

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1430

EDN: WVTHLI

УДК 57.084.1



Научная статья

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕДУР БИОТЕСТИРОВАНИЯ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

А.С. Олькова

Аннотация

Обоснование. В методологии биотестирования остаются проблемными вопросы поиска целевых биотестов, количества оцениваемых тест-функций организмов, а также поддержания чувствительности тест-культуры в диапазоне, заданном методикой.

Целью исследования было обобщение научных подходов, способствующих повышению качества процедур биотестирования и их результатов: выбор наиболее подходящих методик, поддержание качества лабораторной культуры, реализация системного биотестирования с использованием нескольких конечных точек одного организма.

Методы исследования. В течение 2006-2024 гг. велись научно-исследовательские работы в лаборатории биотестирования Вятского государственного университета (г. Киров, Россия), по результатам которых далее были предложены научно обоснованные подходы повышения качества процедур биотестирования.

Результаты. В работе предложены три направления повышения качества процедур биотестирования для специализированных лабораторий. Алгоритм выбора метода биотестирования должен основываться на определении чувствительности доступных методов анализа. Подход работает, когда известны основные загрязнители (приоритетные токсиканты). Кроме того, рекомендуется проводить регулярный внутрилабораторный контроль качества тест-культуры, включающий оценку чувствительности организмов к эталонному токсиканту и набор показателей жизнедеятельности. Для многоклеточных организмов это средняя продолжительность жизни, начало размножения, суточный прирост смертности и т.д.; для одноклеточных – прирост биомассы или количества клеток. Затем, для прогноза воздействие загрязнения на окру-

жающую среду, рекомендуется оценить несколько конечных точек воздействия на один стандартизированный вид.

Выводы. Реализация концепции «обоснованный выбор методов + качество тест-культуры + оценка спектра реакций организма» позволит сэкономить трудовые и временные ресурсы, получить воспроизводимые результаты, что особенно важно в условиях длительного экологического мониторинга.

Ключевые слова: биотестирование; мониторинг окружающей среды; качество тест-культуры; выбор биотестов; системное биотестирование

Для цитирования. Олькова, А. С. (2025). Повышение качества процедур биотестирования в специализированных лабораториях. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 124-139. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1430>

Original article

QUALITY IMPROVEMENT BIOASSAY PROCEDURE IN SPECIALIZED LABORATORIES

A.S. Olkova

Abstract

Background. In the methodology of bioassay, the issues of searching for target biotests, the number of evaluated test-functions of organisms, as well as maintaining the sensitivity of the test-culture in the range specified by the methodology remain problematic.

The aim of the study was to generalize scientific approaches that contribute to improving the quality of bioassay procedures and their results: choosing the most appropriate techniques, maintaining the quality of laboratory culture, implementing systemic bioassay using several endpoints of one organism.

Research methods. During 2006-2024, research work was carried out in the laboratory of bioassay at Vyatka State University (Kirov, Russia), according to the results of which scientific approaches to improving the quality of bioassay procedures were further proposed.

Results. The paper suggests three ways to improve the quality of bioassay procedures for specialized laboratories. The algorithm for selecting the bioassay method should be based on determining the sensitivity of the available methods of analysis. The approach works when the main pollutants (priority toxicants) are known. In addition, it is recommended to conduct regular in-laboratory quality con-

trol of the test culture, including an assessment of the sensitivity of organisms to a reference toxicant and a set of vital signs. For multicellular organisms, this is the average duration of life, the beginning of reproduction, the daily increase in mortality, etc.; for single-celled organisms, it is an increase in biomass or the number of cells. Then, in order to predict the environmental impact of pollution, it is recommended to estimate a few endpoints of exposure per standardized species.

Conclusion. The implementation of the concept of “reasonable choice of methods + quality of test-culture + assessment of the spectrum of body reactions” will save labor and time resources, obtain reproducible results, which is especially important in conditions of long-term environmental monitoring.

