



УДК 574.592

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.25.91>

Спектр питания моллюсков и ручейников в условиях массового развития в озере Байкал харофитовых водорослей рода *Spirogyra* (Zygnematorphyceae, Charophyta)

Н. А. Рожкова, Н. А. Бондаренко, Т. Я. Ситникова

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

E-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Аннотация. Получены первые данные об особенностях питания эндемичных и неэндемичных ручейников (изучены три эндемичных вида и один вид-вселенец) и моллюсков (один эндемичный вид и один вселенец) в условиях массового развития на каменистых субстратах литорали оз. Байкал несвойственных озеру харофитовых водорослей рода *Spirogyra*. Исследованы спектры питания этих беспозвоночных в сравнении с данными, полученными ранее. Компонентный состав пищи эндемичных ручейников и гастропод указывает на то, что они поглощают обрастание как недифференцированную массу, соскабливая ротовыми органами верхний его слой. В пользу этого свидетельствует присутствие в пищевых комках спикул губок, хитиновых фрагментов тел других беспозвоночных. Установлено, что, несмотря на преобладание в обрастании спирогиры (до 60 % проективного покрытия), доминирующим компонентом пищи, как и ранее, являются диатомовые водоросли, которые до недавнего времени составляли основу перифитона в первых растительных поясах каменистого мелководья. Как показывает анализ, исследованные беспозвоночные в зарослях спирогиры питаются менее интенсивно, чем на камнях, не обросших спирогирой. У 58 % личинок ручейников пищеварительные тракты были пустыми, остальные содержали небольшое количество пищи, а у гастропод на 80–90 % заполнены песком. Выяснено, что беспозвоночные могут потреблять спирогиру, однако поскольку эти водоросли несвойственны в качестве пищевого объекта для байкальских организмов, то встречаются в желудках редко и являются случайным объектом питания. Беспозвоночные не гибнут после потребления спирогиры, но покидают места массового развития водорослей по другой причине, которая требует специального исследования.

Ключевые слова: моллюски, ручейники, спирогира, спектр питания, озеро Байкал.

Для цитирования: Рожкова Н. А., Бондаренко Н. А., Ситникова Т. Я. Спектр питания моллюсков и ручейников в условиях массового развития в озере Байкал харофитовых водорослей рода *Spirogyra* (Zygnematorphyceae, Charophyta) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 25. С. 91–105. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.25.91>

Введение

Одним из первых симптомов эвтрофирования озёр является нарушение структуры доминирующих видов прибрежных макроводорослей и макрофитов, при этом выяснено, что наиболее восприимчивыми к изменениям окружающей среды оказались харофитовые [De Nie, 1987; Reynolds, 2006].

Именно так в настоящее время произошло и в озере Байкал [Нарушение вертикальной..., 2012; Массовое развитие..., 2014], где была нарушена зональность в распределении макроводорослей прибрежной зоны и отмечено интенсивное развитие несвойственных озеру харофитовых водорослей рода *Spirogyra*.

Ранее было известно, что особенностью прибрежной зоны Байкала являлась ярко выраженная зональность в распределении донных макроводорослей, образующих на определённой глубине скопления (в виде поясов), при доминировании одного-двух видов [Мейер, 1930; Ижболдина, 2007]. Первые три пояса расположены в литоральной зоне и занимают глубины от 0 до 10–15 м, реже более. Основная масса водорослей развивается здесь начиная с весеннего периода и до осени. Первые нарушения зональности и массовое развитие водорослей рода *Spirogyra* sp. на глубинах от 2,5 до 5 м были зарегистрированы в летний период 2011 г. в заливах Лиственничный [Нарушение вертикальной..., 2012] и Бол. Коты [Таксономический список..., 2012]. Позже эти процессы были выявлены на глубинах от 0,3 до 3,0 м по всему восточному побережью и в большей части западного [Массовое развитие..., 2014; Rapid ecological..., 2016]. Ранее в открытом Байкале нити спирогиры практически не встречались [Ижболдина, 2007].

Изменения произошли и в составе микрофитобентоса каменистой литорали: в зал. Лиственничный в 2015 г. выявлено обеднение видового разнообразия макроводорослей, исчезновение из состава массовых видов ранее доминантных и субдоминантных байкальских эндемиков [Изменения микрофитобентоса..., 2017].

Происходящие перестройки меняют условия существования беспозвоночных. Анализ многолетних данных показал, что на участках разрастания спирогиры произошли изменения в структуре макрозообентоса каменистой литорали юго-западного побережья озера: снизилась доля эндемичных гастропод и ручейников, увеличилась численность несвойственных открытому Байкалу представителей этих групп беспозвоночных [Abrupt changes..., 2016]. Так, лимнеиды до 1962 г. обитали только в прибрежно-соровой зоне озера [Кожов, 1962], в настоящее же время повсеместно населяют открытую литораль до глубины 18 м [Palaeartic gastropod..., 2004; наши данные]. Значительное распространение в литорали озера получил и массовый в р. Ангаре вид ручейников *Apatania majuscula* McL.

Эндемичные моллюски и ручейники наряду с амфиподами являются доминирующими группами макрозообентоса каменистой литорали Байкала. Обе группы – оксифильные организмы, чувствительные к изменению содержания кислорода. В отличие от подвижных амфипод они менее мобильны и сильнее связаны с субстратом. Личинки ручейников семейства Apataniidae (эндемичные и палеарктические), эндемичные брюхоногие моллюски рода *Choanomphalus* семейства Planorbidae и палеарктический вид лёгочных гастропод *Radix auricularia* (Linnaeus) семейства Lymnaeidae обладают специализированным ротовым аппаратом скребущего типа и соскабливают обрастания с поверхности различных субстратов. Основная пища гастропод-

соскребателей, населяющих каменистые грунты Байкала, состоит обычно из перифитона и детрита, включающего осевший на дно планктон [Observation on..., 2003; Shirokaya, 2003]. Пищу личинок ручейников сем. Apataniidae в естественных условиях составляют микро- и микофлора перифитона [Лепнева, 1964]. Вышеописанные перестройки в структуре фитобентоса изменили и кормовую базу этих беспозвоночных.

