

## ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 574.583:582.263:574.63:574.64

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ШУНГИТА  
НА ИНДИКАТОРНЫЕ ПЛАНКТОННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Г.А. Даллакян\*, Д.М. Гершкович, В.И. Ипатова, Е.Ф. Исакова

Кафедра гидробиологии, биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12  
\*e-mail: honaris@bk.ru

Исследовано совместное действие солей тяжёлых металлов и шунгита на тест-организмы фито- и зоопланктона. Показано, что токсическое действие как сульфата кадмия, так и бихромата калия на рост культуры микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* инактивируется в присутствии шунгита (100 г/л). Добавление шунгита в среду культивирования (без токсикантов) увеличивало эффективность фотосинтеза, численность клеток и долю живых клеток. Одновременно происходило увеличение продолжительности жизни популяции клеток. Кроме того, в острых опытах на ракообразных длительностью до 96 ч определяли токсичность бихромата калия, сульфата меди и сульфата кадмия в присутствии 0,01 г/л шунгита и без него. Изучение действия шунгита на ракообразных показало, что он в минимальной из пяти исследованных концентраций (0,01 г/л) защищает как цериодафний, так дафний от действия токсикантов. При высоких концентрациях шунгита дафнии погибали. Показано, что острая токсичность солей тяжёлых металлов для двух видов рачков снижается в ряду Cu–Cd–Cr. Анализ полученных данных показывает, что концентрации шунгита, необходимые для инактивации тяжёлых металлов, в тысячи раз выше для водорослей, чем для ракообразных. В связи с этим для использования шунгита как протектора от токсического действия различных веществ необходим предварительный лабораторный анализ на выживаемость разных видов гидробионтов на конкретной водной среде.

**Ключевые слова:** шунгит, *Scenedesmus quadricauda*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia affinis*, тяжёлые металлы, эффективность фотосинтеза, выживаемость

Известно, что токсиканты как антропогенного, так и природного происхождения снижают эффективность фотосинтеза, темп деления клеток, усиливают окислительные процессы в организме и влияют на другие жизненно важные процессы у гидробионтов. В связи с этим возникает необходимость поиска новых универсальных и экономически эффективных способов инактивации этих соединений. Как было показано ранее [1], повреждающее действие синглетного кислорода, образующегося в присутствии фотосенсибилизаторов, можно ослабить с помощью шунгита. Защита от токсического действия бихромата калия шунгитом была нами показана ранее [2].

Природный композит шунгит в основном состоит из аморфного глобулярного углерода. В шунгите Жабогинской породы (Карелия) обнаружены кремний, алюминий, железо, магний, калий, сера, кальций, фосфор, фуллерен и др. [3]. Фуллерен был обнаружен в шунгитах Карелии в 1992 г. [4]. Показано, что фуллерены могут встраиваться в биологические мембраны, влиять на их структуру, изменять каталитическую активность мембранных ферментов. При этом характер токсического действия фул-

лерена зависит от многих факторов [5, 6]. Фуллерен в сверхмалых концентрациях оказывает токсическое действие на жизнеспособность клеток китайского хомячка, что, возможно, связано с особыми свойствами воды, окружающей молекулу фуллерена, является своеобразным донором и акцептором электронов, регулирующих окислительно-восстановительные процессы, протекающие в водных системах [7]. Стабилизирующее влияние фуллерена  $C_{60}$  при термической обработке оксидазных ферментов в концентрациях  $10^{-9}$ – $10^{-23}$  М было показано ранее [8]. Авторы это связывают с образованием вокруг фуллеренов водных оболочек, оптимизирующих устойчивость ферментов в экстремальных условиях.

Научные исследования последних лет указывают на то, что токсичность, нейтральность или положительное действие водорастворимых фуллеренов на клеточном, ферментативном и организменном уровнях определяются способами получения, чистотой этих соединений, концентрацией, а также особыми свойствами водных сферических оболочек фуллеренов, являющихся одновременно донорами и акцепторами электронов.

