

УДК [556.541 + 574.583:581.543.5](282.256.341.5)

Г. И. ПОПОВСКАЯ*, **Л. М. СОРОКОВИКОВА***, **И. В. ТОМБЕРГ***,
Н. В. БАШЕНХАЕВА**, **Н. А. ТАШЛЫКОВА****

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

**Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ И РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЗЕРЕ ЗАВЕРНЯИХА

*На основе многолетних наблюдений рассмотрена сезонная и межгодовая динамика фитопланктона и химического состава воды оз. Заверняиха, расположенного в дельте р. Селенги. Обнаружено интенсивное развитие подо льдом пяти видов фитопланктона, среди которых определяющая роль принадлежит динофитовым водорослям — байкальским эндемикам *G. baicalense* и *P. baicalense*. Основными факторами массового развития водорослей подо льдом являются: благоприятный газовый режим и соотношение биогенных элементов, высокое содержание ЛОВ, изолированность водоема, высокий темп деления динофитовых водорослей.*

Ключевые слова: фитопланктон, биогенные элементы, ЛОВ, газовый режим.

*Based on long-term observations, we examine the seasonal and interannual dynamics of the phytoplankton and chemical composition of the water in Lake Zavernyaikha located in the delta of the Selenga river. The study revealed an intense development of five kinds of phytoplankton under the ice, dominated by dinophyte algae: the Baikalian endemics *G. baicalense* and *P. baicalense*. The main factors of massive algae development under the ice are: the favorable gaseous regime and relationship of biogenic elements, high content of volatile organic substances (VOS), isolatedness of the water body, and high rate of dynophyte algae division.*

Keywords: phytoplankton, biogenic elements, VOS, gaseous regime.

ВВЕДЕНИЕ

Река Селенга в своем нижнем течении разделяется на многочисленные протоки, образуя обширную дельту, площадь которой по современным оценкам 1800 км² [1]. Водные объекты дельты разнообразны и помимо проток представлены озерами, старицами и болотами. В условиях интенсивного развития туризма на Байкале, строительства баз отдыха и частных коттеджей необходимо систематическое проведение мониторинга экологического состояния речных и озерных экосистем дельты, что позволит оценить их изменения при повышении антропогенной нагрузки.

Несмотря на многолетние исследования, выявляются все новые данные, свидетельствующие о биологическом разнообразии флоры и фауны в водных объектах дельты р. Селенги. Так, в одном из многочисленных озер дельты — оз. Заверняиха — обнаружено интенсивное подледное «цветение»

© 2011 Поповская Г. И., Сороковикова Л. М. (lara@lin.irk.ru), Томберг И. В. (kaktus@lin.irk.ru),
Башенхаева Н. В., Ташлыкова Н. А.

водорослей. Особый интерес вызывает тот факт, что в этом озере, отличающемся от Байкала по морфометрическим показателям, химическому составу воды и температурному режиму, в массе развиваются байкальские эндемичные динофитовые водоросли из рода *Gymnodinium* и *Peridinium*.

Данная работа включала следующие задачи: изучить сезонную и межгодовую динамику химического состава воды и фитопланктона оз. Заверняиха и определить факторы, вызывающих массовое развитие водорослей в подледный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2001–2005 гг. в период открытого русла с мая по сентябрь–октябрь и в подледный период — в феврале–марте. Пробы воды отбирались с поверхности и у дна. Фитопланктон фиксировался раствором Люголя с последующим добавлением формалина [2]. Для количественного учета водорослей использовался отстойный метод. Подсчет клеток проводился на световом микроскопе «Pegaval» при увеличении в 400 раз, а для мелкоклеточных форм — в 1000 раз по методу Гензена [3]. Биомасса фитопланктона определялась по среднему объему, с приравниванием формы клеток к близкой геометрической фигуре [4]. Определение химического состава воды выполнено с использованием современных методов анализа поверхностных вод [5–7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Озеро Заверняиха расположено в дельте р. Селенги на удалении около 7 км от Байкала. Озеро мелководное, его глубина не превышает 4 м, ширина — 50 м, длина — 150 м (рис. 1). В весенне-осенний период оно сообщается с главной протокой р. Селенги — Харауз, что способствует хорошему водообмену. Зимой озеро изолировано от протоки. Ледяной покров сохраняется с ноября по апрель, толщина льда достигает 1,5 м; снежный покров составляет 5–10 см. В период исследований температура воды изменялась: зимой — от 0,2 до 1,2 °С (с максимумом у дна), весной — от 11 до 14 °С, летом — от 19 до 24 °С, осенью — от 10 до 7 °С (с максимумом у поверхности).

