

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СООБЩЕСТВА *LUBOMIRSKIA BAICALENSIS* В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

О.А. Белых¹, Л.А. Глызин², Е.А. Константинова³, О.Ю. Глызина²

¹ Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

² Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
29 апреля 2019 г.

Дата принятия к печати
22 мая 2019 г.

Дата онлайн-размещения
27 июня 2019 г.

Ключевые слова

Байкальская губка;
полициклические
ароматические углеводороды;
экспериментальный
пресноводный
аквариумный комплекс
байкальских гидробионтов;
высокоэффективная
жидкостная хроматография

Финансирование

Работа выполнена в рамках
фундаментальных научных
исследований государственного
задания 0345-2019-0002
(АААА-А16-116122110066-1)
«Молекулярная экология
и эволюция живых систем
Центральной Азии в условиях
глобальных экологических
изменений» на базе
уникальной научной установки
«Экспериментальный
пресноводный аквариумный
комплекс байкальских
гидробионтов»

Аннотация

Работа посвящена фундаментальной проблеме биохимической экологии — установлению механизмов взаимного влияния антропогенных загрязнителей и организмов. Сведения о фильтрационных возможностях сообщества байкальских гидробионтов важны для того, чтобы установить его экологическую ценность при использовании в аквакультуре. В статье приводятся данные по изучению байкальского эндемичного вида *Lubomirskia baicalensis* в модельных экспериментах в присутствии полициклических ароматических углеводородов, которые замедляют биологическое разложение, являются канцерогенными, малорастворимы и имеют тенденцию к накоплению на дне оз. Байкал. Обсуждаются результаты модельных экспериментов по влиянию приоритетных токсикантов (нафталина, антрацена, пирена) на эндемичный вид *Lubomirskia baicalensis*, выполненные в 2015–2016 гг. Осуществляется сравнительный анализ с данными эксперимента 2006 г. Показывается изменение содержания полициклических ароматических углеводородов у здоровых и больных экземпляров губок. Делается вывод о том, что наибольшие скорости убыли наблюдаются в первые 6–12 ч экспозиции, а к 24–36 ч контакта в воде остается около 5–10 % полициклических ароматических углеводородов от исходных концентраций.

FILTRATION CAPACITIES OF *LUBOMIRSKIA BAICALENSIS* BIOCENOSIS IN CONDITIONS OF A MODEL EXPERIMENT

Olga A. Belykh¹, Leonid A. Glyzin², Elena A. Konstantinova³, Olga Yu. Glyzina²

¹ Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation

² Limnological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation

³ Irkutsk State University, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received
April 29, 2019

Accepted
May 22, 2019

Available online
June 27, 2019

Keywords

Lake Baikal sponge; polycyclic aromatic hydrocarbons; experimental freshwater aquarium complex of Baikal lake hydrobionts; high-performance liquid chromatography

Acknowledgements

The research was carried out within the framework of academic studies on request from the government 0345-2019-0002 (AAAA-A16-116122110066-1) «Molecular ecology and evolution of living systems of Central Asia in the conditions of global environmental changes» on the basis of a unique research installation «Experimental freshwater aquarium complex of Baikal lake hydrobionts»

Важнейшая биологическая и хозяйственная проблема современности — проблема чистой воды, возникшая в индустриальном обществе в связи с нарастающими темпами водопотребления и стремительным ростом загрязнения внутренних водоемов. Остановить технический прогресс невозможно, поэтому человеку необходимо изменить отношение к природной среде, учитывая ограниченность ее способности к самоочищению. Ближайшая непосредственная задача — интенсификация имеющихся и разработка новых путей борьбы с антропогенным загрязнением водных систем. Каждое соединение, находящееся в воде — среде обитания гидробионтов, рано или поздно попадает в водные организмы, включается в метаболические процессы и в той или иной степени оказывает влияние на течение биохимических процессов. Это не только проявляется в жизнеспособности данной особи, но и может привести к отдаленным последствиям — влиянию на следующие поколения. В настоящее время следует принимать во внимание, что ряд водоемов, имеющих практическое значение, включен в перечень охраняемых как Всемирное на-

Abstract

The paper is dedicated to the fundamental research problem of biochemical ecology, i.e. to the identification of interaction mechanisms of anthropogenic pollution and organisms. The data on Baikal lake hydrobionts filtration capacities are essential in order to determine their ecological value when using them in aquaculture. The paper presents the data on studies of Baikal lake endemic species *Lubomirskia baicalensis* in model experiments with polycyclic aromatic hydrocarbons which inhibit biodegradation, are carcinogenic, slow-soluble and tend to accumulate on the bottom of lake Baikal. The article discusses the results of the model experiments on the influence of priority toxicants (naphthalene, anthracene, pyrene) on the endemic species *Lubomirskia baicalensis*, carried out in 2015–2016. A comparative analysis with the data of the 2006 experiment is given. The change of the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in healthy and sick sponges is shown. The authors draw a conclusion that the highest rate of decrease in content is observed during the first hours of 6–12 hour exposure and within 24–36 hours of exposure, approximately 5–10 % of the stock concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons remains in the water.