Водорастворимые фуллерены привлекают внимание исследователей разных специальностей (биологов, медиков, физиков, химиков) благодаря своей противовирусной активности, антирадикальным свойствам, способности генерировать активные формы кислорода и др.

В настоящее время как применение, так и исследование фуллеренов сдерживаются их высокой стоимостью, которая связана с низкой экономической эффективностью технологий получения и самих фуллеренов, и их производных.

Все вышесказанное о свойствах фуллеренов имело определяющее значение при выборе более доступных протекторов для наших исследований. В связи с этим нами был выбран шунгит (содержащий в своей структуре фуллерен) для возможной защиты гидробионтов от воздействия тяжёлых металлов.

Способность шунгита очищать воду известна давно. Первые фильтры для очистки воды на основе шунгита были созданы в 1995 г. Известно, что вода, пропущенная через шунгит, обладает благоприятным действием на многие организмы. Однако влияние шунгита на различные биологические объекты практически не исследовано, хотя продажа и реклама этого соединения продолжают увеличиваться.

Тяжёлые металлы представляют серьезную угрозу для биоты вследствие их острой токсичности и постепенного накопления в окружающей среде. Основными источниками тяжёлых металлов и их соединений являются выбросы с перерабатывающих предприятий. Значительные количества тяжёлых металлов поступают в водную среду с промышленными стоками. В связи с этим возникает необходимость поиска новых экономически доступных методов и подходов к снижению уровня уже имеющегося загрязнения водной среды.

В настоящей работе рассмотрен один из важных вопросов, имеющий научно-практическое значение, — возможность использования шунгита для уменьшения токсического действия некоторых солей тяжёлых металлов — бихромата калия, сульфата кадмия и сульфата меди. Эти вещества являются сильнодействующими ядами. По степени воздействия на организм человека их относят к вредным веществам 1-го класса опасности (как чрезвычайно опасные вещества) в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76. Кроме того, бихромат калия и сульфат кадмия используются в качестве эталонных токсикантов как в России, так и за рубежом для изучения чувствительности различных тест-объектов при проведении биотестирования. Культуры зелёной хлорококковой микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. и ракообразных *Daphnia magna* Straus и *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg рекомендованы рядом документов для биотестирования и нормирова-

ния в качестве тест-объектов для оценки качества водной среды.

Целью данной работы было исследование защитных свойств шунгита в условиях токсического действия солей тяжёлых металлов на микроводоросль *S. quadricauda* и ракообразных *D. magna* и *C. affinis*.

## Материалы и методы

Альгологически чистую культуру *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. (= *Desmodesmus communis* (E. Hegew.) E. Hegew.) выращивали в конических колбах ёмкостью 250 мл на среде Успенского № 1 (100 мл) при температуре 25°C и круглосуточном освещении 15 мкмоль квантов/м<sup>2</sup>·с. В экспериментах использовали шунгит Зажогинского месторождения от компании “Арго” (Россия), бихромат калия (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) и сульфат кадмия (CdSO<sub>4</sub>). Шунгит из расчета 100 г/л, бихромат калия в концентрации 3 мг/л и сульфат кадмия в концентрации 1,5 мг/л добавляли в среду однократно на третьи сутки после посева культуры. Шунгит предварительно обрабатывали согласно инструкции изготовителя с учётом специфики выращивания водорослей. Для этого гранулы шунгита промывали холодной водой, затем высыпали в 3-литровую стеклянную банку и настаивали в воде в течение 2 сут, после чего снова промывали дистиллированной водой для удаления посторонних примесей и автоклавировали (одна атмосфера, 30 мин). После обработки шунгит добавляли в культуральную среду.

Определение живых и мёртвых клеток в культуре осуществляли с помощью люминесцентного микроскопа Axioscop 2 FS Plus (Carl Zeiss, Германия) в проходящем свете. При облучении объекта короткими сине-фиолетовыми лучами получали длинноволновое видимое свечение объекта: живые клетки имели ярко-красное свечение, а мёртвые — зелёное. Кривые индукции флуоресценции были построены на основе данных, полученных на приборе “МЕГА-25” (Россия). Эффективность фотосинтеза рассчитывали по формуле:  $\psi = (F_m - F_0)/F_m$  [9], где F<sub>0</sub> — интенсивность флуоресценции при открытых реакционных центрах, а F<sub>m</sub> — максимальная интенсивность флуоресценции при закрытых реакционных центрах. Контролем служили водоросли, выращиваемые в чистой среде без добавления шунгита и сульфата кадмия. Эксперименты проводили в трёх повторностях длительностью 20–30 сут.