Химический состав воды. Сезонные и межгодовые изменения химического состава воды в протоках дельты р. Селенги, а также оз. Заверняиха в значительной степени зависят от водности реки [8]. Сумма ионов в воде озера колеблется от 97 до 295 мг/л, наименьшие концентрации главных ионов наблюдались во время паводка, максимальные — в конце зимы (март). Распределение их по глубине во все сезоны равномерно. По относительному содержанию главных ионов вода соответствует гидрокарбонатному классу, группе кальция.

Величина рН воды слабощелочная (7,30–8,63). Концентрация растворенного кислорода в воде в течение года высокая (8,5–14,9 мг/л). В отличие от большинства водоемов и водотоков, включая Селенгу, в которых относительное содержание кислорода подо льдом снижается до 50 % насыщения [9], в воде оз. Заверняиха оно остается высоким 105–117 %. Распределение его концентраций по глубине достаточно равномерное. Заморных явлений в озере не отмечено.

Концентрации биогенных элементов в течение года изменяются в широких пределах (рис. 2). Повышенное содержание нитратного азота, фосфатов и кремния в воде отмечено зимой, аммонийного азота — в половодье и во время летних паводков. Содержание органического углерода (рассчитано по ХПК) в озерной воде достаточно высокое 3,7–14,1 мг С/л (рис. 3), исключением является июль 2003 г., когда его концентрация составляла 1,3 мг С/л и была наименьшей для всего периода наблюдений. В этом же году резкое снижение концентраций органических веществ, обусловленное изменениями водности, наблюдалось в воде р. Селенги и протоках дельты [9].

В сравнении с другими годами в 2004 г. высокое содержание органического углерода отмечено зимой (рис. 4), что связано с мощным развитием

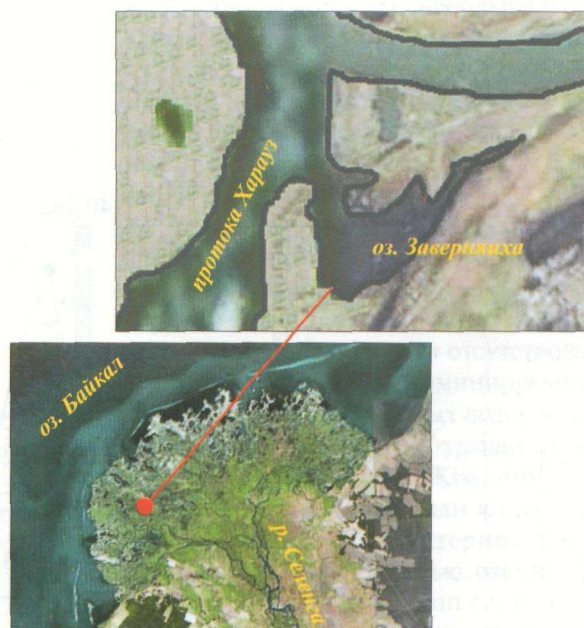


Рис. 1. Район исследования.