следие, а также в государственный кадастр особо охраняемых природных территорий. Наиболее высокие требования предъявляются к воде для питьевых целей и рыбного хозяйства. Причина нарушения гомеостаза многих экосистем заключается в присутствии высоких концентраций полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в водной среде, что вызывает обеспокоенность специалистов в области органической химии, биохимиков, геохимиков, экологов, гидробиологов и др. Основные ПАУ с низкой молекулярной массой токсичны для микроорганизмов, замедляют биологическое разложение; часть из них являются канцерогенными, они малорастворимы в воде, прилипают к пыли или грязи и опускаются на дно водоемов, умеренно стойки в окружающей среде и могут биоаккумулироваться. Различные группы микроорганизмов в осадке и в воде могут разрушать некоторые ПАУ по прошествии времени, причем чем выше молекулярный вес, тем меньше скорость распада. Концентрация ПАУ в гидробионтах иногда значительно выше, чем в среде обитания этих организмов [1–3]. Сегодня имеет место недостаток данных

об острой и хронической токсичности в отношении наземных животных. Токсичность ПАУ в отношении аквакультур колеблется от умеренной до высокой. В рейтинге опасности для окружающей среды ПАУ занимают середину шкалы. При загрязнении воды на дне фракции ПАУ успевают частично испариться, частично разбавиться водой до менее опасных концентраций, но при этом нарушить естественное функционирование бентосного биоценоза [4]. ПАУ характеризуются очень низким порогом воздействия [5] и обладают выраженным канцерогенным, мутагенным действием на живые организмы. ПАУ считаются приоритетными загрязнителями и включены в соответствующие списки Агентства по защите окружающей среды США (US Environmental Protection Agency — EPA) и Соглашение по охране Балтики (HE-COM).

В ряде работ отмечено загрязнение поверхностных вод Байкала и его донных отложений ПАУ [6; 7]. Они поступают в биосферу в основном техногенным путем в результате сжигания и переработки твердых и жидких видов топлива и в составе выхлопов транспорта. Эмиссия в биосферу только одного представителя ПАУ, например бенз(а)пирена, довольно велика и составляет около 5 тыс. т в год [8]. Большинство ПАУ отличает высокая биологическая активность для гидробионтов. В связи с этим актуальным представляется изучение закономерностей взаимодействия ПАУ с такими гидробионтами, как байкальские эндемичные губки *Lubomirskia baicalensis*.

Загрязнения поверхностных вод озера не отмечено. Гидробионты, фильтруя массу воды, адсорбируют из нее ряд веществ, включая и ПАУ. Известны исследования по установлению влияния канцерогенного бенз(а)пирена на морскую губку *Sponges Tethya lyncurium*. В настоящее время для выяснения влияния ПАУ на бентосных гидробионтов используют модельные эксперименты.

В последние два десятилетия систематически появляются сообщения о болезнях и гибели губок и кораллов в различных водоемах по всему земному шару под влиянием увеличения антропогенной нагрузки на водные экосистемы, включая выбросы парниковых газов и потепление климата. Человечеству важно сохранить все компоненты биоразнообразия для функционирования экосистем. Научные исследования адаптации водных экосистем и природоохранные работы могут в определенной степени смягчить нарушение экосистемы. В

последние годы проводится много исследований по оценке состояния водных морских и пресноводных экосистем и определению факторов влияния на них [9–14]. Массовая гибель и болезненное состояние байкальских губок в последние пять лет вызывают много споров среди исследователей экосистемы оз. Байкал и привлекают внимание природоохранных учреждений. В связи с этим представляется целесообразным изучение возможностей адаптации эндемичных байкальских губок и закономерностей взаимодействия таких активных загрязнителей, как ПАУ, с этими бентосными активными природными фильтраторами.