Для проведения исследований на ракообразных использовали синхронизированные лабораторные культуры *Daphnia magna* Straus и *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Исследования проводили согласно рекомендациям стандартных методических указаний [10].

Ракообразных содержали в климатостате при температуре 22–23°C с 12-часовым циклом освещения. Кормление культуры и опытных выборок производили зелёными водорослями *Chlorella vulgaris* Beijer, внося по 1,5 мл концентрированной культуры (плотность культуры не менее  $(3,0–3,5) \cdot 10^7$  клеток/см<sup>3</sup>) на 1 л среды. Для проведения экспериментов и поддержания культуры использовали подготовленную водопроводную (биологизированную) воду. В этих опытах, как и в экспериментах на водорослях, использовали шунгит Зажогинского месторождения, бихромат калия ( $K_2Cr_2O_7$ ), сульфат кадмия ( $CdSO_4$ ) и сульфат меди ( $CuSO_4$ ).

Лабораторную воду насыщали шунгитом, добавляя 0,1 г препарата на 1 л воды. Раствор настаивали не менее 2 сут, затем разбавляли в 10 раз для достижения условной концентрации 0,01 г/л. Параллельно проводили все серии экспериментов для каждого тест-объекта и каждого металла. Навески солей тяжёлых металлов растворяли либо в чистой лабораторной воде, либо в воде, насыщенное шунгитом (0,01 г/л).

В четыре стакана (повторности) объёмом 100 мл наливали по 50 мл соответствующих растворов и помещали по 5 цериодафний в возрасте не более 24 ч. При работе с дафниями в ёмкости наливали по 100 мл растворов и помещали по 10 рачков (три повторности). Эксперименты по совместному влиянию шунгита и солей тяжёлых металлов проводили с условной концентрацией шунгита 0,01 г/л и сериями концентраций бихромата калия, сульфата меди и сульфата кадмия от 0,00025 до 0,0020 г/л. Продолжительность опытов составляла 24–96 ч. Начиная со вторых суток опыта, рачков кормили *S. vulgaris* согласно описанной ранее методике [10].

Статистическую обработку результатов проводили в программе Microsoft Office Excel 2010. Оценку статистической значимости различий контрольной и опытных выборок в экспериментах на водорослях проводили с использованием теста Стьюдента, считали различия достоверными при  $p < 0,05$ . Для вычисления полулетальных концентраций ( $LK_{50}$ ) металлов для ракообразных в острых опытах использовали пробит-анализ [10].