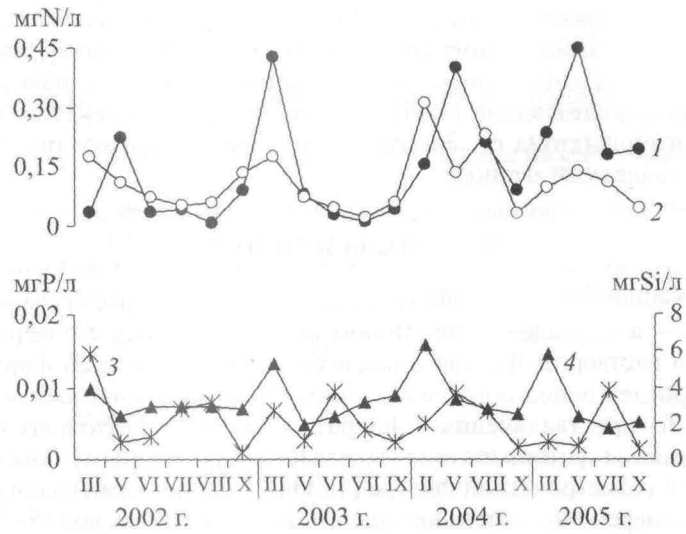


Рис. 2. Сезонная и межгодовая динамика биогенных элементов в воде оз. Заверняиха.
 1 — NH_4^+ , 2 — NO_3^- , 3 — Si, 4 — PO_4^{3-} .

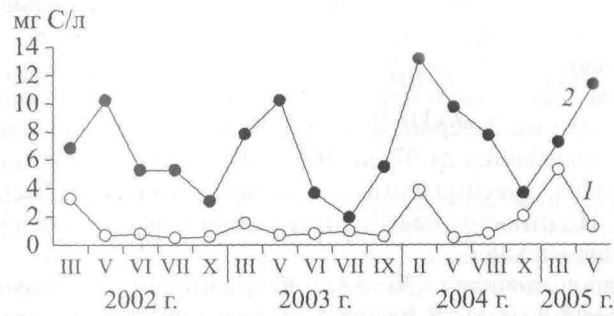


Рис. 3. Сезонная и межгодовая динамика органического углерода в воде оз. Заверняиха.
 1 — ЛОВ, 2 — общий органический углерод.

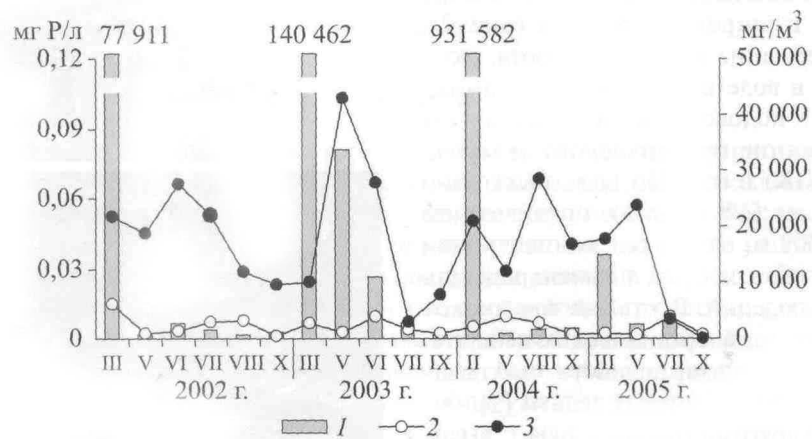


Рис. 4. Сезонная и межгодовая динамика биомассы фитопланктона (1), минерального (2) и органического (3) фосфора в воде оз. Заверняиха.

Сезонные и межгодовые изменения численности (тыс. кл/л — числитель) и биомассы (мг/м³ — знаменатель) фитопланктона в оз. Заверняиха

Водоросли	2002 г.						2003 г.						2004 г.						2005 г.			
	III	V	VI	VII	VIII	X	III	V	VI	VII	IX	II	V	VIII	X	III	V	VII	X			
Синезеленые	1058 9	—	—	98	2270	—	200	15	173	—	804	—	70	—	—	112	126	240	192			
Золотистые	319	149	75	4	19	—	100	50	60	—	4	—	36	65	4	4	1	1	1			
Криптофитовые	194	93	116	3	15	—	н.о.	332	367	10	332	114	155	19	3604	570	119	116				
	15196	117	142	9	8	80	1213	85	269	5	—	—	69	142	1470	68	135	164	113			
Динофитовые	23194	26	394	34	28	160	23051	187	829	10	—	—	—	321	722	360	203	174	85			
	1415	—	—	9	46	81	1330	—	—	—	7369	25	88	35	640	640	147	159	237			
Диатомовые	54443	—	—	63	78	185	115727	—	—	—	927060	53	159	147	12800	197	563	995				
	13	550	1872	2019	81	819	100	50541	8870	569	583	1063	425	1534	—	927	970	857				
Зеленые	10	256	1529	1232	40	710	19	30778	7184	451	3215	904	705	716	—	1431	1452	903				
	—	102	449	935	3359	349	—	719	6874	208	182	92	383	722	—	671	1797	282				
Эвгленовые	26	11	118	318	533	148	774	332	1876	239	1204	20	238	426	72	249	688	88				
	61	546	—	—	1	—	1213	60	—	—	146	—	—	14	—	—	—	—				
Всего	18026	935	2549	3073	5783	1329	3617	56109	18029	794	9416	1299	1238	2217	4496	2578	3449	1797				
	77911	589	2702	1669	796	1203	140462	33749	10927	703	931582	999	1528	1860	14958	2594	2891	2096				

