

ЭКОЛОГИЯ ECOLOGY

DOI 10.22363/2313-2310-2021-29-4-305-314

УДК 504.054:504.738:574.632:574.21

Научная статья / Research article

Исследование взаимодействия ксенобиотиков с макрофитами в условиях экспериментальных водных экосистем

В.А. Поклонов¹✉, В.В. Глебов²,
Д.А. Аскарлова³, В.В. Ерофеева³, Е.В. Аникина³

¹Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия

³Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

✉ warvir@rambler.ru

Аннотация. Дана оценка фитотоксичности трех видов органических ксенобиотиков (этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан) при воздействии на три вида макрофитов *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Chara fragilis*. В микрокосмах созданы концентрации поллютантов по 5 и 10 ПДК (предельно допустимая концентрация). Инкубация продолжалась 14 дней. Экспериментальным путем получена новая информация о том, что макрофит *C. fragilis* является высокочувствительным тест-объектом, который можно использовать в целях биоиндикации. Ксенобиотики не оказали токсического воздействия на *E. canadensis*, поэтому ее можно рассматривать для использования в целях фиторемедиации. Полученные данные необходимы для развития фитотехнологий по очистке воды. Представлены условия, при которых эти виды растений могут быть использованы для экотехнологий.

Ключевые слова: пресная вода, химическое загрязнение, фитотоксичность, фиторемедиация, водные растения, инкубация, микрокосмы, сапробность, биоиндикация, ксенобиотики

Вклад авторов. В.А. Поклонов проделал опыты в лаборатории, подготовил раздел «Материалы и методы». В создании остальных разделов участвовал частично. В.В. Глебов помог описать раздел «Обсуждение». В.А. Поклонов, Д.А. Аскарлова, В.В. Ерофеева и Е.В. Аникина написали введение. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения.

История статьи: поступила в редакцию 06.06.2021; принята к публикации 26.09.2021.

Для цитирования: *Поклонов В.А., Глебов В.В., Аскарова Д.А., Ерофеева В.В., Аникина Е.В.* Исследование взаимодействия ксенобиотиков с макрофитами в условиях экспериментальных водных экосистем // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2021. Т. 29. № 4. С. 305–314. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-4-305-314>

Study of interaction of xenobiotics with macrophytes in experimental aquatic ecosystems

Vladislav A. Poklonov¹, Viktor V. Glebov²,
Danara A. Askarova³, Victoria V. Erofeeva³, Elizaveta V. Anikina³

¹*International Independent Ecological and Politological University, Moscow, Russia*

²*Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia*

³*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

 warvir@rambler.ru

Abstract. Phytotoxicity of three types of organic xenobiotics (ethyl acetate, butanol-1, tetrachloromethane) was evaluated when three macrophyte species *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Chara fragilis* were exposed. Pollutant concentrations of 5 and 10 MAC (maximum allowable concentration) were created in microcosms. Incubation lasted for 14 days. New information was obtained experimentally that *C. fragilis* macrophyte is a highly sensitive test object, which can be used for bioindication purposes. Xenobiotics had no toxic effects on *E. canadensis*, so it can be considered for phytoremediation purposes. The data obtained are necessary for the development of phytotechnologies for water purification. A number of conditions under which these plant species can be used for ecotechnology are shown.

Keywords: fresh water, chemical pollution, phytotoxicity, phytoremediation, aquatic plants, incubation, microcosms, saprobicity, bioindication, xenobiotics

Authors' contributions. V.A. Poklonov made experiments in the laboratory and prepared the chapter “Materials and Methods.” Partially participated in the creation of other chapters. V.V. Glebov helped describe the “Discussion” section. V.A. Poklonov, D.A. Askarova, V.V. Erofeeva and E.V. Anikina wrote the introduction. All authors have summed up the results.

Article history: received 06.06.2021; revised 26.09.2021.