### Результаты и обсуждение

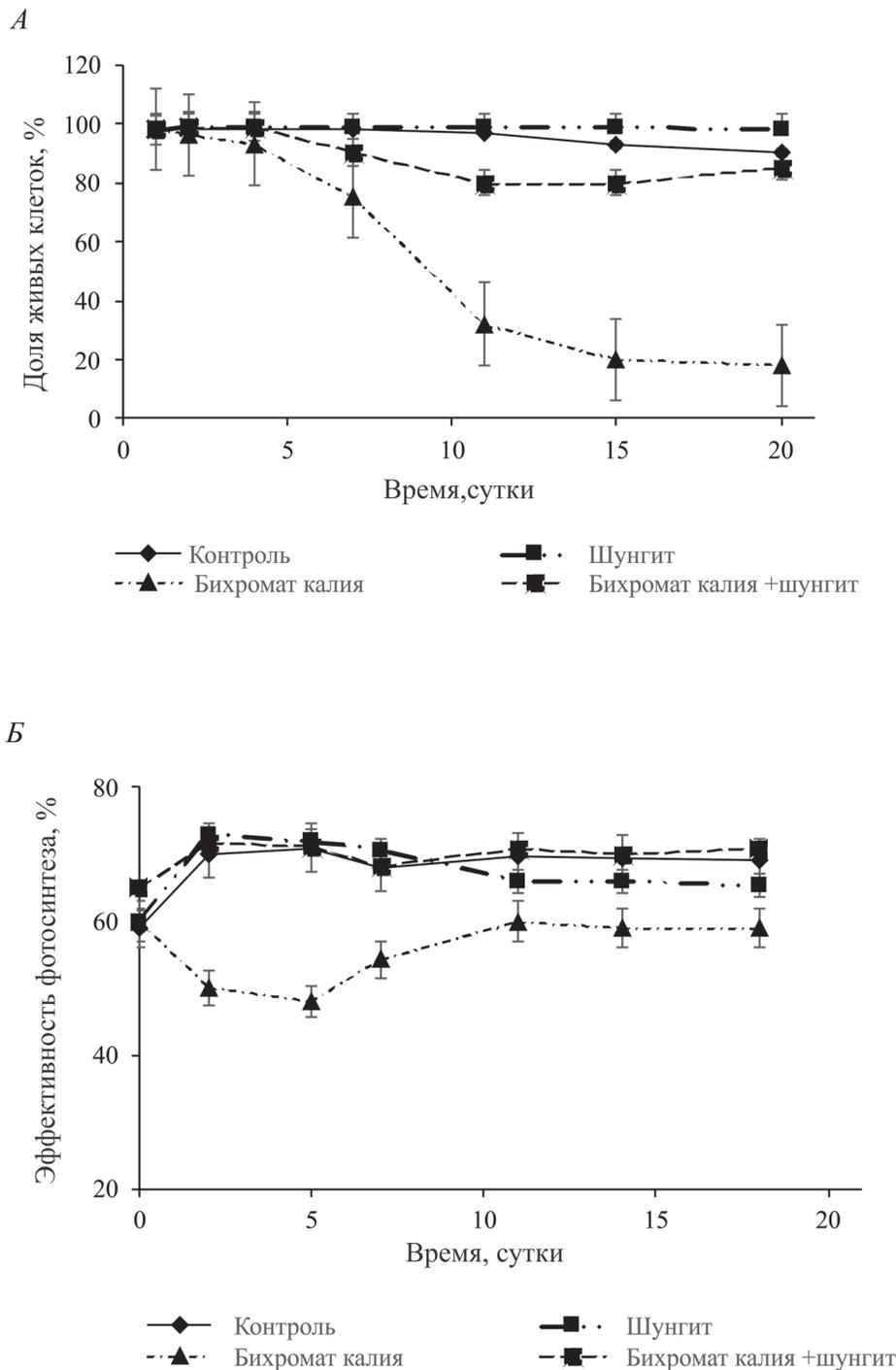
Исследование жизнеспособности клеток *S. quadricauda*, оцененной с помощью метода люминесцентной микроскопии, показало, что при концентрации 3 мг/л бихромата калия количество живых клеток в культуре со временем постепенно уменьшалось, а доля мёртвых — соответственно увеличивалась (рис. 1, А). В присутствии 100 мг/л шунгита доля живых клеток в культуре была на уровне

контроля. При комбинированном действии бихромата калия и шунгита доля живых клеток составляла 98–99% на протяжении всего эксперимента и к концу эксперимента была даже выше уровня контроля (рис. 1, А). Полученные результаты свидетельствуют о снижении токсического действия бихромата калия на культуру *S. quadricauda* при добавлении шунгита.

На рис. 1, Б представлены данные изменения эффективности фотосинтеза  $\psi$  (в %). Эти данные хорошо согласуются с результатами по оценке доли живых клеток в культуре. Во всех случаях, как при добавлении шунгита, так и при одновременном присутствии в среде шунгита и бихромата калия, клетки водорослей растут лучше. В то же время эффективность фотосинтеза и доля живых клеток становятся выше, чем в среде с бихроматом калия без шунгита. Эффективность фотосинтеза была наиболее низкой в пробах с бихроматом калия. Относительно близкие значения эффективности фотосинтеза через 11 сут (начало стационарной фазы роста) водорослей во всех остальных пробах можно объяснить тем, что происходила адаптация культуры к условиям среды.