Keywords: bioassay; environmental monitoring; quality of test culture; selection of bioassays; systemic bioassay

For citation. Olkova, A. S. (2025). Quality improvement bioassay procedure in specialized laboratories. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 124-139. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1430>

Введение

Биотестирование – это комплекс методологических подходов, направленных на определение реакций одного или нескольких организмов на тестируемую среду. В научно-исследовательских работах, производственном экологическом контроле и мониторинге сред и объектов чаще всего тест-средами являются природные и сточные воды, почва и грунты, отходы, отдельные химические соединения и их комбинации, и даже воздух.

В методологии биотестирования сложились несколько векторов развития:

- разработка новых методик биотестирования, что связано с запросами на повышение чувствительности тест-организмов, в том числе избирательной, к приоритетным загрязняющим веществам, с одновременной простотой их лабораторного культивирования, а также этической необходимостью перехода на биотестирование с помощью выделенных клеток или тканей (*in vitro*) [7, 10];

- разработка приборов для автоматизированного биотестирования или части процедуры. Их надежность до сих пор сравнивают с результатами классических визуальных биотестов [6];

- поиск новых тест-функций организмов (конечных точек). Важно оценивать предлетальные ответные реакции организмов, поскольку именно так можно определить относительно низкие концентрации токсикантов, способные вызвать нарушения в окружающей среде [3];

- оценка и интерпретация результатов токсикологического анализа. Известно, что природный состав воды или почвы значительно влияет на проявление токсичных свойств загрязняющих веществ [9]. Комбинации загрязняющих веществ приводят к модификации токсических эффектов [13].

Несмотря на признанную важность методов биотестирования в оценке состояния окружающей среды и экологическом мониторинге, специалисты признают ряд проблем, свойственных группе методов. Например, в разных лабораториях может различаться не только чувствительность тест-культуры, но и некоторые морфологические параметры составляющих её особей (цвет, размер и т.д.). Использование набора методов («батареи биотестов») экологически оправдано, но экономически не целесообразно. При этом методики предполагают оценку одной или нескольких тест-функций подопытных организмов, тогда как специалист визуально может заметить гораздо больше изменений, которые никак не отразятся на заключении о токсичности исследованной среды.

Целью данной работы стало обобщение научных подходов, способствующих повышению информативности методов биотестирования, а именно – выбору наиболее подходящих методик, поддержанию качества лабораторной культуры, реализации системного биотестирования с использованием нескольких конечных точек одного организма.

Материалы и методы исследования

Подходы оптимизации методов биотестирования сформированы по результатам многолетних (2006-2024 гг.) научно-исследовательских работ с использованием методов биотестирования. Основные экспериментальные работы проведены в аккредитованной научно-исследовательской экоаналитической лаборатории Вятского государственного университета (г. Киров, Россия) и легли в основу концепции биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов [2].

В данной статье представлен итог этих исследований - концепция «обоснованный выбор методов + качество тест-культуры + оценка спектра реакций организма», а также материалы апробации предложенных подходов.

Апробация проводилась на природных водах, отобранных в окружающей среде, а также на природных водах с внесением дополнительного моделируемого загрязнения. В экспериментах в основном использовались аттестованные методики биотестирования (табл. 1). Для разработки системного биотестирования по множеству тест-функций *D. magna* вводился учет дополнительных параметров жизнедеятельности рачков.

Таблица 1.

Характеристика основных методик биотестирования, используемых в работе

Методика	Тест-организм	Тест-функция / функции	Продолжительность теста
ФР 1.39.2007.03222	<i>Daphnia magna</i> Straus, 1820	Смертность / плодовитость	96 часов / 24 дня
ФР 1.39.2007.03221	<i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg, 1900	Смертность / плодовитость	48 часов / 12 дней
ФР 1.39.2015.19242	<i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg, 1838	Хемотаксическая реакция	30 минут
ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04	<i>Escherichia coli</i> Migula, 1895, штамм М17	Биоллюминесценция	30 минут

Проводилось как моделирование загрязнения воды и почвы методом внесения известных массовых долей токсикантов, так и биотестирование природных сред и техногенных объектов, накопивших загрязняющие вещества вследствие антропогенной деятельности.