For citation: Poklonov VA, Glebov VV, Askarova DA, Erofeeva VV, Anikina EV. Study of interaction of xenobiotics with macrophytes in experimental aquatic ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2021;29(4):305–314. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-4-305-314>

Введение

На сегодняшний день одним из комплексных актуальных вопросов в экологии остается проблема загрязнения водной среды, масштабность которого с каждым годом растет. Оно оказывает значимое влияние на почвенное и атмосферное состояние среды. В результате активной хозяйственной деятельности человека в различные водные системы могут поступать различные

токсиканты, имеющие разный уровень токсического воздействия. Часто такие токсиканты оказывают губительное воздействие на биоорганизмы [1].

Изучение экологии водных организмов (гидробионтов) выявило новые примеры того, как они воздействуют на физические и химические параметры окружающей среды [2; 3], в том числе на свойства гидросферы [4; 5].

В литературе мало информации о воздействии органических ксенобиотиков на макрофиты, поэтому актуально их исследование и на таких организмах, как высшие водные растения. Необходимо продолжение изучения и сопоставления фактов о взаимодействии растений с различными видами ксенобиотиков [6]. Причинами поступления в биосферу органических загрязнителей являются различные виды антропогенного (техногенного) загрязнения среды, а местом их накопления – многие компоненты биосферы, в том числе водные экосистемы и водные макрофиты [7].

В последнее время все острее стоит проблема загрязнения водных объектов вредными компонентами. Например, сегодня в Волгу поступает 20 кубокилометров сточных вод в год. Для их разбавления «до нормы» требуется 600 кубокилометров чистой воды, а среднегодовой сток Волги составляет только 250. Отсюда можно сделать вывод, что воды Волги более чем в 3 раза «грязнее» допустимого. От этих загрязнений страдает не только Волга, но и Каспийское море, в которое она впадает [8].

Вследствие антропогенного влияния в окружающую среду и, в частности, в пресноводные системы в глобальном масштабе поступают большие количества токсичных органических веществ разной степени опасности: этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан.

Пары данных ксенобиотиков являются элементом кислотных дождей. Ксенобиотики могут использоваться на стройплощадках, вода от которых может отводиться в канализацию или непосредственно в землю или водоемы. Органические поллютанты ведут к отравлению грунтовой воды и разрушению жизни в естественных водоемах [9].

Этилацетат – это уксусноэтиловый эфир ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$), который довольно часто применяется как растворитель из-за невысокой стоимости препарата и относительно небольшой токсичности используемого вещества. Годовое мировое производство этилацетата растет. Например, в Соединенных Штатах Америки производство этилового спирта выросло в 10 раз, а его годовое производство составило 1,2–1,3 млрд¹. ПДК 0,2; класс опасности – 2 (табл. 1).

Известно, что в Москве 2 февраля 2015 г. произошла значительная утечка этилацетата. Запах вещества ощущался по всему юго-западному округу с населением 1 437 242 чел.²

Бутанол-1 представляет собой первичный спирт, который широко применяется в народном хозяйстве в качестве растворителя лакокрасочных из-

¹ ГОСТ 8981–78. Эфиры этиловый и нормальный бутиловый уксусной кислоты технические. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, 4). М.: Издательство стандартов, 1993. 18 с.

² МЧС: этилацетат выявлен в канализации на юго-западе Москвы. URL: <https://ria.ru/20150202/1045461067.html> (дата обращения: 22.05.2021).

делий, различных смол (натуральных и синтетических), растительных масел и алкалоидов. Бутанол-1 широко используется фармацевтической (создание препаратов и химикалий), кожевенно-обувной, текстильной и химической промышленностью. Физико-химическое воздействие бутанола-1 на пресноводные экосистемы неизвестно³. ПДК 0,1; класс опасности – 2 (табл. 1).

Таблица 1

**ПДК в водоемах хозяйственно-питьевого
и культурно-бытового водопользования используемых веществ⁴**

Вещество	ПДК, мг/л	Класс опасности
Этилацетат	0,2	2
Бутанол-1	0,1	2
Тетрахлорметан	0,002	1

Table 1

**MPC in the reservoirs of economic-drinking
and cultural-household water use of the used substances⁵**

Substance	MPC, mg/L	Hazard class
Ethyl acetate	0.2	2
Butanol-1	0.1	2
Carbon tetrachloride	0.002	1

Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод, фреон-10, хладон-10, СС14) нашел широкое применение в народном хозяйстве страны в качестве растворителя различных смол, жиров, лакокрасочных изделий и т. д. Вместе с этим существует предположение, что тетрахлорметан может оказывать разрушительное воздействие на озоновый слой Земли. Ядовит как в жидком, так и в парообразном виде⁶. ПДК 0,002; класс опасности – 1 (табл. 1).