Объект и методика исследования

Исследование выполнено на образцах эндемичного вида крупной ветвистой губки *Lubomirskia baicalensis* (Pallas, 1771), распространенной преимущественно в районе Южного и Среднего Байкала [15]. Во время отбора проб температура байкальской воды составила +4 °С. В оз. Байкал на глубинах от 5 до 50 м до недавнего времени преобладал вид *Lubomirskia baicalensis*. В последнее время в местах массового туризма биомасса этого вида губки резко снизилась [16].

Образцы губки *Lubomirskia baicalensis* собраны с глубины 5–10 м в южной котловине оз. Байкал в 2015–2016 гг. (мыс Березовый, пос. Большие Коты). Образцы губок для первичного химического анализа замораживали в жидком азоте, транспортировали в лабораторию и хранили до анализа при температуре –70 °С. Для проведения эксперимента образцы помещали в переносные термосумки и транспортировали в специальные ферментеры на базе уникальной научной установки — экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов (ПАК) — с периодической сменой воды и контролем температуры. На базе ПАК проводились наблюдения за состоянием губки в период ее двухнедельной адаптации к искусственным условиям обитания при точном контроле потока воды, освещения и температуры. Визуально здоровые губки помещали в полупроточные аквариумные установки и адаптировали при температуре +4,5 °С в байкальской воде при 12-часовом световом режиме без дополнительного питания в течение 14 дней. Состав воды регулярно контролировали по десяти параметрам [17]. Взрослые губки содержались в проточных аквариумных установках объемом 30 л с охлаждением. Эксперименты проводились

в аквариумных установках, наполненных проточной бутилированной байкальской водой (состав, мг/л: HCO_3^- — 57,9; Cl^- — 1,3; SO_4^{2-} — 4,3; K^+ — 1,0; Na^+ — 3,48; Ca^{2+} — 15,6; Mg^{2+} — 2,9; Fe^{2+} — 0,1; CO_3^{2-} — 0,3–0,8; pH — 7,5–7,8), в соответствии с ранее разработанными методиками содержания губок [6]. После адаптации в проточных аквариумах животных помещали в растворы ПАУ разной структуры в концентрациях, растворимых в воде. Это нафталин, антрацен, пирен. В качестве контрольных опытов ставили растворы ПАУ без губки. На трехлитровый объем растворов брали 20 г сырого веса губки. С периодичностью 6 ч отбирали водные аликвоты (200 мл) для определения в них концентрации аренов. ПАУ в тканях губки определяли в н-гексановых экстрактах.

Определение ПАУ в воде и в губке проводили методом ВЭЖХ («Милюхром-1А»). Условия хроматографирования: колонка 2 × 64 мм, сорбент — Силасорб С18, длина волны — 240–260 нм, скорость потока — 100 мкл/мин, температура комнатная.

Результаты и их обсуждение

Результаты работы показали, что уменьшение концентрации ПАУ в воде в присутствии *Lubomirskia baicalensis* значительно превышает таковые контрольных растворов (табл.). Наибольшая скорость убыли наблюдается в первые 6–12 ч, а к 24–36 ч контакта в воде остается около 5–10 % ПАУ от исходных концентраций. И эта скорость убыли аренов сохраняется и в губках, собранных в последние годы.

Выявлено, что кинетике расходования углеводов из водных растворов соответствует увеличение их в тканях губки. Это позволяет предположить постоянную аккумулятивную способность *Lubomirskia baicalensis*. При этом в большей степени расходуются более гидрофобные пирен и антрацен по сравнению с нафталином, который имеет наибольшую растворимость в воде и летучесть.

Хроматографический анализ экстрактов ПАУ из тканей губки показал, что при контрольной инкубации губки в чистой воде в течение 36 ч арены не обнаружены. Губка, инкубированная в растворе ПАУ за 36 ч, аккумулировала до 70 % аренов в 1996 г., а при экспериментах 2015 г. — только 48 %.

Из представленных результатов можно сделать выводы, что, во-первых, обнаруженная способность губки *Lubomirskia baicalensis* активно удалять из воды такие приоритетные загрязняющие вещества, как ПАУ, свидетельствует об участии губки в процессах самоочищения загрязненных вод Байкала; во-вторых, адекватное содержание ПАУ в воде и в тканях губки *Lubomirskia baicalensis* говорит о перспективности использования ее как биоиндикатора при мониторинге водных экосистем в настоящее время. Необходимы дальнейшие модельные эксперименты по возможности фильтрации и аккумуляции ПАУ губками.