Известно, что спирогира играет значительную роль в пищевых ресурсах водоёмов и в разной степени потребляется многими беспозвоночными и рыбами [Липеровская, 1948; Кренке, 1963; 1965; Леванидов, 1964; Монаков, 1998; Комулайн, 2003; Zebek, Szymanska, 2014]. Например, в рационе близкого к байкальским эндемикам ручейника *Apatania zonella* Zett. из притока р. Оби преобладали из зелёных *Spirogyra*, а из диатомовых *Synedra ulna* и *Meridion circulare* [Шарапова, Семенова, 2003].

В связи с вышеизложенным, мы поставили целью данной работы выяснить, питаются ли эндемичные и неэндемичные беспозвоночные озера спирогирой, на примере ручейников и моллюсков, и оценить их пищевые спектры.

Материал и методы

Объектами исследований являлись следующие беспозвоночные: лёгочные брюхоногие моллюски (Gastropoda) – эндемичный *Choanomphalus amauronius* Bourguignat (сем. Planorbidae) и палеарктический *Radix (Lymnaea) auricularia* Linnaeus (сем. Lymnaeidae), а также ручейники (Trichoptera) – личинки эндемичных видов *Baicalina bellicosa* Martynov, *Thamastes dipterus* Hagen, *Baicalinella foliata* Martynov и вселенца *Apatania majuscula* McLachlan.

Гастроподы и личинки ручейников собраны с помощью лёгкой водолазной техники с каменистого субстрата литорали западного побережья Южного Байкала (глубины 1,5–7 м) в течение двух периодов на близкорасположенных участках: в условиях естественного состояния озера (весна–лето 2000–2001 гг.) на полигоне у м. Берёзовый и в условиях массового развития нитчаток (июнь 2014 г.) в зал. Лиственничный. Беспозвоночных и обрастания собирали (соскребали с помощью скальпеля) с одних и тех же камней, промывали чистой водой и фиксировали 4%-ным раствором формальдегида. Для сравнительного анализа спектра питания моллюсков до периода массового развития спирогиры использовали опубликованные данные [Observation on..., 2003; Shirokaya, 2003; Patterns of diatom ... ,2014].

Анализ спектра питания проводили методом вскрытия пищеварительного тракта беспозвоночных под бинокулярным микроскопом МБС-1 (ЛЮМО, Россия). В общей сложности было исследовано 157 личинок ручейников, в том числе 36 личинок с камней обросших спирогирой и 18 особей моллюсков, собранных с тех же камней. Ограниченный объём материалов с камней, обросших спирогирой, обусловлен низкой численностью ручейников и моллюсков на них. Состав водорослей в обрастании и содержимое желудков изучали с использованием светового микроскопа Peraval Interphako (Carl Zeiss, Германия) при увеличении $\times 720$ и $\times 1200$. Содержимое желудков

микроскопировали, помещая на предметное стекло в каплю воды под покровное стекло. Для уточнения видового состава доминирующих видов диатомовых водорослей использовали постоянные препараты, прокаливая створки и помещая их в синтетическую смолу Naphrax. Подсчитывали количество пищевых объектов и частоту встречаемости (%) каждого из них.

Результаты и обсуждение

Исследование питания ручейников в разные сезоны года (март 2000 – июнь 2001 г.) показало, что активно питаются личинки всех возрастов, кроме старшего – предкуколичного, когда личинка прикрепляет домик к камню и прекращает питаться. Компонентный состав пищи в рассматриваемый период включал перифитонные и планктонные водоросли, всего 20 таксонов, среди которых доминировали диатомеи – 75 % от общего числа таксонов, наиболее часто встречались представители родов *Cyclotella* (встречаемость 33–79 %), *Rhoicosphenia* (33–75 %), *Gomphonema* (42–71 %), *Synedra* (45–67 %), *Navicula* (27–58 %), *Cymbella* (25–50 %), *Cocconeis* (42–55 %), *Amphora* (8–50 %). Очевидно, высокое содержание диатомовых в пище личинок ручейников было связано с преобладанием этих водорослей в перифитоне каменистой литорали Байкала в течение всего вегетационного сезона. С марта до середины мая в рационе преобладала планктонная *Aulacoseira*, встречаемость которой составляла 71–75 %. В кишечниках одних особей присутствовали 2–3 клетки аулакозейр (рис. 1, А), кишечники других были плотно заполнены нитями этой водоросли, среди которых находились отдельные клетки бентосных диатомовых (рис. 1, Б).

В то же время нити доминирующего в обрастающих *Ulothrix zonata* в значительном количестве обнаружены лишь в кишечниках двух особей. В сентябре 2000 г. в кишечнике единственной особи присутствовал комочек цианопрокариот. Кроме того, в пище встречались случайные компоненты: спикулы губок, фрагменты хитинизированных частей тела других беспозвоночных, домики инфузорий тинтинид (*Tintinnida*). Встречаемость последних в апреле 2000 г. достигала 33 %.

В кишечниках личинок, питающихся на одном камне, компонентный состав пищи может отличаться. Это обстоятельство некоторые авторы объясняют не только эффектом локальной неоднородности фитоперифитона, но и избирательностью питания [Комулайнен, 2006]. В целом видовое разнообразие потребляемой альгофлоры изменялось в течение года соответственно динамике разнообразия альгоценозов перифитона, что отмечают и другие исследователи [Комулайнен, 2003; Паньков, 2003]. Наибольшее наполнение кишечников ручейников наблюдали в весенние и летние месяцы – в сезон максимального развития фитоперифитона и планктона.

Различий в компонентном составе пищи разных видов ручейников, как и отдельных возрастных стадий личинок одного вида, не выявлено, но размерный состав клеток рациона обнаруживает зависимость от размеров личинок. Объемы клеток, потребляемые беспозвоночными, изменялись от 100 до 100 480 мкм³. Для мелких личинок первого-второго возраста характерно

питание мелкоклеточными формами *Nitzschia*, *Cocconeis* и *Navicula*, объем клеток которых колеблется от 200 до 2 000 мкм³. Некоторые различия в пищевых предпочтениях видов моллюсков были отмечены ранее [Patterns of diatom ... , 2014].