Сегодня основными источниками тетрахлорметана являются промышленные утечки и места захоронения отходов, содержащих это вещество. В прошлом, когда четыреххлористый углерод широко использовался, он был основным веществом, загрязняющим воздух в помещении. Считается, что у него нет естественных источников. К особенностям физико-химических реакций тетрахлорметана относят: 1) способность аккумулироваться в больших количествах в водных объектах; 2) достигающую года продолжительность разрушения в озерах и грунтовых водах. Известно о большой утечке тетрахлорметана в удмуртском поселке Балезино 21 марта 2012 г., когда произошел несанкционированный слив нескольких десятков тонн опасных химических отходов в заброшенное хранилище битума. Как сообщало рес-

³ ГОСТ 5208–2013. Спирт бутиловый нормальный технический. Технические условия (Переиздание: ноябрь 2019 г. взамен ГОСТ 5208-81). М.: Стандартинформ, 2019. 30 с.

⁴ ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003. 152 с.

⁵ GN 2.1.5.1315-03. Hygienic Norms “Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in Water Bodies for Drinking and Cultural and Domestic Use.” Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation; 2003. (In Russ.)

⁶ ГОСТ 4–84. Углерод четыреххлористый технический. Технические условия (с Изменениями № 1, 2 взамен ГОСТ 4–75). М.: Издательство стандартов, 2001. 27 с.

публиканское управление Росприроднадзора, в железнодорожных цистернах находился четыреххлористый углерод⁷. Последствия этого инцидента для окружающей среды скрыты.

Вопросы оценки токсичности химических веществ тесно связаны с обширным кругом фундаментальных и прикладных проблем экологических наук. В настоящей статье сообщается о новых фактах фитотоксичности органических ксенобиотиков, ранее не исследованных на водных макрофитах. Поэтому важное значение имеют методы фитотестирования, которые помогают в оценке токсичности химических веществ и дают возможность проведения комплексного экологического мониторинга токсичности без использования животных в качестве биообъекта, что важно с точки зрения требований биоэтики [10].

Статья является продолжением ранее опубликованных работ, посвященных исследованиям в области факториальной экологии. Взаимодействие макрофитов с данными веществами происходило впервые. Получена новая информация, необходимая для развития основ фитотехнологий по очищению водных экосистем.

В предыдущей работе изучалось воздействие нитробензола, этилбензола, анилина, ксилола и стирола на высшие водные растения [9]. Также было проведено исследование по выявлению токсичности СПАВ-содержащего смешанного препарата при взаимодействии с водной растительностью [11].

Цель работы – выявить фитотоксичность органических ксенобиотиков (этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан) для трех видов высших водных растений (*Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Chara fragilis*).

Материалы и методы

В качестве тест-объектов использовались *Ceratophyllum demersum* L. (роголистник темно-зеленый, семейство Роголистниковые – *Ceratophyllaceae* G.), *Elodea canadensis* Mchk. (элодея канадская, семейство Водокрасовые – *Hydrocharitaceae* Juss.), *Chara fragilis* L. (хара ломкая, семейство Харовые – *Characeae* L.).

Диапазон жизни *Ceratophyllum demersum* доходит до 66 параллели северной широты, *Chara fragilis* – до 69 параллели. *Elodea canadensis* распространена во многих местах по всему миру. В естественных условиях быстро размножается, поэтому ее называют водяной чумой. Одной ее веточки достаточно, чтобы заполнить собой через несколько лет весь пруд или даже реку.

До проведения опытов эти виды макрофитов содержались в условиях оранжереи в ботаническом саду Московского государственного университета в больших резервуарах с водой, прошедшей обработку фильтрацией через мембраны.

Все изучаемые в данной работе органические вещества являются токсикантами как для окружающей среды, так и для человека.

