayev V. I. Phytoplankton of large lakes of the Novosibirsk region (the Western Siberia, Russia) // Hydrobiol. Journ. 2008. Vol. 44, N 4. P. 14–25].

- Земля, на которой мы живем. Природа и природопользование Омского Прииртышья. Омск: Манифест, 2006. 575 с.
- Зенюк Т. И. Фитопланктон озер Салтаим и Тенис Омской области в осенний период 1965 г. // Тр. Омск. мед. ин-та. 1967. № 77. С. 27–31.
- Зенюк Т. И. К характеристике фитопланктона озера Салтаим Омской области // Там же. 1968. № 86. С. 44–49.
- Зенюк Т. И. Фитопланктон Больших Крутинских озер Омской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1972. 23 с.
- Зенюк Т. И. Вертикальное распределение фитопланктона в озерах Ик, Салтаим, Тенис Омской области // Вопр. биологии: сб. науч. тр. Омск. гос. пед. ин-та. Омск, 1974. Вып. 79. С. 49–57.
- Зенюк Т. И. Сравнительная характеристика больших Крутинских озер Омской области // Природные ресурсы и их использование: сб. науч. тр. Омск. гос. пед. ин-та. Омск, 1975. Вып. 1. С. 43–48.
- Зенюк Т. И. Качественный состав фитопланктона озера Салтаим и Тенис Омской области // Там же. Омск, 1980. Вып. 3. С. 47–50.
- Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
- Кожова О. М. Формирование фитопланктона Братского водохранилища // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М., 1970. С. 26–160.
- Коновалова О. А. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водных экосистем городских ландшафтов (на примере г. Омска): дис. ... канд. биол. наук. Омск, 2011. 164 с.
- Коржова Л. В. Оценка экологического состояния озера Калач (г. Калачинск, Омская область) по показателям развития фитопланктона: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2013. 164 с.
- Корнева Л. Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2009. 47 с.
- Королев А. Н., Лейнвебер К. Ю. Гидрохимический мониторинг воды озера Тенис Омской области // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017): мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (3–5 июня 2017 г.). Омск: ЛИТЕРА, 2017. С. 165–167.
- Макаревич В. Н. Голландские методы учета обилия видов по де-Фризу в сравнении с другими методами определения участия видов в луговых травостоях // Ботан. журн. 1966. Т. 51, № 2. С. 293–304.
- Михеева Т. М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Минск, 1992. 63 с.
- Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / отв. ред. О. Ф. Васильев, Я. Вейн. Новосибирск: Гео, 2015. 255 с.
- Одум Ю. Экология: в 2 т. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
- Озеро Сартлан (биологическая продуктивность и перспективы рыбохозяйственного использования) / Е. В. Егоров, В. И. Ермолаев [и др.]; под ред. А. И. Литвиненко, А. А. Ростовцева. Тюмень: Госрыбцентр, 2014. 222 с.
- Оксинок О. П., Жукинский В. Н., Брагинский П. Н., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
- Пульсирующее озеро Чаны. Л.: Наука, 1982. 304 с.
- Сафонова Т. А. Материалы к альгофлоре водоемов системы р. Иртыш (Западная Сибирь, Россия) // Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1996. 26 с. Деп. в ВИНТИ 23.12.1996, № 3745-В96.
- Сафонова Т. А., Ермолаев В. И. Водоросли водоемов системы озера Чаны. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 153 с.
- Скабичевский А. П. Об осеннем планктоне озера Салтаима (Западная Сибирь) // Тр. Том. гос. ун-та. 1956. Т. 142. С. 73–76.
- Тарасевич Д. Н. Санитарно-гигиеническая характеристика озер Ик, Тенис и Салтаим // Тр. Омск. мед. ин-та. 1965. № 61. С. 3–8.
- Теоретические вопросы классификации озер. СПб.: Наука, 1993. 186 с.
- Топачевский А. В. "Цветение" воды как результат нарушения процессов регуляции в гидробиоценозах // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 40–49.
- Трифонова И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 168 с.
- Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.
- Федоров В. Г. Санитарная характеристика озер Щербаккульского района Омской области по данным исследования их физико-химического режима и фитопланктона // Тр. Омск. мед. ин-та. 1963. № 37. С. 191–204.
- Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1979. 168 с.
- Халфина Н. А. К гидробиологии лесостепных водоемов Западной Сибири (озеро Ик Омской области) // Изв. СО АН СССР. Сер. биол.-мед. наук. 1964. № 4, вып. 1. С. 41–48.
- Хубларян М. Г., Моисеенко Т. И. Качество воды // Вестн. РАН. 2009. Т. 798, № 5. С. 403–410.
- Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВВ РАН, 2003. 463 с.
- Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1980. 176 с.
- Barinova S., Chekryzheva T. Phytoplankton dynamic and bioindication in the Kondopoga Bay, Lake Onego (Northern Russia) // J. Limnol. 2014. Vol. 73, N 2. P. 282–297.
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, Galway: Nat. Univ. of Ireland, 2017. URL: <http://www.algaebase.org>.
- Myrzagalijeva A. B., Samarkhanov T., Kushnikova L. B. Hydrobiological Characteristics of Lake Tayinty // Life Sci. Journ. 2014. Vol. 11, N 1. P. 280–285.

Srifa A., Philips E. J., Cichra M. F., Hendrickson J. C. Phytoplankton dynamics in a subtropical lake dominated by cyanobacteria: cyanobacteria “Like it Hot” and sometimes dry // *Aquatic Ecol.* 2016. Vol. 50, N 2. P. 163–174.

Vilbaste S., Järvalt A., Kalpus K., Nõges T., Pall P., Piirsoo K., Tuvikene L., Nõges P. Ecosystem services of Lake Võrtsjärv under multiple stress: a case study // *Hydrobiology.* 2016. Vol. 780, N 1. P. 145–159.

Phytoplankton as the Indicator of the Ecological State of the Saltaim – Tennis Lake System (Omsk Oblast)

O. P. BAZHENOVA, O. O. KRENTZ

*P. A. Stolypin Omsk State Agrarian University
644008, Omsk, Institute Sq., 1
E-mail: olga52@bk.ru*

Based on the data of a multi-year study of phytoplankton, the current ecological state and the direction of changes in the Saltaim-Tennis Lake system (Omsk Oblast) were assessed. Species composition, structure, abundance and dominant complexes of phytoplankton were described. The predominance of cyanobacteria in the formation of the population and the dominant phytoplankton complex was established. The trophic level of the lakes corresponded to the eutrophic and polytrophic water categories. The saprobity index of water varied from 6-oligosaprobic to 8-mesosaprobic zone. The ecological state of the lake system is stable compared to that in the mid-20th century.

Key words: phytoplankton, Saltaim-Tennis Lake system, ecological state, trophic status, saprobity index, Omsk Priirtyshiyе.