В заключение следует отметить, что в ходе проведения модельных экспериментов возникло много вопросов. Один из них — определение минимального временного

Сравнение результатов хроматографического анализа концентрации ПАУ в воде в присутствии и без *Lubomirskia baicalensis* с литературными данными

Вид ПАУ	Концентрация ПАУ, г/л						
	Исходная	1996			2015–2016		
		В клетках губки	Вода без губки, %	Вода с губкой, %	В клетках губки	Вода без губки, %	Вода с губкой, %
<i>После 12 ч экспозиции</i>							
Нафталин	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-3}$	16,7	41,5	$0,10 \times 10^{-3}$	19,1	16,8
Антрацен	$0,80 \times 10^{-5}$	$0,30 \times 10^{-5}$	68,7	37,4	$0,28 \times 10^{-5}$	68,0	20,5
Пирен	$0,76 \times 10^{-4}$	$0,25 \times 10^{-4}$	66,3	25,0	$0,80 \times 10^{-4}$	67,2	15,5
<i>После 24 ч экспозиции</i>							
Нафталин	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-3}$	16,7	24,1	$0,10 \times 10^{-3}$	17,9	13,9
Антрацен	$0,80 \times 10^{-5}$	$0,30 \times 10^{-5}$	68,7	3,8	$0,28 \times 10^{-5}$	67,8	2,2
Пирен	$0,76 \times 10^{-4}$	$0,25 \times 10^{-4}$	66,3	3,8	$0,80 \times 10^{-4}$	67,0	1,8
<i>После 36 ч экспозиции</i>							
Нафталин	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-3}$	23,2	24,4	$0,10 \times 10^{-3}$	16,1	14,2
Антрацен	$0,80 \times 10^{-5}$	$0,30 \times 10^{-5}$	70,2	2,9	$0,28 \times 10^{-5}$	68,0	1,5
Пирен	$0,76 \times 10^{-4}$	$0,25 \times 10^{-4}$	63,9	3,6	$0,80 \times 10^{-4}$	66,5	1,7

интервала эксперимента для исследования влияния ПАУ на биохимический состав губки, так как с увеличением продолжительности эксперимента возрастает его ошибка за счет естественного распада и летучести нафталина. Кроме того, накопление нафталина в беспозвоночных гидробионтах уменьшается в присутствии бенз(а)пирена и равномерно накапливается как в жире, так и в других тканях. Второй вопрос — выявление наличия количественных вариаций для отдельных ПАУ. Третий — вероятность вторичного загрязнения среды (все ПАУ подвергаются метаболическим превращениям и выводятся из организма губок в виде

конъюгатов и в достаточно короткий срок — одних-двух суток [14]).