Результаты и их обсуждение**Выбор методов биотестирования**

Алгоритм обоснованного выбора методов биотестирования должен быть основан на ранжировании чувствительности биотестов к тем веществам, которые потенциально будут присутствовать в пробах. Так, в сельскохозяйственных почвах приоритетными токсикантами являются пестициды, а в сточных водах металлургического завода – тяжелые металлы. Предлагаемый алгоритм заключается в следующем:

1. Определение летальных и витальных концентраций интересующего вещества или комбинации соединений по базовому биотесту. Им может быть метод определения токсичности водной среды по смертности *Daphnia magna* Straus, введенный в практику биотестирования практически по всему миру.

Диапазон концентраций определяются согласно опубликованным данным либо согласно концентрациям, аналитически определяемым в тест-среде. Готовятся модельные растворы на основе природной воды района последующих исследований. Это позволяет сразу учесть эффекты совместного действия токсиканта и веществ, входящих в химический состав природной воды.

2. Биотестирование модельных растворов приоритетных токсикантов с использованием других тест-организмов, отличающихся от *D. magna* по биологической систематике и трофическому уровню. Желательно, чтобы набор тест-организмов представлял продуцентов, консументов и редуцентов, а также одноклеточные и многоклеточные организмы. В первую очередь тестируют летальные концентрации для *D. magna*, далее нелетальные, но действующие концентрации. При значительных отличиях чувствительности от *D. magna* необходимо увеличить серию растворов.

3. Сравнение результатов разных биотестов и демонстрация шкал их чувствительности.

Сравнение необходимо проводить по отклику биотестов на массовые концентрации испытуемого вещества, а не на действующие предельно допустимые концентрации, поскольку нередко возникают разногласия по виду используемого норматива и их корректности.

4. Определение хронических и отсроченных эффектов испытуемого вещества (смеси). При этом удобно использовать биотест на *D. magna*. Ускоренным вариантом является определение хронической токсичности по плодовитости *Ceriodaphnia affinis*.

Таблица 2.

Пример матрицы чувствительности биотестов.

Уровень чувствительности биотестов показан знаками и цветом: «+» – минимальная (белый), «++» – средняя (оранжевый), «+++» – «желтый», «++++» – максимальная чувствительность (зеленый) [2]

Токсикант			Биотест / оцениваемая реакция			
			Смертность <i>D. magna</i>	Смертность <i>C. affinis</i>	Биолуминесценция <i>E. coli</i>	Хемотаксис <i>P. caudatum</i>
Минеральные вещества	Cu	Тяжелые металлы	+	++	++++	+++
	Cd		+++	++	+	++++
	Pb		++	+++	+	++++
	Zn		+++	++	+	++++
	NO ₃ ⁻	Минеральные формы азота	+++	++++	+	++
	NO ₂ ⁻		+++	++++	+	++
	NH ₄ ⁺		+++	++++	++	+
	NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺		+++	++++	+	++
	NO ₂ ⁻ + NH ₄ ⁺		+++	++++	++	+
	(P _x O _y) ^{z-}	Пирофосфаты и фосфаты	+	++	++++	+++

Органические вещества	Имазетапир	Гербициды	+	++	+++	++++
	Имазамокс		+	++	+++	++++
	Нефтепродукты (бензин)		+	++	+++	++++

Включение в план исследований определения хронических эффектов проводится по необходимости. Например, в случае известного факта постоянного поступления в окружающую среду интересующего вещества.

Данный алгоритм апробирован на нескольких веществах. В таблице 2 указаны разные уровни чувствительности четырёх биотестов.

Десятки тысяч химических веществ и практически бесконечное количество потенциальных комбинаций химических и нехимических факторов стресса требуют методов определения приоритетности воздействия [11]. Описанный алгоритм способствует накоплению научных фактов о токсичности и особенностях действия на живые организмы множества поллютантов. При реализации долгосрочных мониторинговых программ, выбор целевого биотеста согласно показанному примеру матрицы чувствительности сэкономит трудовые и материальные ресурсы.

Поддержание качества лабораторной культуры

Каждая тест-культура требует разработки стандартных условий для её содержания, позволяющих длительное время поддерживать её здоровье.