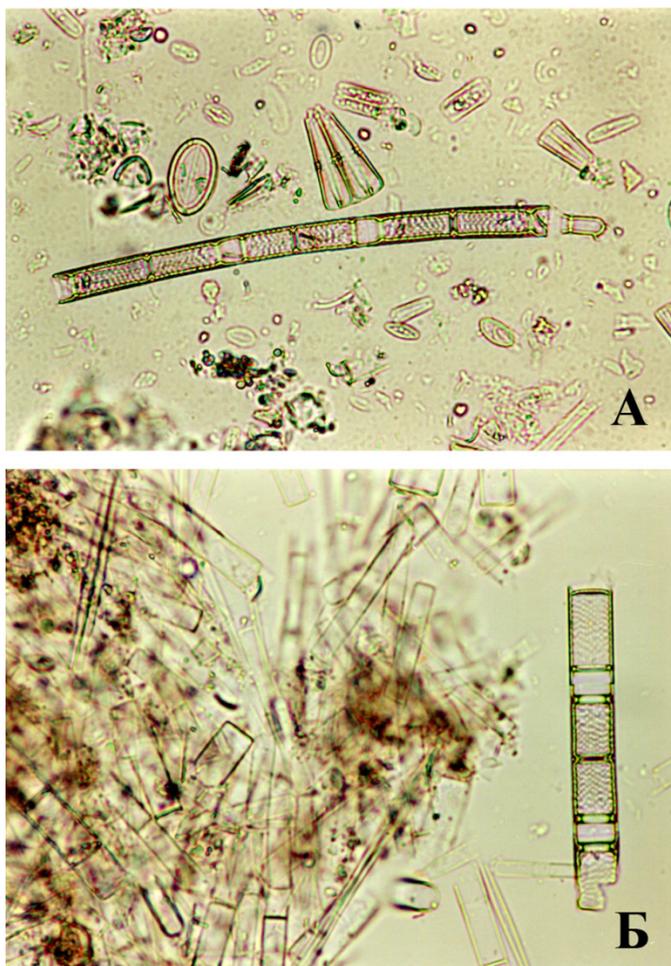


Рис. 1. Содержимое кишечника личинки ручейника *Baicalina bellicosa*: А – нить *Aulacoseira baicalensis* среди бентосных диатомовых; Б – скопления планктонных водорослей

В июне 2000 г. состав пищи гастропод *Ch. amauronius* был сходен с пищевым спектром ручейников: планктонные диатомовые водоросли в среднем составляли 77 %, бентосные – 22 %, присутствовали также цисты хризофитовых (0,1 %), пыльца наземных растений (0,3 %), спикулы губок (0,3 %) [Observation on ... , 2003]. Кишечники *R. auricularia* содержали главным образом мелкодисперсный детрит и песчинки грунта, в пищевом комке преобладали бентосные диатомовые со встречаемостью 100 %.

Летом 2014 г. в период массового развития спирогиры в зал. Лиственничный проективное покрытие камней спирогирой достигало 60 %, а улотриком – 20 %. На обросших нитчаткой каменных субстратах, количество ручейников и гастропод было на порядок меньше, чем на незаселённых ею [Abrupt changes..., 2016]. В этот период 48 % ручейников в пробах составляли куколки. У 58 % личинок, включая всех изученных особей вселенца *A. majuscula*, пищеварительные тракты были пустыми. В кишечниках питающихся личинок ручейников пищи было мало. Основу рациона в это время, как и ранее, составляли диатомовые водоросли (рис. 2), причём именно те виды, что доминировали в обрастании (табл.), наиболее часто встречался *Cocconeis placentula*. Осевшие из планктона диатомовые также присутствовали в составе пищи. Из нитчатых водорослей наиболее часто в виде небольших фрагментов встречался *U. zonata*. Фрагменты колониальных цианопрокариот, нити эдогониума и спирогиры отмечены спорадически. В то же время на участках литорали, не занятых спирогирой, кишечники ручейников оказались плотно заполнены пищей, состоящей из разнообразных планктонных и бентосных диатомовых (8–9 видов в кишечнике одной особи), золотистых водорослей и их цист.

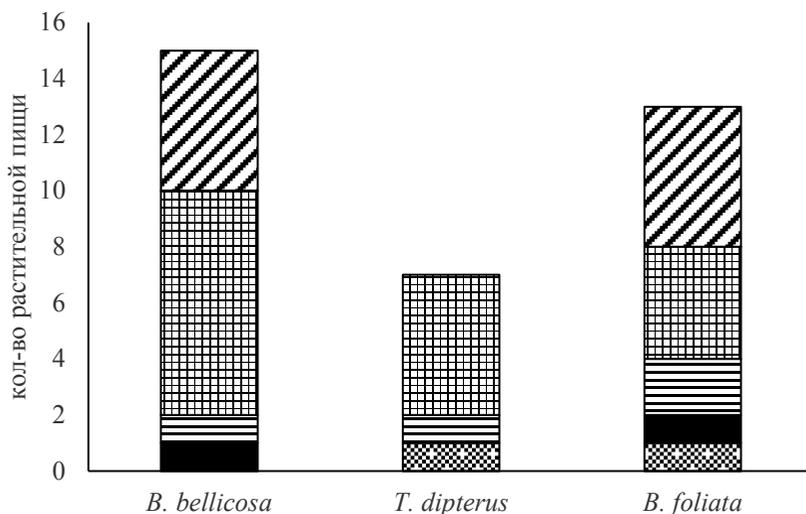


Рис. 2. Соотношение числа видов в составе растительных компонентов из кишечника ручейников, обитающих в зарослях спирогиры. Условные обозначения:  – Bacillariophyta (планктонные);  – Bacillariophyta (бентосные);  – Charophyta;  – Chlorophyta;  – Цианопрокариота

Непосредственно в зарослях спирогиры и рядом на каменистом субстрате, где присутствовали её единичные нити, содержимое кишечника всех моллюсков (хоаномфалусов и лимнейд) на 80–90 % состояло из песчинок грунта. В пищевых комках только двух особей *Ch. amauronius* присутствовали нити спирогиры, причём у экземпляра, собранного с субстрата с единичными нитями спирогиры, число нитей оказалось в 7 раз больше, чем у особи, найденной в зарослях этой водоросли.