⁷ ГОСТ 4–84. Углерод четыреххлористый технический. Технические условия (с Изменениями № 1, 2 взамен ГОСТ 4–75). М.: Издательство стандартов, 2001. 27 с.; Четыреххлористый углерод (тетрахлорметан): URL: <https://ria.ru/20120321/601995852.html> (дата обращения: 22.05.2021).

Концентрации загрязняющих веществ в микрокосмах подбирались таким образом, чтобы составлять по 5 и 10 ПДК каждое. Использовали ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (см. табл. 1).

Опыты проводили в пресноводных микрокосмах. Всего было задействовано 36 микрокосмов + 3 контрольных микрокосма без добавления ксенобиотиков. Итого: 39 экспериментальных систем (табл. 2).

Таблица 2

Состав микрокосмов				
Вещество	Добавка 5 ПДК, номера микрокосмов, названия макрофитов и вес побегов в граммах		Добавка 10 ПДК, номера микрокосмов, названия макрофитов и вес побегов в граммах	
	<i>Ceratophyllum demersum</i>		<i>Ceratophyllum demersum</i>	
Этилацетат	1А-32,2	1В-41,7	1С-28,9	1D-29,1
Бутанол-1	2А-30,0	2В-51,2	2С-24,6	2D-26,2
Тетрахлорметан	3А-31,7	3В-32,5	3С-27,5	3D-23,8
<i>Elodea canadensis</i>				
Этилацетат	4А-28,2	4В-28,6	4С-29,7	4D-27,6
Бутанол-1	5А-23,0	5В-25,3	5С-29,8	5D-29,0
Тетрахлорметан	6А-23,7	6В-24,0	6С-23,7	6D-20,1
<i>Chara fragilis</i>				
Этилацетат	7А-35,8	7В-43,5	7С-51,4	7D-55,6
Бутанол-1	8А-44,0	8В-53,8	8С-50,0	8D-47,1
Тетрахлорметан	9А-45,5	9В-52,0	9С-50,2	9D-42,6

Table 2

Composition of microcosms				
Substance	Supplement 5 MPC, microcosm numbers, macrophyte names, and shoot weight in grams		Supplement 10 MPC, microcosm numbers, macrophyte names, and shoot weight in grams	
	<i>Ceratophyllum demersum</i>		<i>Ceratophyllum demersum</i>	
Ethyl acetate	1A-32,2	1B-41,7	1C-28,9	1D-29,1
Butanol-1	2A-30,0	2B-51,2	2C-24,6	2D-26,2
Carbon tetrachloride	3A-31,7	3B-32,5	3C-27,5	3D-23,8
<i>Elodea canadensis</i>				
Ethyl acetate	4A-28,2	4B-28,6	4C-29,7	4D-27,6
Butanol-1	5A-23,0	5B-25,3	5C-29,8	5D-29,0
Carbon tetrachloride	6A-23,7	6B-24,0	6C-23,7	6D-20,1
<i>Chara fragilis</i>				
Ethyl acetate	7A-35,8	7B-43,5	7C-51,4	7D-55,6
Butanol-1	8A-44,0	8B-53,8	8C-50,0	8D-47,1
Carbon tetrachloride	9A-45,5	9B-52,0	9C-50,2	9D-42,6

В качестве контроля взяли по одному пресноводному микрокосму на каждый вид растения.

В микрокосмы добавляли ксенобиотики по 5 ПДК, данная концентрация равнялась: этилацетат – 1 мг/л, бутанол-1 – 0,5 мг/л, тетрачлорметан – 0,01 мг/л (см. табл. 1).

Добавка ксенобиотиков в микрокосмы по 10 ПДК составила: этилацетат – 2 мг/л, бутанол-1 – 1 мг/л, тетрачлорметан – 0,02 мг/л (см. табл. 1).

После создания микрокосмов их инкубировали в условиях естественной фотопериодичности при температуре воды 22 ± 2 °С в течение 14 суток (2 недели).