В биотестировании главным инструментом анализа, датчиком токсичности, является живой тест-организм, чаще модельная популяция – культура тест-организмов. Выполнение функций культуры зависит от её здоровья. Под здоровьем культуры тест-организмов следует понимать её способность длительно существовать в качестве модельной популяции со стабильной продолжительностью жизни особей и сохранением способности к самовоспроизводству [2].

В экспериментах на *D. magna* провели оценку влияния факторов плотности популяции и температуры содержания организмов [8]. Именно эти факторы различаются в протоколах биотестирования, реализуемых в разных странах, и, к сожалению, до сих пор слабо контролируются в лабораториях.

Для базового тест-организма *D. magna* механизмы поддержания здоровья лабораторной культуры и, соответственно, её качества, таковы:

1. Необходимо проводить плановый контроль способности особей к размножению в контрольных условиях, то есть без токсического воздействия. Периодичность – 1 раз в 6 месяцев. Регулярное ведение карт Шухарта по этому показателю покажет тренд ухудшения здоровья модельной популяции.

2. Контроль показателя «день появления первой молоди» будет более оперативной мерой. Более того, наблюдение за этим показателем можно внедрить в оценку здоровья каждой новой синхронизированной группы *D. magna*. Критерием ухудшения здоровья культуры будет отставание в развитии особей на 5 и более дней по сравнению со средними ранее зафиксированными в благоприятный период значениями.

3. Один раз в год необходимо специально моделировать группу одновозрастных рачков и наблюдать за коэффициентом суточного прироста смертности. Показано, что этот параметр стабилен, его значительные отклонения укажут на проблемы здоровья культуры [8].

4. Соблюдение плотности культуры, рекомендованной методикой анализа, - важная процедура не только в период проведения экспериментов, но и на протяжении всего времени содержания культуры. Для *D. magna* она составляет 25 особей на 1 литр. Пониженная плотность культуры вызывает пики плодовитости и истощает культуру (снижается продолжительность жизни), повышенная плотность вызывает задержку развития особей.

5. Проведение экспериментов на установление чувствительности молоди *D. magna* к модельному токсиканту желательно сопровождать выстраиванием карт Шухарата, что позволит не только доказывать соответствие культуры требованиям методики, но и принимать превентивные меры при негативном тренде.

Предложенные параметры стандартизации условий культивирования и состояния тест-организма *D. magna* можно адаптировать и для других культур, используя ведущий принцип: регулярное отслеживание параметров жизнедеятельности всего жизненного цикла организмов. Предложенные мероприятия соответствуют концепции контроля качества и валидации биоанализа [12].

Системное биотестирование по спектру тест-функций одного тест-организма

Признано, что использование тест-функций, основанных на предельных эффектах загрязняющих веществ, наиболее целесообразно [4]. Однако, многие надежные методы биотестирования не содержат рекомендаций по фиксации и оценке дополнительных реакций организма-датчика,

которые могут проявиться в процессе экотоксикологического эксперимента. Системное биотестирование, заключающееся в оценке откликов одного биологического вида, последовательно проявляющихся в течение жизни организмов, укажет на токсикологические мишени загрязняющего вещества и будет способствовать учёту максимального количества реакций тест-организма.

Вновь была использована культура *D. magna*, у которой выделили 14 тест-функций, включающих наиболее подробное наблюдение за условным первым поколением подопытных особей, а также вторым и третьим поколениями, появившимися в тестируемой среде. Предлагаемая последовательность оценки тест-функций (конечных точек) состоит из доступных для учета показателей (табл. 3).

Таблица 3.

Перечень тест-функций, используемых для комплексной оценки токсичности водных сред [1]

№ п/п	Тест-функция	Способ учёта	Необходимость специальных приборов	Экспозиция
1	Смертность	Визуальный	Нет	96 часов
2	Двигательная активность	Визуальный	Нет	3-96 часов
3	Трофическая активность	Приборный	ИПС-03* или спектрофотометр	5 суток
4	Задержка или стимуляция созревания особей (по выводковым камерам)	Визуальный + микроскопирование	Микроскоп	5-10 суток
5	Уменьшение линейных размеров	Микроскопирование	Микроскоп с микрометром	10 и 25 суток
6	Пигментация тела	Визуальный	Нет	25 суток
7	Задержка появления первого потомства	Визуальный	Нет	7-12 суток
8	Качество «молочи»	Визуальный + микроскопирование	Микроскоп с микрометром	25 суток