Таблица

Компоненты пищи и частота их встречаемости в кишечниках беспозвоночных в период массового развития спирогиры

Компоненты	Таксоны водорослей	Частота встречаемости, %		
		Ручейники	Моллюски	
			<i>Choanomphalus</i>	<i>Lymnaea</i>
Бентосные водоросли	Chlorophyta	14	60	57
	<i>Stigeoclonium tenue</i>	0	10	0
	<i>Ulothrix zonata</i>	11	50	57
	<i>Oedogonium</i> sp.	3	0	14
	Charophyta	6	20	0
	<i>Spirogyra</i> sp.	6	20	0
	Bacillariophyta	53	100	100
	<i>Achnantes</i> sp.	7	20	29
	<i>Cocconeis placentula</i>	53	100	100
	<i>Cymbella</i> spp.	17	100	100
	<i>Diatoma mesodon</i>	7		14
	<i>Didymosphenia geminata</i>	0	80	57
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	6	70	86
	<i>Gomphonema</i> spp.	19	100	100
	<i>Hannaea baicalensis</i>	0	40	87
	<i>Navicula</i> spp.	22	100	86
	<i>Nitzschia</i> spp.	0	100	71
	<i>Rhoicosphaenia</i> sp.	0	10	0
	<i>Synedra</i> spp.	6	20	29
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	0	20	29
Chrysophyta	0	0	14	
<i>Dermatochrysis reticulata</i>	0	0	14	
Cyanoprokaryota	6			
Планктонные водоросли	<i>Asterionella formosa</i>	0	30	14
	<i>Aulacoseira baicalensis</i>	8	40	43
	<i>Cyclotella minuta</i>	8	50	43
	<i>Stephanodiscus</i> sp.	7	0	0
	<i>Synedra acus</i> subsp. <i>radians</i>	33	50	86
	цисты золотистых	0	0	29
	<i>Monoraphidium contortum</i>	0	30	0
Песчинки		0	100	100
Спикулы губок		0	100	100
Пыльца сосны		0	10	43

Среди растительных компонентов пищи хоаномфалусов и лимнеид на участках в зарослях спирогиры и свободных от неё доминировали бентосные диатомовые водоросли (69–93 % у лимней и 94–96 % у хоаномфалусов) (рис. 3).

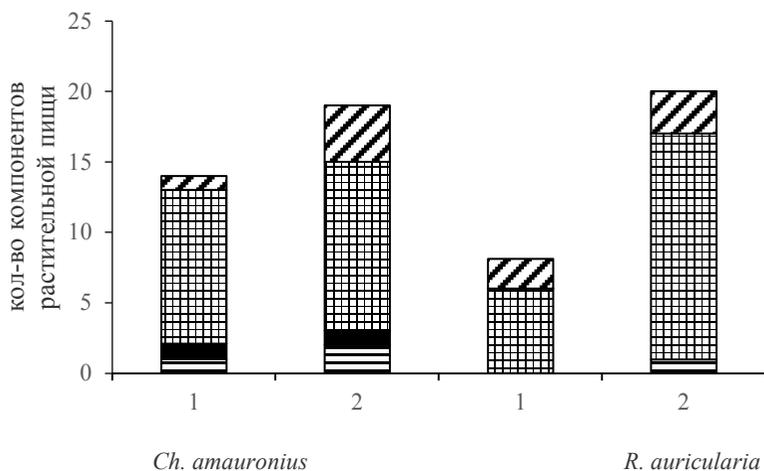


Рис. 3. Соотношение числа видов в составе растительных компонентов пищи гастропод, обитающих в зарослях (1) и вне зарослей спирогиры (2). Условные обозначения: – Bacillariophyta (планктонные); – Bacillariophyta (бентосные); – Charophyta; – Chlorophyta

Среди диатомей доминировали: *Gomphonema* sp. с долей 27 % у хоаномфалусов и 30 % у лимней, обитавших в зарослях спирогиры. Большую долю в пище гастропод на этом участке также составили водоросли рода *Symbella* (26 % у лимней) и *Cocconeis* (27 % у хоаномфалусов). В обрастающих без спирогиры в пище *Choanomphalus* доминировала *Gomphonema* sp. (31 %), тогда как у лимней её доля составила всего 7 %, преобладали же нитчатые зелёные водоросли *U. zonata* (30 %). В пище гастропод обоих видов планктонные водоросли составили незначительную долю, при этом они вовсе отсутствовали у хоаномфалусов, обитавших в зарослях спирогиры.

Также выявлены различия в количественных характеристиках растительных компонентов в пищевых комках гастропод, населявших заросли спирогиры и на лишённом её субстрате. В первом случае растительная пища у хоаномфалусов была представлена в среднем 175 клетками, принадлежащими к 14 таксонам видового и родового рангов, а у лимней – соответственно 29 из 8 таксонов. На камнях без спирогиры количество клеток водорослей в кишечнике в среднем составляет у хоаномфалусов 245 из 19 таксонов, а у лимней – 203 из 20 таксонов.

Кроме идентифицируемых растительных компонентов, в пищевом комке хоаномфалусов и лимней в единичных количествах обнаружены цисты золотистых водорослей, пыльца наземных растений и спикулы губок.

По отношению к спирогире как пищевому объекту гастроподы ведут себя по-разному: одни питаются ею и образуют на ней скопления, например, *Stagnicola reflexa* (Lymnaeidae) [Bovbjerg, 1965], другие (некоторые Planorbidae), питаются спирогирой, растут медленнее по сравнению с особями, потребляющими иную растительность и имеют более высокий процент смертности [Effect of some..., 2005].

Компонентный состав пищи эндемичных ручейников и гастропод указывает на то, что они поглощают обрастания как недифференцированную массу, соскабливая ротовыми органами их верхний слой. В пользу этого свидетельствует присутствие в пищевых комках спикул губок, хитиновых фрагментов тел других беспозвоночных и прочих объектов. В то же время доминирующим компонентом спектров питания исследованных беспозвоночных являются диатомовые водоросли, которые доминируют как в опускающемся планктоне, так и в обрастаниях камней литорали Байкала и являются наиболее питательным кормом. Известно, что именно в диатомовых как морских, так и пресноводных, велико содержание липидов, необходимых для жизнедеятельности их потребителей [Freshwater diatoms ... , 2012; McGinnis et al., 1997].