Результаты и обсуждение

Наблюдения за микрокосмами показали, что тестируемые органические ксенобиотики проявляли неодинаковую токсичность к водным растениям. У роголистника (*C. demersum*) не было признаков фитотоксичности на протяжении всего эксперимента при взаимодействии с тетрахлорметаном. В микрокосмах, где был инкубирован *C. demersum* вместе с веществами этилацетат и бутанол-1 в концентрации 10 ПДК, на третьи сутки появились неприятный запах и мутность воды и ощущался запах добавленных веществ. В концентрации 5 ПДК вода не была мутной, но присутствовал запах веществ.

На четвертые сутки макрофит *C. demersum* погиб в концентрации 10 ПДК под воздействием этилацетата и бутанола-1. Наблюдались следующие негативные явления в сосудах 1С, 1D, 2С, 2D: сильная мутность воды, запах гнили, практически отсутствие тургора. В концентрации 5 ПДК с *C. demersum* (1А, 1В, 2А, 2В) вода начала мутнеть, тургор снижаться.

На пятые сутки констатируется гибель *C. demersum* во всех концентрациях с этилацетатом и бутанолом-1 (1А, 1В, 1С, 1D, 2А, 2В, 2С, 2D). Во всех микрокосмах общие признаки фитотоксичности: сильная мутность воды, запах гнили, отсутствие тургора растений. Необходимо дополнительное изучение токсического воздействия органических ксенобиотиков в отношении *C. demersum*.

У элодеи (*E. canadensis*), как и у роголистника (*C. demersum*) не было признаков фитотоксичности на протяжении всего эксперимента при взаимодействии с тетрахлорметаном.

Фитотоксический эффект у *E. canadensis* от этилацетата и бутанола-1 наблюдался только на шестые сутки и только в микрокосмах с концентрацией 10 ПДК (4С, 4D, 5С, 5D). Появился гнилостный запах. Запах добавленных веществ фиксировался в течение всего инкубационного периода. По-видимому, побеги *E. canadensis* погибли в концентрации 10 ПДК (4С, 4D, 5С, 5D).

На восьмые сутки у *E. canadensis* в концентрации 5 ПДК в сосудах с этилацетатом (4А, 4В) наблюдалась небольшая мутность, но неприятного запаха не было и тургор не снижался. В микрокосмах с бутанолом-1 (5А, 5В) ощущался запах вещества и наблюдались незначительное снижение тургора и мутность воды.

На последние (четырнадцатые) сутки в концентрации 5 ПДК в микрокосмах (4А, 4В, 5А, 5В) с добавлением этилацетата и бутанола-1 побеги *E. canadensis* сохранили жизнеспособность. Тургор в норме, запахи добавленных веществ и гнилостные процессы отсутствовали, но имелось небольшое количество отмерших побегов в микрокосмах: 4А – 3 %, 4В – 5 %, 5А – 8 %, 5В – 6 %.

Самым чувствительным тест-объектом к загрязняющим веществам оказалась хара ломкая (*C. fragilis*). Вода сильно помутнела на вторые сутки в сосудах с *C. fragilis* при взаимодействии с тетрахлорметаном (9А, 9В, 9С, 9D)

и бутанолом-1 (8А, 8В, 8С, 8D). Небольшая мутность воды была в микрокосмах с этилацетатом (7А, 7В, 7С, 7D). На третьи сутки фиксируется гибель *C. fragilis* во всех сосудах, во всех концентрациях.

На четвертые сутки в микрокосмах, где *C. fragilis* взаимодействовала с бутанолом-1 (8А, 8В, 8С, 8D) и этилацетатом (7А, 7В, 7С, 7D), происходили гнилостные процессы, отмечались сильная мутность воды, снижение тургора, ярко выраженный запах гнили, образовалась плотная густая пленка на поверхности воды. В сосудах с тетрахлорметаном (9А, 9В, 9С, 9D) фитотоксические эффекты были выражены чуть меньше: легкий запах гнили, слабая мутность воды, снижение тургора, густая пленка на поверхности воды.

В контрольных микрокосмах никаких изменений во время инкубационного периода не наблюдалось.

Заключение

По проведенному биотестированию гидробионтов можно сделать следующие выводы.

1. Самым слабым из использованных гидробионтов оказалась хара (*C. fragilis*). Она погибла раньше всех во всех концентрациях и при взаимодействии со всеми испытанными ксенобиотиками. Опыт показал, что макрофит *C. fragilis* является высокочувствительным тест-объектом, который можно использовать при проведении биоиндикации.