9	Плодовитость	Визуальный	Нет	25 суток
10	Доля абортивных яиц от общего количества молодежи	Визуальный	Нет	Весь жизненный цикл
11	Средняя продолжительность жизни	Визуальный	Нет	Весь жизненный цикл
12	Смертность особей в поколениях F2 и F3	Визуальный	Нет	25 суток жизни особей F2 и F3
13	Плодовитость в поколениях F2 и F3	Визуальный	Нет	25 суток жизни особей F2 и F3
14	Доля абортивных яиц от общего числа молодежи в поколениях F2 и F3	Визуальный	Нет	25 суток жизни особей F2 и F3

Примечание: * - Измеритель плотности суспензии.

Ниже приведена схема биотестирования по набору тест-функций *D. magna* (рис. 1).



Рис. 1. Схема системного биотестирования по спектру тест-функций *D. magna* (БКР – безвредная кратность разбавления) [2]

Экспериментальная схема рассчитана на наиболее подробное наблюдение за первым поколением подопытных особей *D. magna*, которое происходит в течение всех их жизни. Вторым поколением считается молодь, полученная в эксперименте с условным первым поколением, которое также помещается в тестируемую среду. Аналогично формируется третье поколение. В результате отслеживаются:

1. Летальный эффект – итог острой интоксикации; у *D. magna* обычно проявляется в первые 4 дня опыта. При начале размножения рачков часто наблюдается высокая летальность новорожденных особей, поскольку они максимально чувствительны к химическим воздействиям;

2. Нелетальные эффекты – большинство наблюдаемых ответных реакций *D. magna*, которые часто связаны между собой статистически. Так, снижение линейных размеров особей в начале эксперимента затем приводит к снижению «качества молодежи», мертворождению и другим патологиям. Отметим, что «продолжительность жизни», как и при наблюдении за здоровьем культуры, является одним из наиболее важных и информативных показателей влияния водной среды на организмы.

3. К хроническим эффектам можно отнести общее количество молодежи, полученное в течение жизни всех наблюдаемых поколений. Отдельно можно рассматривать отсроченные эффекты, которые проявляются в результате оказанного воздействия в нескольких поколениях организмов. В том числе их можно выявить при снятии химического воздействия.

Комплекс нескольких тест-функций при тестировании действия веществ уже активно используется в фармакологии [5]. Его необходимо применять и для мониторинга окружающей среды. Такой подход позволит давать подробную характеристику исследуемых водных сред, новых веществ и материалов, прогнозировать их экотоксикологическое действие при попадании в окружающую среду.

Заключение

Оптимизация регулярно применяемых методов биотестирования будет заключаться в трех основных направлениях работы (рис. 2).

Все три блока взаимосвязаны между собой и предусматривают последовательное их осуществление на этапе планирования экологических исследований или экологического мониторинга с использованием методов биотестирования.

Предложенный алгоритм выбора биотестов позволяет сравнивать не разные тест-организмы, а пригодность конкретных методик биотестиро-

вания. Алгоритм применим, когда известны приоритетные загрязняющие вещества, регулярно поступающие в окружающую среду территории исследования.



Рис. 2. Оптимизация методов биотестирования для мониторинга окружающей среды и техногенных объектов

Блок контроля качества культуры направлен на получение воспроизводимых результатов. На примере *D. magna* показаны параметры здоровья тест-культуры, применяемых дополнительно к калибровке чувствительности к модельному токсиканту. Эти признаки помогут отделить сезонные колебания состояния тест-организмов от систематического ухудшения их здоровья. Предложенный алгоритм стандартизации тест-культуры может быть адаптирован для других биологических видов.

Системное биотестирование призвано для подробного изучения токсикологических эффектов интересующего вещества или их комбинаций. При таком подходе оцениваются как тест-функции ранней диагностики, так и отсроченные во времени эффекты.