Многие нитчатые водоросли используются беспозвоночными как субстраты, с которых можно соскабливать обрастания. Так, талломы *U. zonata* покрыты мощными обрастаниями разнообразных диатомовых. Беспозвоночные поедают как субстрат, так и обрастания. Нити *Spirogyra* в Байкале практически не имеют обрастаний. Возможно, причиной этого является её элементный состав: она значительно превосходит другие водоросли по содержанию натрия, хлора и целого ряда микроэлементов – Li, Al, Si, Mn, Co, Zn, Y, I, Ba, Pb, редкоземельных элементов. Отмечено очень высокое содержание Ba, не характерное ни для пресноводных, ни для морских организмов [Определение элементного ... , 2017]. Кроме того, имеются сообщения о том, что некоторые виды рода спирогиры выделяют пентагаллоглюкозу, ингибитор альфа-глюкозидаз [Cannell, Farmer, Waller, 1988]. Этот ингибитор способен тормозить разложение полисахаров на составляющие, препятствуя их усвоению в кишечнике, и обладает антибактериальной активностью. Среди протестированных видов рода некоторые обитают в Байкале [Volkova, Bondarenko, Timoshkin, 2018]. Спирогира также выделяет в водную среду содержащиеся в ней альгицидные таниноподобные дубильные вещества [Nishizawa, 1985].

Заключение

Фитоперифитон каменистой литорали и осевшие планктонные водоросли оз. Байкал круглогодично обеспечивали ручейникам и моллюскам (беспозвоночным-соскребателям) возможность потребления нужного корма при недифференцированном захвате пищи. Пищевые качества обрастаний, их доступность и обилие способствовали привыканию к потреблению данного вида пищи, т. е. «отработанности технологии» питания ими. В современных условиях, несмотря на преобладание в обрастаниях нитчатых водорослей рода *Spirogyra*, доминирующим компонентом пищи этих беспозвоночных, как и ранее, являются диатомовые водоросли. Как показывают результаты анализа, исследованные беспозвоночные в зарослях спирогиры питаются менее интенсивно, чем на камнях без спирогиры. У 58 % личинок ручейников пищеварительные тракты были пустыми, остальные содержали небольшое количество пищи, а у гастропод на 80–90 % заполнены песком.

Ручейники и моллюски могут потреблять водоросли рода *Spirogyra*, однако последние встречаются в их кишечниках очень редко, будучи непривычным пищевым объектом для байкальских организмов. Беспозвоночные не гибнут после потребления спирогиры, но покидают места массового развития водорослей по другой причине, которая требует специального исследования.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории биологии водных беспозвоночных ЛИИ СО РАН за помощь в сборе материалов и В. К. Евстафьеву за перевод аннотации.

Работа выполнена в рамках госзадания НИР Лимнологического института СО РАН, проект 0345-2016-0009. Подготовка публикации частично поддержана проектом РФФИ № 15-29-02515.

Список литературы

Ижболдина Л. А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. Новосибирск : Наука-Центр, 2007. 248 с.

Изменения микрофитобентоса в Лиственничном заливе оз. Байкал / Г. В. Помазкина, Е. В. Родионова, Т. А. Щербакова, И. В. Ханаев // Альгология. 2017. Т. 27, № 1. С. 65–73. doi.org/10.15407/alg27.01.064

Кожов М. М. Биология озера Байкал. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 315 с.

Комулайнен С. Ф. Водоросли в питании водных беспозвоночных типичных для эпилимнтона небольшой реки // Трофические связи в водных сообществах и экосистемах : материалы Междунар. конф. Борок. 2003. С. 147–148.

Кренке Г. Я. Видовой состав и пищевые взаимоотношения населения нитчатых зеленых водорослей стоячих водоемов // Тр Всесоюз. гидробиол. о-ва. Т. 14. Природа биологических помех в водоснабжении. М. : Изд-во АН СССР, 1963. С. 252–262.

Кренке Г. Я. Сообщество нитчатых зеленых водорослей и их роль в питании беспозвоночных прибрежья стоячих водоемов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. : МГУ, 1965. 16 с.

Леванидов В. Я. Значение аллохтонного материала как пищевого ресурса в водоеме на примере питания водяного ослика (*Asellus aquaticus* L.) // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. 1949. Т. 1. С. 100–117.

Лепнёва С. Г. Ручейники. Личинки и куколки подотряда кольчатощупиковых (Annullipalpia) // Фауна СССР. Т. 2, вып. 1. М. ; Л. : Наука, 1964. 563 с.

Липеровская Е. С. О питании пресноводных Ostracoda // Зоол. журн. 1948. Т. 27, № 2. С. 125–136.

Массовое развитие зелёных нитчатых водорослей родов *Spirogyra* Link и *Stigeoclonium* Kütz. (CHLOROPHYTA) в прибрежной зоне Южного Байкала / О. А. Тимошкин, Н. А. Бондаренко, Е. А. Волкова, И. В. Томберг, В. С. Вишняков, В. В. Мальник // Гидробиол. журн. 2014. Т. 50, №5. С. 15–26.

Мейер К. И. Введение во флору водорослей оз. Байкал // Бюл. МОИП. 1930. Т. 39, № 3–4. С. 179–392.

Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных. М. : ИПЭЭ РАН, 1998. 319 с.

Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничного озера Байкал / Л. С. Кравцова, Л. А. Ижболдина, И. В. Ханаев, Г. В. Помазкина, В. М. Домышева, О. С. Кравченко, М. А. Грачев // ДАН. 2012. Т. 447, № 2. С. 227–229.

Определение элементного состава бентосных макроводорослей для индикации качества воды мелководной зоны залива лиственничного (Южный Байкал) / Н. Н. Куликова, Е. П. Чебыкин, Е. А. Волкова, Н. А. Бондаренко, Е. Н. Воднева, А. Н. Сутурин //

Международ. науч.-исслед. журн. 2017. Т. 66, № 12. С. 166–176.
<https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.052>

Паньков Н. Н. Значение водорослевых обрастаний в питании беспозвоночных р. Сылвы (Пермское Прикамье) // Трофические связи в водных сообществах и экосистемах: материалы междунар. конф. Борок. 2003. С. 97–98.

Таксономический список макроводорослей прибрежной зоны бухты Большие Коты и залива Лиственничный (Южный Байкал) / В. С. Вишняков, О. А. Тимошкин, Л. А. Ижболдина, Е. А. Волкова, Е. П. Зайцева // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2012. Т. 5, № 3. С. 147–159.

Шарапова Т. А., Семенова Л. А. Питание личинок ручейников в р. Сось // Трофические связи в водных сообществах и экосистемах : материалы Междунар. конф. Борок, 2003. С. 158.