2. *E. canadensis* смогла выдержать загрязнение всеми тремя ксенобиотиками, участвующими в опыте (этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан). Это делает элодею потенциальным фиторемедиационным видом, который можно использовать на практике для разработки фитотехнологий по восстановлению водоемов от химического загрязнения.

3. Тетрахлорметан не проявил токсичности при взаимодействии с *C. demersum* и *E. canadensis*. В работе впервые получены доказательства способности элодеи канадской и роголистника темно-зеленого выдерживать определенную степень нагрузки ксенобиотика первого класса опасности (тетрахлорметан).

4. Результаты проведенных экспериментов подтверждают и расширяют сведения о фиторемедиационном потенциале *Ceratophyllum demersum* (роголистник темно-зеленый), *Elodea canadensis* (элодея канадская), *Chara fragilis* (хара ломкая), которые могут быть использованы на практике для разработки новых экотехнологий с целью снижения опасности загрязнения водной среды, что входит в число приоритетов современной экологии.

5. Впервые получены данные о токсичности трех видов органических ксенобиотиков (этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан) по отношению к пресноводной растительности (опыты без использования животных). Изучение устойчивости водных растений к загрязняющим веществам в экспериментальных экосистемах – необходимый компонент в планировании научных основ биотехнологий (фиторемедиация) с использованием макрофитов. Таким образом, полученные данные представляют интерес в связи с возможностью определять устойчивость очистительных фитосистем к нагрузкам высокотоксичных ксенобиотиков.

Список литературы

- [1] *Мохова О.Н., Македонская И.Ю., Новикова Ю.В., Мельник Р.А.* Оценка экологического состояния вод бухты благополучия о. Соловецкий по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // *Экологическая химия*. 2018. Т. 27. № 5. С. 270–279.
- [2] *Добровольский Г.В.* О развитии некоторых концепций учения о биосфере // *Вода: технология и экология*. 2007. № 1. С. 63–68.
- [3] *Добровольский Г.В.* К 80-летию выхода в свет книги В.И. Вернадского «Биосфера» // *Экологическая химия*. 2007. № 16 (3). С. 135–143.
- [4] *Kapitsa A.P.* Formulation of fundamental principles for foundation of the theory of the apparatus of the biosphere // *Environment Ecology and Safety of Life Activity*. 2007. No 1. Pp. 68–71. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4931.2161>
- [5] *Абакумов В.А.* Инновационные подходы к восстановлению и ремедиации загрязненных водных объектов // *Вода: технология и экология*. 2007. № 4. С. 69–73.
- [6] *Соломонова Е.А., Остроумов С.А.* Изучение устойчивости водного макрофита *Potamogeton crispus* L. к додецилсульфату натрия // *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*. 2007. № 4. С. 39–42.
- [7] *Поклонов В.А., Остроумов С.А.* Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на бобовые культуры // *Экологическая химия*. 2019. Т. 28. № 5. С. 244–249.
- [8] *Касьяненко А.А.* Современные методы оценки рисков в экологии: учебное пособие. М.: РУДН, 2008. 271 с.
- [9] *Поклонов В.А.* Токсическое воздействие органических ксенобиотиков на три вида высших водных растений // *Вода: химия и экология*. 2017. Т. 110. № 8. С. 88–93.
- [10] *Остроумов С.А.* Тестирование токсичности химических веществ без использования животных // *Экологическая химия*. 2016. Т. 25. № 1. С. 5–15.
- [11] *Поклонов В.А.* Изучение устойчивости пресноводных растений к спав-содержащему смесиному препарату // *Вестник СВФУ*. 2017. № 2. С. 28–38.