Примечание. Прочерк — водоросли отсутствовали.

фитопланктона. Озеро Заверняиха отличается повышенным содержанием легкогидролизуемых органических веществ (ЛОВ) — от 40 до 80 % общего содержания органических соединений. Величина БПК₅ в течение года изменяется от 0,6 до 5,8, БПК₂₀ — от 2,0 до 12,1 мг С/л с максимумом в зимний период.

Динамика фитопланктона. Следуя работам А. П. Скабичевского [10], в состав фитопланктона включены только истинно и факультативно планктонные виды. За период исследований в оз. Заверняиха обнаружено 145 видов водорослей, которые по систематическим группам распределялись следующим образом: *Cyanophyta* — 20, *Chrysophyta* — 16, *Cryptophyta* — 13, *Dinophyta* — 5, *Bacillariophyta* — 26, *Euglenophyta* — 8, *Chlorophyta* — 59 (см. таблицу).

Рассматривая сезонную динамику фитопланктона, остановимся подробнее на подледном периоде. В 2002 г. в марте в озере из криптофитовых водорослей доминировал один вид *Cryptomonas ovata*, его численность превышала 15 млн кл/л, а биомасса составляла 23,2 г/м³ [11]. Динофитовые водоросли представлены исключительно эндемиками Байкала — *Gymnodinium baicalense* Antip. и *Peridinium baicalense* Kiss. et Zwetkow. Они занимали 70 % общей массы планктона. Эти крупные организмы при их относительно невысокой численности (1,4 млн кл/л) образовали биомассу до 55 г/м³. Численность золотистых водорослей небольшая (до 200 тыс. кл/л), из них наиболее часто встречались *Dinobryon cylindricum* Jmh., *Chromulina tenera* Matv., *Chrysococcus biporus* Skuja. Общая численность фитопланктона составляла 18 млн кл/л, биомасса — 78 г/м³ (см. таблицу).

Уровень развития фитопланктона в 2003 г. был выше. Как и в предыдущем году, в огромном количестве развивался *Peridinium baicalense*, его биомасса достигала 116 г/м³, при этом отсутствовал *Gymnodinium baicalense*, доминирующий в 2002 г. Из криптофитовых водорослей в основном развивался *Cryptomonas rostrata Troitzkaja emend. I. Kiss*, его численность составляла 1,2 млн кл/л, биомасса — 23 г/м³. Характерно, что в 2002 г. этот вид полностью отсутствовал в озере. Из других групп следует отметить значительное развитие зимой 2003 г. зеленых водорослей. Среди них

интенсивно развивался *Monoraphidium griffithii* (Berk.) Komárková-Legnerová, численность которого превышала 600 тыс. кл/л, а также *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh.) Chodat — до 126 тыс. кл/л. Зеленые водоросли в это время были с ярко выраженными зелеными хлоропластами. Диатомовые водоросли практически отсутствовали. Общая численность фитопланктона составляла 3,6 млн кл/л, а биомасса превышала 140 г/м³.