В целом полученные данные могут быть использованы для дальнейших исследований в области изучения биохимической адаптации гидробионтов, в том числе и у представителей таксонов низкого филогенетического уровня. А особенности биосинтеза и метаболизма при стрессе губок с учетом того, что они нередко синтезируют биологически активные соединения с использованием нестандартных биосинтетических путей, могут привлечь внимание не только экологов, но и химиков, фармакологов, таксономистов и многих других специалистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Luch A. The Carcinogenic Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons / A. Luch. — London : Imperial College Press, 2005. — 514 p.
2. Лушков С.В. Очистка воды и почвы от нефтепродуктов с помощью культуры микробов-деструкторов / С.В. Лушков, К.Н. Завгородцев, В.В. Бобер // Экология и промышленность России. — 1999. — № 12. — С. 17–21.
3. Галемина М.А. Биомодели для оценки техногенных загрязнений воды / М.А. Галемина, О.А. Белых, А.В. Мокрый // Экономическая безопасность: стратегия взаимодействия государства и бизнеса : материалы регион. науч.-практ. конф., Иркутск, 25 нояб. 2014 г. / под ред. А.П. Киреевко. — Иркутск, 2015. — С. 29–34.
4. Флеров Б.А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных / Б.А. Флеров. — Л. : Наука, 1989. — 141 с.
5. Реакции гидробионтов на загрязнение : сб. ст. / под ред. Н.С. Строганова. — М. : Наука, 1983. — 247 с.
6. Глызин А.В. Изучение байкальских гидросимбионтов с помощью экспериментальных аквариумных установок / А.В. Глызин, О.Ю. Глызина, С.А. Любочко // Вода: химия и экология. — 2011. — № 2. — С. 35–40.
7. Глызина О.Ю. *Lubomirskia baicalensis* как перспективный биоиндикатор полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в озере Байкал / О.Ю. Глызина, Л.И. Белых // Хроматография и спектроскопия в анализе объектов окружающей среды и токсикологии (ISCSE'96) : 2-й междунар. симп. — СПб., 1996. — С. 5.
8. Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна : в 2 т. / под ред. О.А. Тимошкина. — Новосибирск : Наука, 2009. — Т. 2. — 830 с.
9. Kennedy C.J. The Fate of Benzo(a)herene in the Scleractinian Corals *Favia Fragum* and *Montastrea An-Nularis* / C.J. Kennedy, N.J. Gassman, P.J. Walsh // Marine Biology. — 1992. — Vol. 113, iss. 2. — P. 313–318.
10. Ересовский А.В. Некоторые закономерности обитания и распределения губок на литорали Восточного Мурмана / А.В. Ересовский // Зоологический журнал. — 1994. — Т. 73, № 4. — С. 5–17.
11. Ефремова С.М. Губки / С.М. Ефремова // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна : в 2 т. / под ред. О.А. Тимошкина. — Новосибирск : Наука, 2001. — Т. 1, кн. 1. — С. 179–192.
12. Ефремова С.М. Новый род и новые виды губок сем. *Lubomirskiidae* Rezvoj, 1936 / С.М. Ефремова // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна : в 2 т. / под ред. О.А. Тимошкина. — Новосибирск : Наука, 2004. — Т. 1, кн. 2. — С. 1261–1278.
13. Air-Water Carbon Dioxide Exchange in the Littoral Zone of Lake Baikal (Ice-Free Period) / V.M. Domysheva [et al.] // International Journal of Geosciences. — 2013. — Vol. 4. — P. 1339–1345.
14. 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 [et al.] // Journal of Great Lakes Research. — 2016. — Vol. 42. — P. 487–497.
15. Резвой П.Д. Пресноводные губки / П.Д. Резвой. — М. : АН СССР, 1936. — 125 с.
16. Исследование взаимовлияния полициклических ароматических углеводородов (антрацена, пирена) и байкальских губок в модельных экспериментах / О.Ю. Глызина [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. — 2002. — № 4. — С. 409–412.
17. Глызина О.Ю. Биохимический ответ древнейших симбиотических многоклеточных оз. Байкал на изменение температурного режима среды их обитания / О.Ю. Глызина, А.В. Глызин // Вода: химия и экология. — 2014. — № 4. — С. 71–79.

REFERENCES

1. Luch A. *The Carcinogenic Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. London, Imperial College Press, 2005. 514 p.
2. Lushkov S.V., Zavgorodtsev K.N., Bober V.V. Purification of Water and Soil from Oil Refinery Products with the Help of Microbial Decomposers. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*, 1999, no. 12, pp. 17–21. (In Russian).
3. Galemina M.A., Belykh O.A., Mokryy A.V. Biomodels for the Ivaluation of Technogenous Water Pollutants. In Kireenکو A.P. (ed.). *Ekonomicheskaya bezopasnost' : strategiya vzaimodeistviya gosudarstva i biznesa. Materialy* ISSN 2500-2759

regional' noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Irkutsk, 25 noyabrya 2014 g. [Economic Security: Strategy of Interaction Between State and Business. Materials of Regional Scientific and Practical Conference, Irkutsk, November 25, 2014]. Irkutsk, 2015, pp. 29–34. (In Russian).

4. Flerov B.A. *Ekologo-fiziologicheskie aspekty toksikologii presnovodnykh zhivotnykh* [Ecological and Physiological Aspects of Freshwater Species Toxicology]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 141 p.

5. Stroganov N.S. (ed.). *Reaktsii gidrobiontov na zagryaznenie* [Hydrobionts' Reaction to Pollution]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 247 p.

6. Glyzin A.V., Glyzina O.Yu., Lyubochko S.A. Investigation of Baikal Hydrosymbionts with Pilot Aquarian Complexes. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: Chemistry and Ecology*, 2011, no. 2, pp. 35–40. (In Russian).

7. Glyzina O.Yu., Belykh L.I. *Lubomirskia baicalensis* as a Powerful Bioindicator of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Baikal. *Khromatografiya i spektroskopiya v analize ob"ektov okruzhayushchei sredy i toksikologii (ISCSE'96). 2-i mezhdunarodnyi simpozium* [Chromatography and Spectroscopy in Environmental Analysis and Toxicology, ISCSE'96. The 2nd International Symposium]. Saint Petersburg, 1996, pp. 5. (In Russian).