References

- [1] *Mokhova ON, Makedonskaya IY, Novikova YuV, Melnik RA.* Estimation of hydrochemical and hydrobiological aspects of the environment in the Blagopoluchiya bay of Solovetsky island. *Ecological Chemistry*. 2018;27(5):270–279. (In Russ.)
- [2] *Dobrovolsky GV.* On the development of some concepts of the biosphere doctrine. *Water: Technology and Ecology*. 2007;(1):63–68. (In Russ.)
- [3] *Dobrovolsky GV.* To the 80th Anniversary of V.I. Vernadsky’s book “Biosphere.” *Ecological Chemistry*. 2007;(3):135–143. (In Russ.)
- [4] *Kapitsa AP.* Formulation of fundamental principles for foundation of the theory of the apparatus of the biosphere. *Environment Ecology and Safety of Life Activity*. 2007;(1):68–71. (In Russ.) <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4931.2161>
- [5] *Abakumov VA.* Innovative approaches to rehabilitation and remediation of polluted water bodies. *Water: Technology and Ecology*. 2007;(4):69–73. (In Russ.)
- [6] *Solomonova EA, Ostroumov SA.* Tolerance of an aquatic macrophyte *Potamogeton crispus* L. to sodium dodecyl sulphate. *Bulletin of Moscow University. Series 16. Biology*. 2007;(4):39–42. (In Russ.)
- [7] *Poklonov VA, Ostroumov SA.* Effect of synthetic surfactants on legume crops. *Ecological Chemistry*. 2019;28(5):244–249. (In Russ.)
- [8] *Kasyanenko AA.* *Modern methods of risk assessment in ecology: textbook*. М.: RUDN University; 2008. (In Russ.)
- [9] *Poklonov VA.* The toxic effect of organic xenobiotics on three species of higher aquatic plants. *Water: Chemistry and Ecology*. 2017;110(8):88–93. (In Russ.)
- [10] *Ostroumov SA.* Toxicity testing of chemicals without the use of animals. *Ecological Chemistry*. 2016;25(1):5–15. (In Russ.)

- [11] Poklonov VA. The study of the stability of freshwater plants to synthetic surfactants-containing mixed product. *Bulletin of NEFU*. 2017;(2):28–38. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Поклонов Владислав Александрович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водоподготовки, водоочистки и экологического мониторинга водных объектов, Международный независимый эколого-политологический университет, Российская Федерация, 117105, Москва, Варшавское шоссе, д. 23. ORCID: 0000-0003-2722-7283, eLIBRARY SPIN-код: 6635-8026. E-mail: warvir@rambler.ru

Глебов Виктор Васильевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49. ORCID: 0000-0002-3390-161X, eLIBRARY SPIN-код: 2685-5454. E-mail: vg44@mail.ru

Аскарлова Данара Аскарровна, соискатель кафедры судебной экологии с курсом экологии человека, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6 ORCID: 0000-0002-1594-7622, eLIBRARY SPIN-код: 9305-1472. E-mail: danara.84@mail.ru

Ерофеева Виктория Вячеславовна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры судебной экологии с курсом экологии человека, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-0236-1876, eLIBRARY SPIN-код: 6894-8056. E-mail: erofeeva-viktori@mail.ru

Аникина Елизавета Вячеславовна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры судебной экологии с курсом экологии человека, Институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-1872-1792, eLIBRARY SPIN-код: 7286-6973. E-mail: likanika2008@yandex.ru

Bio notes:

Vladislav A. Poklonov, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Water Treatment, Water Purification and Environmental Monitoring of Water Bodies of the International Independent Ecological and Politological University, 23 Varshavskoye Shosse, Moscow, 117105, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-2722-7283, eLIBRARY SPIN-code: 6635-8026. E-mail: warvir@rambler.ru

Viktor V. Glebov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127550, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3390-161X, eLIBRARY SPIN-code: 2685-5454. E-mail: vg44@mail.ru

Danara A. Askarova, Candidate of the Department of Forensic Ecology with a Course in Human Ecology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1594-7622, eLIBRARY SPIN-code: 9305-1472. E-mail: danara.84@mail.ru

Victoria V. Erofeeva, Candidate of Biological Sciences, senior lecturer, Department of Forensic Ecology with a Course in Human Ecology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-0236-1876. E-mail: erofeeva-viktori@mail.ru

Elizaveta V. Anikina, Candidate of Biological Sciences, senior lecturer, Department of Forensic Ecology with a Course in Human Ecology, Institute of Environmental Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1872-1792. E-mail: likani-ka2008@yandex.ru