Abrupt changes in the macrozoobenthos communities of stony littoral in Lake Baikal under mass development of spirogyra green filamentous algae / N. A. Rozhkova, O. A. Timoshkin, A. V. Nepokrytkh, N. V. Maximova, N. A. Bondarenko // 3rd Int. Symp. Benthol. Soc. of Asia. Vladivostok, 2016. P. 103.

Bovbjerg R. V. Feeding and dispersal in the snail *Stagnicola reflexa* (Basommatophora: Lymnaeidae) // Malacologia. 1965. Vol. 2 (2). P. 199–207.

Cannell R. J. P., Farmer P., Waller J. M. Purification and characterization of pentagalloylglucose, an α -glucosidase inhibitor/antibiotic from the freshwater green alga *Spirogyra varians* // Biochem. J. 1988. Vol. 255. P. 937–941. <https://doi.org/10.1042/bj2550937>

De Nie A. W. The Decrease in Aquatic Vegetation in Europe and its Consequences for Fish Populations // EIFAC/CECPI Occasional Papers. 1987. N 19. Rome: Food and Agriculture Organisation. 88 p.

Effect of some algal species on the snail intermediate hosts of schistosomiasis in Egypt. II. Growth, infection and mortality rates / F. M. El-Assal, M. M. Shanab, A. A. Abou-El-Hassan, M. A. Mahmoud // Egypt. J. Phycol. 2005. Vol. 6. P. 93–109.

Freshwater diatoms as a source of lipids for biofuels / J. M. Graham, L. E. Graham, Sh. B. Zulkifly, B. F. Pflieger, S. W. Hoover, J. Yoshitani // J. Industr. Microbiol. 2012. Vol. 39, N 3. P. 419–428. <https://doi.org/10.1007/s10295-011-1041-5>

Komulaynen S. F. Diets of periphytonic invertebrates in a small river // Russ. J. Ecol. 2006. Vol. 37, N 5. P. 337–343.

McGinnis K. M., Dempster T. A., Sommerfeld M. R. Characterization of the growth and lipid content of the diatom *Chatoceros muelleri* // J. Appl. Phycol. 1997. Vol. 9, N 1. P. 19–24. <https://doi.org/10.1023/A:1007972214462>

Nishizawa M. Gallotannins of the freshwater green alga *Spirogyra* sp. // Phytochemistry. 1985. Vol. 24. P. 2411–2413. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83053-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83053-8)

Observation on Stomach Contents, Food Uptake and Feeding Strategies of Endemic Baikalian Gastropods / P. Ropstorf, T. Ya. Sitnikova, O. A. Timoshkin, G. V. Pomazkina // Berlin. Palaeobiol. Abhandl. 2003. Vol. 4. P. 151–156.

Palaeartic gastropod gains a foothold in the dominion of endemics: range expansion and morphological change of *Lymnaea (Radix) auricularia* in Lake Baikal / M. Stift, El. Michel, T. Sitnikova, E. Mamonova, D. Sherbakov // Hydrobiology. 2004. Vol. 513. P. 101–108. <https://doi.org/10.1023/B:hydr.0000018175.37771.d6>

Patterns of diatom treatment in two coexisting species of filter-feeding freshwater gastropods / T. Ya. Sitnikova, G. V. Pomazkina, T. A. Sherbakova, N. V. Maximova, I. V. Khanaev, Y. S. Bukin // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2014. Vol. 413, N 08. P. 1–9. <http://www.kmaejournal.org>. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014003>

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger / O. A. Timoshkin, D. P. Samsonov, M. Yamamuro, M. V. Moore, O. I. Belykh, V. V. Malnik, M. V. Sakirko, A. A. Shirokaya, N. A. Bondarenko, V. M. Domysheva, G. A. Fedorova, A. I. Kochetkov, A. V. Kuzmin, A. G. Lu-

khnev, O. V. Medvezhonkova, A. V. Nepokrytykh, E. M. Pasynkova, A. E. Poberezhnaya, N. V. Potapskaya, N. A. Rozhkova, N. G. Sheveleva, I. V. Tikhonova, E. M. Timoshkina, I. V. Tomberg, E. A. Volkova, E. P. Zaitseva, Yu. M. Zvereva, A. B. Kupchinsky, N. A. Bukshuk // J. Great Lakes Res. 2016. Vol. 42. P. 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>

Reynolds C. S. Ecology of phytoplankton. Cambridge Univ. Press. 2006. 535 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>

Shirokaya A. A. Post-Embrional Growth and Feeding of Baikal Endemic Limpets (Gastropoda, Pulmonata, Acroloxidae) // Environmental Change in Central Asia : Abstracts Int. Symp. Berlin: Freie Universitat Berlin. 2003. P. 104.

Volkova E. A., Bondarenko N. A., Timoshkin O. A. Morphotaxonomy, distribution, and abundance of *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Charophyta) in Lake Baikal, East Siberia // Phycologia. 2018. Vol. 57, N 3. P. 298–308. <https://doi.org/10.2216/17-69.1>

Zebek E., Szymanska U. Gastropods and periphytic algae relationships in the vicinity Szymanska of a small hydroelectric plant on the Palsleka River in northeast Poland // Arch. Pol. Fish. 2014. Vol. 22. P. 69–80. <https://doi.org/10.2478/aopf-2014-0007>

Food Spectrum of Molluscs and Caddisflies under Conditions of *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Charophyta) Bloom in Lake Baikal

N. A. Rozhkova, N. A. Bondarenko, T. Ya. Sitnikova

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. The first data on diet peculiarities of the endemic and common caddy-flies, namely three endemic and one introduced, and mollusks, as well endemic and cosmopolitan, were obtained when untypical to Lake Baikal charophyte algae of the genus *Spirogyra* intensively developed on stone substrates. Diet spectra of these invertebrates were studied. Food compositions of the endemic caddy-flies and gastropodes showed that they grazed periphyton from stones as non-different mass. This is testified by sponge spicules, chitin body fragments of other invertebrates present in digestive tract contents. As earlier a dominant component of their food has been found to be diatom algae despite *Spirogyra* was abundant and contributed up to 60 % of the periphyton. Not far ago diatoms mostly contributed to the periphyton biomass within first vegetable belts of stone shallows. As we revealed, the invertebrates in the *Spirogyra* environment were much more passive in grazing than on stones without *Spirogyra*. 58 % of caddy-fly larvae had empty their digestive tract while other ones contained small amounts of food and gastropode digestive tract were filled in 80-90 % by sand. It was observed that the invertebrates can graze *Spirogyra* but *Spirogyra* algae are not familiar food for Baikalian grazers and so they are casual and rare in stomach. The invertebrates have been observed to avoid locations where *Spirogyra* abounded but *Spirogyra* influence was found to be not lethal. This question needs a farther special research.