На рис. 2, А приведены результаты исследования жизнеспособности клеток *S. quadricauda* при добавлении сульфата кадмия и шунгита. В присутствии 1,5 мг/л сульфата кадмия количество живых клеток в культуре со временем постепенно уменьшалось и к 15 сут составляла около 4%, а доля мёртвых — соответственно со временем увеличивалась. После добавления шунгита доля живых клеток в культуре была на уровне контроля или выше. При комбинированном действии сульфата кадмия и шунгита доля живых клеток составляла 98–99% на протяжении всего эксперимента и была близка к контрольным показателям. Полученные результаты также свидетельствуют о снижении токсического действия сульфата кадмия на культуру *S. quadricauda* в присутствии шунгита.

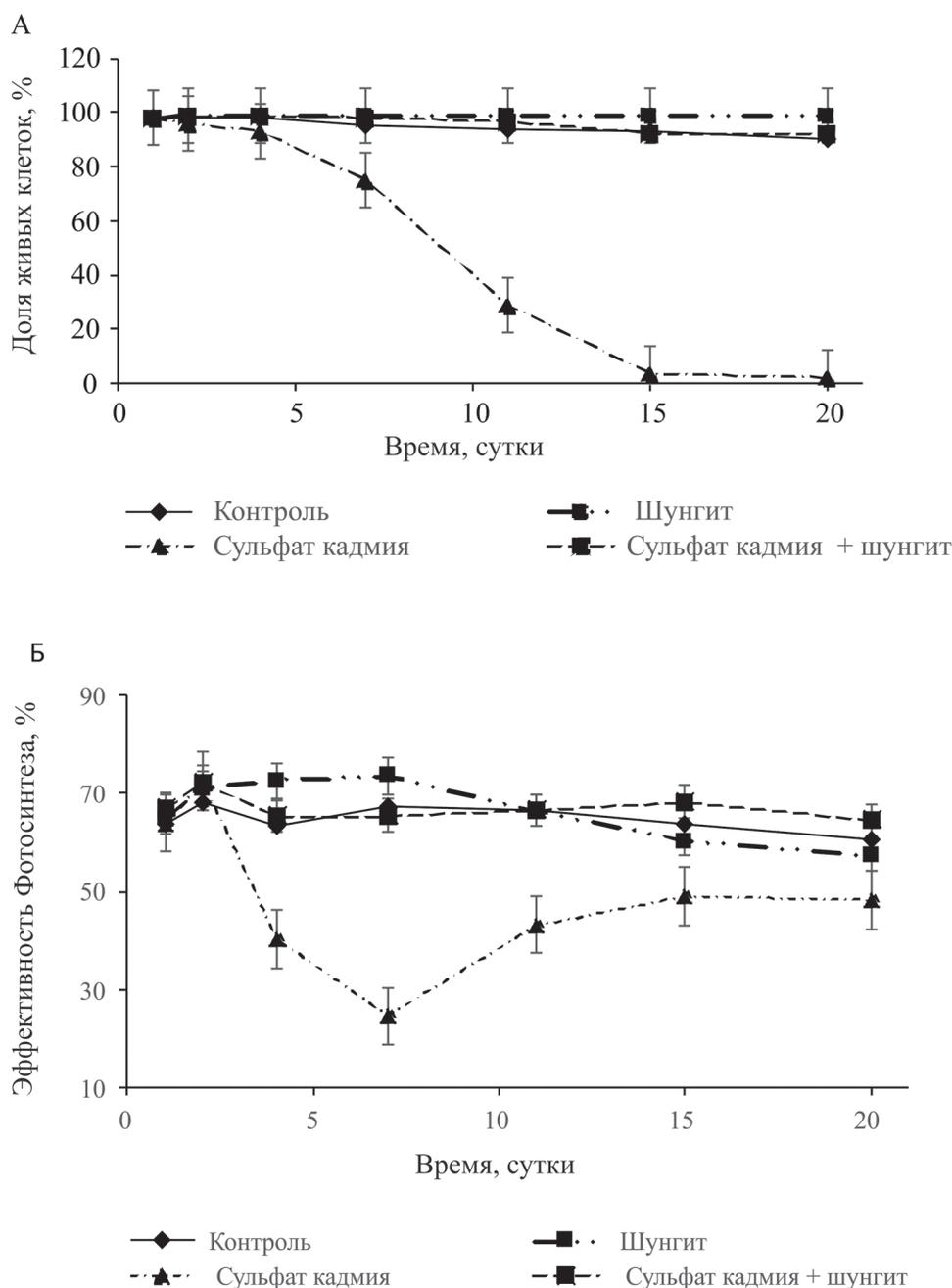
Как и в опыте с бихроматом калия (рис. 1), так и в случае с сульфатом кадмия (рис. 2) с добавлением шунгита, данные по величине эффективности фотосинтеза *S. quadricauda* согласуются с данными по оценке доли живых клеток в культуре. При добавлении в среду шунгита и при одновременном присутствии в среде шунгита и сульфата кадмия культура водоросли растёт лучше. В то же время эффективность фотосинтеза и доля живых клеток становятся выше, чем в контроле и в присутствии в среде только сульфата кадмия. Эффективность фотосинтеза была наиболее низкой в пробах с сульфатом кадмия. В начале стационарной фазы роста культуры значения эффективности фотосинтеза через 11 сут роста водорослей во всех пробах с би-