8. Timoshkin O.A. (ed.). *Annotirovannyi spisok fauny ozera Baikal i ego vodosbornogo basseina* [Index of Animal Species Inhabiting Lake Baikal and its Catchment Area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009. Vol. 2. 830 p.

9. Kennedy C.J., Gassman N.J., Walsh P.J. The Fate of Benzo(a)herene in the Scleractinian Corals *Favia Fragum* and *Montastrea An-Nularis*. *Marine Biology*, 1992, vol. 113, iss. 2, pp. 313–318.

10. Ereskovsky A.V. Some Regularities of Habitat and Distribution of Sponges on the Littoral of Eastern Murman. *Zoologicheskii zhurnal = Journal of Zoology*, 1994, vol. 73, no. 4, pp. 5–17. (In Russian).

11. Efremova S.M. Porifera. In Timoshkin O.A. (ed.). *Annotirovannyi spisok fauny ozera Baikal i ego vodosbornogo basseina* [Index of Animal Species Inhabiting Lake Baikal and its Catchment Area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2001, vol. 1, b. 1, pp. 179–192. (In Russian).

12. Efremova S.M. New Genus and New Species of Sponges from the Family *Lubomirskiidae* Rezvoj, 1936. In Timoshkin O.A. (ed.). *Annotirovannyi spisok fauny ozera Baikal i ego vodosbornogo basseina* [Index of Animal Species Inhabiting Lake Baikal and its Catchment Area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2004, vol. 1, b. 2, pp. 1261–1278. (In Russian).

13. Domyshcheva V.M., Panchenko M.V., Pestunov D.A., Sakirko M.V. Air-Water Carbon Dioxide Exchange in the Littoral Zone of Lake Baikal (Ice-Free Period). *International Journal of Geosciences*, 2013, vol. 4, pp. 1339–1345.

14. Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I. Rapid Ecological Change in the Coastal Zone of Lake Baikal (East Siberia): is the Site of the World's Greatest Freshwater Biodiversity in Danger? *Journal of Great Lakes Research*, 2016, vol. 42, pp. 487–497.

15. Rezvoj P.D. *Presnovodnye gubki* [Freshwater sponges]. Moscow, the USSR Academy of Sciences Publ., 1936. 125 p.

16. Glyzina O.Yu., Belykh L.I., Latyshev N.A., Glyzin A.V., Gorshkov A.G. Study of Mutual Influence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Anthracene, Pyrene) and Baikalian Sponges in Model Experiments. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*, 2002, no. 4, pp. 409–412. (In Russian).

17. Glyzina O.Yu., Glyzin A.V. Biochemical Adaptation of *Lubomirskia Baicalensis* Baikal Sponge to Changes in Temperature Conditions of the Environment. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: Chemistry and Ecology*, 2014, no. 4, pp. 71–79. (In Russian).

Информация об авторах

Белых Ольга Александровна — доктор биологических наук, профессор, кафедра торгового и таможенного дела, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Глызин Леонид Александрович — инженер, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: glyzin@mail.ru.

Константинова Елена Алексеевна — студент, Педагогический институт Иркутского государственного университета, г. Иркутск, Российская Федерация.

Глызина Ольга Юрьевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель группы экспериментальной гидробиологии, Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: glyzina@lin.irk.ru.

Для цитирования

Белых О.А. Фильтрационные возможности сообщества *Lubomirskia baicalensis* в условиях модельного эксперимента / О.А. Белых, Л.А. Глызин, Е.А. Константинова, О.Ю. Глызина // Известия Байкальского государственного университета. — 2019. — Т. 29, № 2. — С. 179–184. — DOI: 10.17150/2500-2759.2019.29(2).179-184.

Authors

Olga A. Belykh — D.Sc. in Biology, Professor, Department of Trade and Customs Regulation, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Leonid A. Glyzin — Engineer, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: glyzin@mail.ru.

Elena A. Konstantinova — Student, Pedagogical Institute, Irkutsk State University, Irkutsk, the Russian Federation.

Olga Yu. Glyzina — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Experimental Hydrobiology Team Manager, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: glyzina@lin.irk.ru.

For Citation

Belykh O.A., Glyzin L.A., Konstantinova E.A., Glyzina O.Yu. Filtration Capacities of *Lubomirskia baicalensis* Biocenosis in Conditions of a Model Experiment. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 179–184. DOI: 10.17150/2500-2759.2019.29(2).179-184. (In Russian).