Keywords: molluscs, caddisflies, *Spirogyra*, food spectrum, Lake Baikal.

For citation: Rozhkova N. A., Bondarenko N. A., Sitnikova T. Ya. Food Spectrum of Molluscs and Caddisflies under Conditions of *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Charophyta) Bloom in Lake Baikal. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 25, pp. 91-105. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.25.91> (in Russian)

References

Izhboldina L.A. *Atlas i opredelitel vodoroslej bentosa i perifitona ozera Baikal (mejo- i makrofitu) s kratkimi ocherkami po ikh ekologii* [Guide and key to benthonic and periphyton

algae of Lake Baikal (meio- and macrophytes) with short notes on their ecology]. Novosibirsk, Nauka-Zentr Publ., 2007, 248 p. (in Russian)

Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Shcherbakova T.A., Khanaev I. V. *Izmeneniya mikrofitobentosa v Listvennichnom zalive oz. Baikal* [Changes of microphytobenthos in the Listvenichnyi bay of Lake Baikal]. *Algologiya* [Algologia], 2017, vol. 27, no. 1, pp. 65-73. <https://doi.org/10.15407/alg27.07.065> (in Russian)

Kozhov M.M. *Biologiya ozera Baikal* [Biology of Lake Baikal]. Moscow, AN USSR Publ., 1962, 315 p. (in Russian)

Komulajnen S.F. *Vodorosli v pitanii vodnykh bespozvonochnykh tipichnykh dlya epiliona nebolshoj reki* [Algae in the nutrition of typical for epiliton in a small river aquatic invertebrates]. *Troficheskie svyazi v vodnykh soobshchestvakh i ekosistemakh* [Trophic relations in aquatic communities and ecosystems: Int. Conf., Borok, Russia], Borok, Papanin Inst. Biol. Inland Waters RAS Publ., 2003, pp. 147-148. (in Russian)

Krenke G.Ya. *Vidovoj sostav i pishchevye vzaimootnosheniya naseleniya nitchatykh zelenykh vodoroslej stoyachikh vodoemov* [Species composition and relationship in the population of filamentous green algae of stagnant water]. *Trudy Vsesojuznogo gidrobiologicheskogo obschestva* [Proc. Vsesojuz. Hydrobiol. Soc.]. Vol. 14. Moscow, AN USSR Publ., 1963, pp. 252-262. (in Russian)

Krenke G.Ya. *Soobshchestvo nitchatykh zelenykh vodoroslej i ikh rol v pitanii bespozvonochnykh pribrezhya stoyachikh vodoemov* [Community of green filamentous algae and their role in feeding of invertebrates in shallow stagnant waters: Candidate in Biology dissertation abstract]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1965, 16 p. (in Russian)

Levanidov V.Ya. *Znachenie allokhthonnogo materiala kak pishchevogo resursa v vodoe me na primere pitaniya vodyanogo oslika (Asellus aquaticus L.)* [The value of allochthonous material in the reservoir as a food resource on the example of feeding the water donkey]. *Trudy Vsesojuznogo gidrobiologicheskogo obschestva* [Proc. Vsesojuz. Hydrobiol. Soc.]. Vol. 1. Moscow, AN USSR Publ., 1949, pp. 100-117. (in Russian)

Lepneva S.G. *Ruchejniki. Lichinki i kukolki podotryada kolchatoshchupikovykh (Annulipalpia)* [Trichoptera, larvae and pupae of Annulipalpia]. *Fauna SSSR* [Fauna of the USSR], Moscow, St.-Petersb., AN USSR Publ., 1964, vol. 2, is.1. 563 p. (in Russian)

Liperovskaya E.S. *O pitanii presnovodnykh Ostracoda* [On feeding of freshwater Ostracods]. *Zool. Zhurn.*, 1948, vol. 27, no. 2, pp.125-136. (in Russian)

Timoshkin O.A., Bondarenko N.A., Volkova E.A., Tomberg I.V., Vishnyakov V.S., Malnik V.V. *Massovoe razvitiye zelenykh nitchatykh vodoroslej rodov Spirogyra Link i Stigeoclonium Kütz. (CHLOROPHYTA) v pribrezhnoj zone Yuzhnogo Baikala* [Mass development of green Filamentous algae of the genera Spirogyra and Stigeoclonium (Chlorophyta) in the littoral zone of the southern part of Lake Baikal]. *Hydrobiol. J.*, 2014, no. 5, pp. 15-26. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i1.30> (in Russian)

Mejer K.I. *Vvedenie vo floru vodoroslej oz. Baikal* [Introduction in the flora of algae in Lake Baikal]. *Bull. MOIP*, 1930, vol. 39 no. 3-4, pp. 179-392. (in Russian)

Monakov A.V. *Pitanie presnovodnykh bespozvonochnykh* [Feeding of freshwater invertebrates]. Moscow, Rus. Agr. Acad. Publ., 1998, 319 p. (in Russian)

Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Domysheva V.M., Kravchenko O.S., Grachev M.A. *Narusheniye vertikalnoj zonalnosti zelenykh vodoroslej v pribrezhnoj chasti zaliva Listvennichnyi ozera Baikal* [Violation of vertical zonality of green algae in the coastal area Listvenichnyi Bay]. *Doklady Biol. Sci.*, 2012, vol. 447, no. 2, pp. 227-229. (in Russian)

Kulikova N.N., Chebykin E.P., Volkova E.A., Bondarenko N.A., Vodneva E.N., Suturin A.N. *Opreделение elementnogo sostava bentosnykh makrovodoroslej dlya indikatsii kachestva vody melkovodnoj zony zaliva Listvennichnyi (Yuzhnyi Baikal)* [Determination of the elemental composition of benthic macroalgae to indicate water quality of the shallow zone in

Listvenichnyi Bay]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [Int. Sci. J.], 2017, no. 12, pp. 166-176. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.052> (in Russian)