**Рис. 1.** Доля живых клеток (А) и эффективность фотосинтеза (Б) во время роста культуры *S. quadricauda* в присутствии шунгита (100 г/л) и бихромата калия (3 мг/л). Планки погрешности – доверительный интервал с уровнем доверия 95%

хроматом калия и частично с сульфатом кадмия можно объяснить адаптацией наиболее устойчивых клеток культуры в токсичной среде. Как известно, эффективность фотосинтеза не отражает численность клеток, а показывает состояние фотосинтетического аппарата адаптированных водорослей на разных стадиях роста культуры. Клетки с низкой эффективностью фотосинтеза элиминировались, в популяции оставались только клетки с высокой эффективностью фотосинтеза.

Таким образом, бихромат калия и сульфат кадмия оказывают выраженное токсическое действие на культуру микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* по показателям доли живых и мёртвых клеток, а также эффективности фотосинтеза, характеризующей физиологическое состояние культуры. При комбинированном действии шунгита (100 г/л) и бихромата калия или сульфата кадмия шунгит инактивирует их токсическое действие.



**Рис. 2.** Доля живых клеток (А) и эффективность фотосинтеза (Б) во время роста культуры *S. quadricauda* в присутствии шунгита (100 г/л) и сульфата кадмия (1,5 мг/л). Планки погрешности – доверительный интервал с уровнем доверия 95%

Результаты экспериментов на *Ceriodaphnia affinis* и *Daphnia magna* с солями кадмия, меди и бихроматом калия приведены в таблице.

По величинам расчетных полумлетальных концентраций (ЛК<sub>50</sub>) видно, что присутствие шунгита (0,01 г/л) оказывает протекторное действие на ракообразных при воздействии солей тяжёлых металлов при всех сроках экспозиции в остром эксперименте (24–96 ч) на обоих тест-объектах.

Показано, что острая токсичность тяжёлых металлов для двух видов рачков снижается в ряду Cu–Cd–Cr.

Цериодафнии проявили большую устойчивость к действию хрома и кадмия, чем дафнии. Устойчи-

вость рачков обоих видов к воздействию меди была примерно одинакова.

Добавление шунгита в концентрации 0,01 г/л в растворы солей тяжёлых металлов приводило к повышению устойчивости рачков к токсическому воздействию в разной степени. Защитные свойства шунгита в концентрации 0,01 г/л возрастали в ряду токсичности металлов Cu–Cd–Cr, т.е. чем токсичнее металл, тем менее выражен протекторный эффект.