Зимой 2004 г. видовой состав планктона вновь изменился — доминировали исключительно динофитовые водоросли, представленные *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium fuscum* (Ehr.) Stein. Последний вид впервые был зарегистрирован в озере в огромном количестве. Его численность достигала 292 тыс. кл/л, биомасса — свыше 600 г/м³. Большой вклад в биомассу привнесли и цисты этого вида (272 г/м³). Второе место занимал *Peridinium baicalense* (биомасса 14 г/м³). На долю динофитовых в 2004 г. приходилось 77 % численности и 99 % биомассы фитопланктона. Из эвгленовых заметную биомассу (0,5–0,6 г/м³) образовывали *Euglena acus* Ehr. и *E. longissima* Defl. Из диатомовых водорослей в значительном количестве развивалась *Symatopleura solea* (Breb.) W. Smith (до 2,6 г/м³). Золотистые водоросли представлены нанопланктонными видами. Общая численность фитопланктона составляла 9,4 млн кл/л, биомасса — 932 г/м³ (см. таблицу). В этом году отмечены различия в развитии водорослей по глубине, чего не регистрировалось в другие годы. Биомасса фитопланктона в придонном слое была в четыре раза меньше, чем в поверхностном.

Зимой 2005 г. фитопланктон так же был представлен в основном динофитовыми водорослями. При этом в озере доминировал один вид — *Gymnodinium baicalense*, и полностью отсутствовали *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium fuscum*. Кryptoфитовые водоросли малочисленны — не более 68 тыс. кл/л. Из золотистых водорослей в основном развивался *Chrysococcus biporus*, его численность превышала 3,5 млн кл/л. Общая численность фитопланктона за счет мелкоклеточных золотистых водорослей составила 4,5 млн кл/л; биомасса по сравнению с другими годами была самой низкой и не превышала 15 г/м³. Низкие величины биомассы были обусловлены отсутствием крупных представителей динофитовых *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium fuscum*, а также более слабым развитием *Gymnodinium baicalense*.

Таким образом, в подледный период в оз. Заверняиха наблюдается массовое развитие фитопланктона. Отмечены резкие межгодовые колебания видового состава, его численности и биомассы; определяющая роль в количественных показателях принадлежит динофитовым и криптофитовым водорослям.

Прохождение паводка по реке приводит к резкому изменению развития фитопланктона в озере — биомасса водорослей после зимнего максимума уменьшается на порядки. Резко меняется состав доминирующих видов. Весной и осенью первое место принадлежит диатомовым водорослям, среди которых преобладают мелкоклеточные центрические диатомовые из рода *Stephanodiscus* и *Cyclotella*. Летом лидирующее положение занимают зеленые водоросли, из них доминируют виды *Monoraphidium*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Actinastrum* и др. В период открытого русла криптофитовые и динофитовые водоросли по сравнению с подледным периодом развиваются в небольшом количестве (см. таблицу).

ОБСУЖДЕНИЕ

Каковы же причины интенсивного «цветения» подледного фитопланктона? В Байкале толчком к развитию водорослей служат естественное накопление биогенных элементов, увеличение освещенности и начинающееся прогревание воды подо льдом [12–15]. Анализ полученных результатов показал, что стимулом к развитию водорослей подо льдом в оз. Заверняиха также может служить повышение концентраций биогенных элементов. Рассматривая другие факторы, можно отметить благоприятное для развития водорослей соотношение концентраций минеральных форм азота и фосфора (около 11) в 2002 г. Зимой 2003 г. в воде наметился недостаток фосфора, отношение N/P увеличилось до 25. При этом изменилось соотношение преобладающих видов: в основном развивался один вид *Peridinium baicalense*. Зимой 2004 г. регистрируется нарастание дефицита минерального фосфора (отношение N/P равнялось 63), в этот период в планктоне доминируют исключительно динофитовые водоросли *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium fuscum*.

Ситуация по обеспечению фосфором и азотом несколько улучшилась в 2005 г., однако развитие планктона было наиболее низким за все годы наблюдений. В составе фитопланктона доминировал один вид *Gymnodinium baicalense*. Рассматривая влияние кремния на развитие фитопланктона можно сказать, что его концентрации не могут лимитировать развитие водорослей в оз. Заверняиха, так как в течение года остаются высокими (min 1,6 мг/л, max 6,3 мг/л). Таким образом, полагаем, что на развитие водорослей в оз. Заверняиха и их видовое разнообразие в разные зимы влияет содержание в воде питательных веществ, а именно содержание фосфора и соотношение N/P.