Pankov N.N. Znachenie vodoroslevykh obrastanii v pitanii bespozvonochnykh r. Sylvy (Permskoe Prikame) [Value of phytoplankton in nutrition of invertebrates]. *Troficheskie svyazi v vodnykh soobshchestvakh i ekosistemakh* [Trophic relations in aquatic communities and ecosystems: Int. Conf., Borok, Russia], 2003, pp. 97-98. (in Russian)

Vishnyakov V.S., Timoshkin O.A., Izboldina L.A., Volkova E.A., Zajtseva E.P. Taksonomicheskij spisok makrovodoroslej pribrezhnoj zony bukhty Bolshie Koty i zaliva Listvenichnyi (Yuzhnyi Baikal) [Taxonomic list of macroalgae of the coastal zone in Bolshue Koty Bay and Listvenichnyi Bay]. *Bull. Irkutsk St. Univ. Ser. Biol. Ecol.*, 2012, vol. 5 no. 3, pp. 147-159. (in Russian)

Sharapova T.A., Semenova L.A. Pitanie lichinok ruchejnikov v r. Sob [Feeding of larvae of the caddisflies in Sob River]. *Troficheskie svyazi v vodnykh soobshchestvakh i ekosistemakh* [Trophic relations in aquatic communities and ecosystems: Int. Conf., Borok, Russia]. 2003, p. 158. (in Russian)

Rozhkova N.A., Timoshkin O.A., Nepokrytykh A.V., Maximova N.V., Bondarenko N.A. Abrupt changes in the macrozoobenthos communities of stony littoral in Lake Baikal under mass development of spirogyra green filamentous algae. *3rd International Symposium of Benthological Society of Asia*. Vladivostok, 2016, p.103.

Bovbjerg R.V. Feeding and dispersal in the snail *Stagnicola reflexa* (Basommatophora: Lymnaeidae). *Malacologia*, 1965, vol. 2, no. 2, pp. 199-207.

Cannell R.J.P., Farmer P., Walker J. Purification and characterization of pentagalloylglucose, an α -glucosidase inhibitor/antibiotic from the freshwater green alga *Spirogyra varians*. *Biochem. J.*, 1988, vol. 255, pp. 937-941. <https://doi.org/10.1042/bj2550937>

De Nie, A. W. The Decrease in Aquatic Vegetation in Europe and its Consequences for Fish Populations. *EIFAC/CECPI Occasional Papers*, 1987, no. 19, Rome, Food and Agriculture Organisation, 88 p.

El-Assal F.M., Shanab M.M., Abou-El-Hassan A.A., Mahmoud M.A. Effect of some algal species on the snail intermediate hosts of schistosomiasis in Egypt. II. Growth, infection and mortality rates. *Egyptian Journal of Phycology*, 2005, vol. 6, pp. 93-109.

Graham J.M., Graham L.E., Zulkifly S.B., Pflieger B.F., Hoover S.W., Yoshitoni J. Freshwater diatoms as a source of lipids for biofuels. *JIMB*, 2012, vol. 39, no. 3 pp. 419-428. <https://doi.org/10.1007/s10295-011-1041-5>

Komulaynen S.F. Diets of periphytonic invertebrates in a small river. *Russian Journal of Ecology*, 2006, vol. 37, no. 5, pp. 337-343.

McGinnis K.M., Dempster T.A., Sommerfeld M.R. Characterization of the growth and lipid content of the diatom *Chatoceros muelleri*. *J. of Applied Phycology*, 1997, vol. 9, no. 1, pp. 19-24. <https://doi.org/10.1023/A:1007972214462>

Nishizawa M. Gallotannins of the freshwater green alga *Spirogyra* sp. *Phytochemistry*, 1985, vol. 24, pp. 2411-2413. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83053-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83053-8)

Ropstorff P., Sitnikova T.Ya., Timoshkin O.A., Pomazkina G.V. Observation on Stomach Contents, Food Uptake and Feeding Strategies of Endemic Baikalian Gastropods. *Berliner Palaobiologische Abhandlungen*, 2003, vol. 4, pp. 151-156.

Stift M., Michel El., Sitnikova T., Mamonova E., Sherbakov D. Palaearctic gastropod gains a foothold in the dominion of endemics: range expansion and morphological change of *Lymnaea* (*Radix*) *auricularia* in Lake Baikal. *Hydrobiology*, 2004, vol. 513, pp. 101-108. <https://doi.org/10.1023/B:hydr.0000018175.37771.d6>

Sitnikova T.Y., Pomazkina G.V., Sherbakova T.A., Maximova N.V., Khanaev I.V., Bukin Yu.S. Patterns of diatom treatment in two coexisting species of filter-feeding freshwater gastropods. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2014, vol. 413, no. 08, pp. 1-9. Available at: <http://www.kmaejournal.org>. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014003>

Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Lukhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyukova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E. M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger. *J. Great Lakes Res.*, 2016, vol. 42, pp. 487-497. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>

Reynolds C.S. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press., 2006, 535 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>

Shirokaya A.A. Post-Embryonal Growth and Feeding of Baikal Endemic Limpets (Gastropoda, Pulmonata, Acroloxidae). *Environmental Change in Central Asia: Int. Symp.*, Berlin, Germany. Freie Universitaet Berlin Publ., 2003, 104 p.

Volkova E.A., Bondarenko N.A., Timoshkin O.A. Morphotaxonomy, distribution, and abundance of *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Charophyta) in Lake Baikal, East Siberia. *Phycologia*, 2018, vol. 57, no. 3, pp. 298-308. <https://doi.org/10.2216/17-69.1>

Zebek E., Szymanska U. Gastropods and periphytic algae relationships in the vicinity of a small hydroelectric plant on the Palsleka River in northeast Poland. *Arch. Pol. Fish.*, 2014, vol. 22, pp. 69-80. <https://doi.org/10.2478/aopf-2014-0007>

Рожкова Наталья Анатольевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952) 42-82-18
e-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Rozhkova Natalya Anatolyevna
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-82-18
e-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Бондаренко Нина Александровна
доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952) 42-82-18
e-mail: nina@lin.irk.ru

Bondarenko Nina Aleksandrovna
Doctor of Science (Biology), Leading
Research Scientist
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-82-18
e-mail: nina@lin.irk.ru

Ситникова Татьяна Яковлевна
доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952) 42-82-18
e-mail: nina@lin.irk.ru

Sitnikova Tatiana Yakovlevna
Doctor of Science (Biology), Leading
Research Scientist
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952) 42-82-18
e-mail: nina@lin.irk.ru