Шунгит только в минимальной из исследованных концентраций (0,01 г/л) снижал токсичное действие бихромата калия как на цериодафний, так и на дафний. Одним из возможных механизмов

Таблица

Полулетальные концентрации соединений тяжёлых металлов (мг/л) для *Ceriodaphnia affinis* и *Daphnia magna* в присутствии шунгита

Вещество	Время воздействия	<i>Ceriodaphnia affinis</i>		<i>Daphnia magna</i>	
		Без шунгита	+ Шунгит (0,01 г/л)	Без шунгита	+ Шунгит (0,01 г/л)
Сульфат кадмия	24 ч	0,89	1,08	0,29	0,38
	48 ч	0,61	0,59	0,13	0,29
	72 ч	–	–	0,02	0,04
	96 ч	0,14	0,21	–	–
Сульфат меди	24 ч	0,20	0,34	0,29	0,36
	48 ч	0,17	0,31	0,23	0,28
	72 ч	–	–	0,18	0,24
	96 ч	0,17	0,30	0,17	0,23
Бихромат калия	24 ч	2,78	4,00	0,74	1,24
	48 ч	1,33	2,38	–	–
	72 ч	0,93	1,33	0,68	1,20

защиты ракообразных от токсического действия бихромата калия в присутствии шунгита (0,01 г/л) является переход шестивалентного хрома в менее токсичный трёхвалентный. Кроме того, могло иметь место связывание молекул или ионов бихромата компонентами шунгита. Ухудшение биологических показателей ракообразных при воздействии высоких концентрации 1, 10 и 100 г/л шунгита, возможно, связано с увеличением содержания ионов переменной валентности и фуллеренов в среде, приводящем к усилению образования активных форм кислорода в воде, что вызывает гибель дафнии. Токсическое действие фуллеренов на дафний связано с иницированием перекисного окисления липидов клеточных мембран [11]. Кроме этого, снижение выживаемости и плодовитости ракообразных связано с механическим повреждением фильтраци-

онного аппарата дафний шунгитом при его присутствии в высоких концентрациях (1–100 г/л) [12].

Анализ полученных данных показывает, что концентрации шунгита, необходимые для инактивации тяжёлых металлов, в тысячи раз выше для водорослей, чем для ракообразных. Механизм токсического или защитного действия шунгита на организменном уровне в настоящее время в литературе обсуждается с разных точек зрения. Большинство исследователей это связывают со свойством фуллеренов. Наши результаты не противоречат концепциям, высказанным в других работах [8, 9, 11].

Исходя из вышесказанного, мы полагаем, что для использования шунгита как протектора от токсического действия различных веществ необходим предварительный лабораторный анализ на выживаемость разных видов гидробионтов на конкретной водной среде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даллакян Г.А. Рост популяции микроводорослей в условиях питательных сред, обогащенных синглетным кислородом // Изв. РАН. Сер. биол. 1998. № 6. С. 751–753.
2. Даллакян Г.А., Погосян С.И., Ипатова В.И., Агеева И.В. Инактивация токсического действия бихромата калия шунгитом в присутствии микроводорослей // Токсикол. вестн. 2014. № 5. С. 39–44.
3. Каленин Ю.К. Экологический потенциал шунгита // Наука в России. 2008. № 6. С. 39–44.
4. Buseck P.R., Tshipursky S.J., Hettich R. Fullerenes from the geological environment // Science. 1992. Vol. 257. N 5067. P. 215–217.
5. Andrievsky G.V., Bruskov V.I., Tykhomyrov A.A., Gudkov S.V. Peculiarities of the antioxidant and radioprotective

effects of hydrated C<sub>60</sub> fullerene nanostructures *in vitro* and *in vivo* // Free Radic. Biol. Med. 2009. Vol. 47. N 6. P. 786–793.

6. Voznyakovskii A.P., Kudoyarov M.F. Piotrovskii L.B. Self-organization of fullerene molecules in thin polymeric films fullerenes // Fuller. Nanotub. Car. N. 2008. Vol. 16. N 5. P. 654–658.