Интересно отметить, что интенсивное развитие подо льдом фитопланктона и, соответственно, накопление огромной биомассы не приводят к ухудшению газового режима водоема. Наоборот, концентрация растворенного в воде кислорода по всей глубине высокая. Его относительное содержание у поверхности достигает 108 % насыщения, у дна — до 100 %. Сероводородного заражения, которое часто наблюдается в водоемах при повышенной концентрации легкогидролизуемого органического вещества (ЛОВ), в оз. Заверняиха не наблюдалось. Полагаем, что высокое содержание в воде озера ЛОВ (5,8–12,1 мг С/л) может способствовать интенсификации размножения динофитовых водорослей, которые являются миксотрофами [16].

Несмотря на заснеженность и значительную толщину льда хлоропласты водорослей остаются яркозелеными. В воде озера при высоком содержании ЛОВ отмечена повышенная концентрация органического фосфора (от 0,02 до 0,14 мг Р/л), и при миксотрофном питании водорослей органические соединения могут компенсировать дефицит минерального фосфора. Динамика концентрации органического фосфора в воде близка к таковой ЛОВ и фитопланктона (см. рис. 4), но прямая корреляция между этими показателями регистрируется не всегда.

В период наблюдений по мере снижения водности минерализация воды в озере постепенно повышалась: зимой 2002 г. она составляла 205 мг/л, 2003 г. — 274, 2004 г. — 269 и 2005 г. — 295 мг/л, однако эти небольшие изменения минерализации повлиять на развитие подледного планктона или изменение его видового состава, вероятно, не могут.

К другим факторам, обеспечивающим массовое развитие водорослей в оз. Заверняиха, следует отнести изолированность водоема зимой, что препятствует выносу водорослей из озера, а также большой темп деления клеток у динофитовых. В оз. Байкал время генерации *Gymnodinium baicalense* подо льдом составляло от 19 до 98 ч [17]. Исходя из биомассы водорослей, увеличивающейся подо льдом оз. Заверняиха, можно полагать, что скорость размножения в нем не менее интенсивная, чем в Байкале. Кроме того, накоплению биомассы фитопланктона способствовали низкие скорости деструкционных процессов в подледный период.

Таким образом, в разные зимы абиотические факторы в озерной воде существенно изменялись, вероятно, в комплексе влияя на видовой состав и численность фитопланктона.

Как отмечалось выше, после вскрытия озера ото льда характер фитопланктона резко меняется. По сравнению с зимой биомасса фитопланктона снижается на два-три порядка (см. таблицу). В межгодовом аспекте выделяется 2003-й год, который был экстремально маловодным, отличался по количественным показателям и видовому составу. Наблюдаемые в мае–июне этого года численность и биомасса фитопланктона были выше, чем в 2002, 2004, 2005 гг. в 57–34 раза. Однако в июле произошел резкий спад в развитии фитопланктона (см. рис. 4), чего не наблюдалось в другие годы. Вероятно, этому способствовал длительный дефицит азота и фосфора в воде; их концентрация уже в мае снизилась до минимума. Отношение N/P колебалось от 5 до 7, что указывало на дефицит азота.

В отличие от других лет, в 2002–2003 гг. значительное развитие получили зеленые и синезеленые водоросли, последние способны использовать для своего развития азот из воздуха. Обеспечение же фосфором осуществлялось, вероятно, за счет регенерируемых фосфатов. В результате спада развития водорослей, снижения их биомассы, а также низкого стока с водосбора произошло снижение общего содержания органических соединений в воде в июле (см. рис. 3), что также не характерно для р. Селенги.

В период открытой воды в озере выявлена высокая корреляционная связь между концентрацией NO_3^- и PO_4^{3-} и биомассой фитопланктона (коэффициент корреляции равнялся $-0,80$ и $-0,63$ соответственно). Между концентрацией кремния и биомассой фитопланктона корреляция отмечена только в 2003 г. ($-0,7$). В целом изменение содержания кремния в воде зависит от сезонных изменений водности.