7. Yablonskaya O.I., Ryndina T.S., Voikov V.L., Khokhlov A.N. A paradoxical effect of hydrated C<sub>60</sub>-fullerene at an ultralow concentration on the viability and aging of cultured Chinese hamster cells // Moscow Univ. Biol. Sci. Bull. 2013. Vol. 68. N 2. P. 63–68.

8. Voikov V.L., Yablonskaya O.I. Stabilizing effects of hydrated fullerenes C<sub>60</sub> in a wide range of concentrations on luciferase, alkaline phosphatase, and peroxidase *in vitro* // Electromagn. Biol. Med. 2015. Vol. 34. N 2. P. 160–166.

9. Маторин Д.Н., Осипов В.А., Яковлева О.В., Погосян С.И. Определение состояния растений и водорослей по флуоресценции хлорофилла. Учебно-методическое пособие. М.: МАКС Пресс, 2010. 116 с.

10. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. EPA-821-R-02-012. U.S. Environmental Protection Agency, 2002. 275 p.

11. Oberdörster E., Zhuc S., Blickley M., McClellan-Greend P., Haasch M. Ecotoxicology of carbon-based engi-

neered nanoparticles: Effects of fullerene (C<sub>60</sub>) on aquatic organisms // Carbon. 2006. Vol. 44. N. 6. P. 1112–1120.

12. Даллакян Г.А., Исакова Е.Ф., Гершкович Д.М. Действие шунгита на ракообразных и его влияние на токсичность бихромата калия // Токсикол. вестн. 2016. № 5. С. 53–58.

Поступила в редакцию  
31.03.2017

Принята в печать  
15.06.2017

## HYDROBIOLOGY

### THE COMBINED EFFECT OF HEAVY METALS AND SHUNGITE ON INDICATOR PLANKTON ORGANISMS

G.A. Dallakyan\*, D.M. Gershkovich, V.I. Ipatova, E.F. Isakova

Department of Hydrobiology, School of Biology, Lomonosov Moscow State University,  
Leninskiye gory 1–12, Moscow, 119234, Russia

\*e-mail: honaris@bk.ru

The combined effect of salts of heavy metals and schungite on the test organisms of phyto- and zooplankton has been studied. The toxic effect, of both cadmium sulfate and potassium dichromate on the culture of *Scenedesmus quadricauda* was inactivated in the presence of schungite (100 g/l). The efficiency of photosynthesis, the number of cells, the proportion of living cells and the lifetime of the microalgal cell population increased after adding schungite to the medium (without toxicants). In addition, in acute experiments with a duration up to 96 hrs, the toxicity of potassium dichromate, copper sulfate and cadmium sulfate on crustaceans (*Daphnia magna* and *Ceriodaphnia affinis*) was determined in the presence of schungite (0.01 g/l) and without schungite. The study of the action of schungite on crustaceans showed that it protects, both *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia affinis*, from the action of toxicants at the minimum concentration (0.01 g/l) of the five tested concentrations. At higher concentrations of schungite, *Daphnia magna* died. It was shown that the acute toxicity of heavy metals for two species of crustaceans decreases in the series Cu–Cd–Cr. An analysis of the obtained data showed that the schungite concentrations necessary for the inactivation of heavy metals are thousands of times higher for algae than for crustaceans. Therefore, for the use of schungite as a protector against the toxic effects of various substances, a preliminary laboratory analysis of the survival of different species of hydrobionts in a specific aquatic environment is needed.

**Keywords:** schungite, *Scenedesmus quadricauda*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia affinis*, heavy metals, photosynthetic efficiency, survival

#### Сведения об авторах

Даллакян Генарис Арменакович – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-916-676-18-99; e-mail: honaris@bk.ru

Гершкович Дарья Михайловна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-926-548-76-01, e-mail: papirus451@yandex.ru

Ипатова Валентина Ивановна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-903-263-87-11; e-mail: viipatova@hotmail.com

Исакова Евгения Филипповна – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры гидробиологии биологического факультета МГУ. Тел.: 8-916-015-27-57, e-mail: evgenia\_isakova@mail.ru