Рассматривая развитие фитопланктона оз. Заверняиха можно констатировать, что по величинам биомассы это озеро зимой относится к гипертрофным водоемам, а в открытый период, как правило, к мезотрофному типу, за исключением экстремально маловодных лет, когда водоем приобретает черты высокоэвтрофного (2003 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что в оз. Заверняиха в зимний период при значительной толщине льда и снега в массе развиваются различные группы водорослей. Наиболее мощное «цветение» воды обуславливают динофитовые — эндемики Байкала — *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium baicalense*. Уровень развития фитопланктона в период исследований достигал величин, характерных для гиперэвтрофных водоемов.

Основными факторами, определяющими массовое развитие водорослей подо льдом, являются: изолированность водоема, благоприятный газовый режим и соотношение биогенных элементов, повышенное содержание ЛОВ, высокий темп деления динофитовых водорослей. В период открытой воды на развитие водорослей и динамику концентраций химических компонентов большое влияние оказывает водность: наиболее интенсивное развитие водорослей происходит при низких расходах воды. Выявлена высокая корреляционная связь между изменением концентраций биогенных элементов, численностью и биомассой фитопланктона.

В настоящее время остается открытым вопрос: как попали в оз. Заверняиха байкальские эндемичные виды динофитовых водорослей? В качестве первой гипотезы можно предположить, что динофитовые водоросли (*Gymnodinium baicalense* и *Peridinium baicalense*) обладают широкой экологической валентностью и так же, как отдельные представители криптофитовых водорослей (*Cryptomonas ovata*), они могут жить в разных по качеству воды водоемах, представляя собой отдельные популяции. Также не исключено, что в отдельные временные периоды озеро соединялось с Байкалом и байкальские эндемики адаптировались к новым условиям среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (09–05–01102–а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Район дельты р. Селенги / Ред. А. Н. Антипов. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. — 148 с.
2. Кузьмин В. Г. Фитопланктон // Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. — С. 73–87.
3. Кожова О. М., Мельник Н. Г. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1978. — 51 с.
4. Макарова И. В., Пичкилы Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботан. журнал. — 1970. — Т. 55, № 10. — С. 1488–1494.
5. Барам Г. И., Верещагин А. Л., Голобокова Л. П. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Аналит. химия. — 1999. — Т. 54, № 9. — С. 962–965.
6. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 534 с.
7. Wetzel R. G., Gene E. Likens. Limnological Analyses. — New York: Springer Verlag, 1991. — 391 p.
8. Синюкович В. Н., Жарикова Н. Г., Жариков В. Д. Сток реки Селенги в ее дельте // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 3. — С. 64–69.
9. Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / Под ред. А. К. Тулохонова, А. М. Плюснина. — Новосибирск: Наука, 2008. — 311 с.
10. Скабичевский А. П. Планктонные диатомовые водоросли пресных вод СССР. Систематика, экология, распространение. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. — 349 с.
11. Сороковикова Л. М., Поповская Г. И., Синюкович В. Н. и др. Химический состав воды и фитопланктон водных объектов дельты р. Селенги в подледный период // Водн. ресурсы. — 2006. — Т. 33, № 3. — С. 349–356.
12. Бондаренко Н. А. Экология и таксономическое разнообразие планктонных водорослей в озерах горных областей Восточной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Борок, 2009. — 46 с.
13. Кожова О. М. О подледном «цветении» оз. Байкал // Ботан. журнал. — 1959. — Т. 44, № 7. — С. 1001–1004.
14. Поповская Г. И., Вотинцев К. К. Продукция байкальских перидиней // Докл. АН СССР. — 1967. — Т. 172, № 5. — С. 1193–1196.
15. Антипова Н. Л. Новые виды рода *Gymnodinium* (*Gymnodiniaceae*) Stein из оз. Байкал // Докл. АН СССР. — 1955. — Т. 103, № 2. — С. 325–328.
16. Бондаренко Н. А., Щур Л. А. *Cyanophyta* планктона небольших водоемов Восточной Сибири (Россия) // Альгология. — 2007. — Т. 17, № 1. — С. 26–41.
17. Поповская Г. И. Фитопланктон глубочайшего озера мира // Труды ЗИН АН СССР. — 1987. — Т. 172. — С. 107–115.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.