Методология биотестирования продолжает развиваться. Многие современные разработки приводят к усложнению алгоритмов действий для исполнителей. Это не всегда обосновано, кроме того, не позволяет проводить массовое внедрение новых разработок. Предложенная схема оптимизации биотестирования направлена на выбор наиболее информативных методов, сокращение времени работы исполнителя, получение достоверных результатов.

Список литературы

1. Олькова, А. С. (2018). Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред. *Вода и экология: проблемы и решения*, 2(74), 40-50. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50> EDN: <https://elibrary.ru/XUAMAP>
2. Олькова, А. С. (2020). *Разработка стратегии биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов*: Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Владимир: Владимирский государственный университет, 359 с. EDN: <https://elibrary.ru/IRBGXV>
3. Capela, R., Garric, J., Castro, L. F. C., & Santos, M. M. (2020). Embryo bioassays with aquatic animals for toxicity testing and hazard assessment of emerging pollutants: A review. *Science of The Total Environment*, 705, 135740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135740> EDN: <https://elibrary.ru/VKMEUG>
4. Finlayson, K. A., van de Merwe, J. P., & Leusch, F. D. L. (2022). Review of ecologically relevant in vitro bioassays to supplement current in vivo tests for whole effluent toxicity testing - Part 2: Non-apical endpoints. *Science of The Total Environment*, 851(1), 158094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158094> EDN: <https://elibrary.ru/HAVIHT>
5. Frydrych, A., & Jurowski, K. (2024). Toxicity of minoxidil - Comprehensive in silico prediction of main toxicity endpoints: Acute toxicity, irritation of skin and eye, genetic toxicity, health effect, cardiotoxicity and endocrine system disruption. *Chemico-Biological Interactions*, 393, 110951. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2024.110951> EDN: <https://elibrary.ru/QSHBMY>
6. Ji, X., Challis, J. K., & Brinkmann, M. (2022). A critical review of diffusive gradients in thin films technique for measuring organic pollutants: Potential limitations, application to solid phases, and combination with bioassays. *Chemosphere*, 287(3), 132352. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132352> EDN: <https://elibrary.ru/HMGVHW>
7. Johnson, M., Finlayson, K., van de Merwe, J. P., & Leusch, F. D. L. (2024). Adaption and application of cell-based bioassays to whole-water samples. *Chemosphere*, 361, 142572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142572> EDN: <https://elibrary.ru/MNOIBS>
8. Olkova, A. S., Kantor, G. Y., Kutyavina, T. I., & Ashikhmina, T. Y. (2018). The importance of maintenance conditions of *Daphnia magna* Straus as a test organism for ecotoxicological analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(2), 376-384. <https://doi.org/10.1002/etc.3956> EDN: <https://elibrary.ru/XXDRQD>

9. Pronk, T. E., Hoondert, R. P. J., Kools, S. A. E., Kumar, V., & de Baat, M. L. (2024). Bioassay predictive values for chemical health risks in drinking water. *Environment International*, 188, 108733. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108733> EDN: <https://elibrary.ru/LYZOUG>
10. Rakaj, A., Morroni, L., Grosso, L., Fianchini, A., Pensa, D., Pellegrini, D., & Regoli, F. (2021). Towards sea cucumbers as a new model in embryo-larval bioassays: *Holothuria tubulosa* as test species for the assessment of marine pollution. *Science of The Total Environment*, 787, 147593. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147593> EDN: <https://elibrary.ru/XISBXM>
11. Rider, C. V. (2024). Toxicology and Risk Assessment of Combined Chemicals and Nonchemical Stressors. *Reference Module in Biomedical Sciences*, Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95488-4.00072-3>
12. Sabotič, J., Bayram, E., Ezra, D., Gaudêncio, S. P., Haznedaroğlu, B. Z., Janež, N., Ktari, L., Luganini, A., Mandalakis, M., Safari, I., Simes, D., Strode, E., Toruńska-Sitarz, A., Varamogianni-Mamatsi, D., Varese, G. C., & Vasquez, M. I. (2024). A guide to the use of bioassays in exploration of natural resources. *Biotechnology Advances*, 71, 108307. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108307> EDN: <https://elibrary.ru/AHXUML>
13. Sysolyatina, M. A., & Olkova, A. S. (2023). Potentization of the Toxic Effect of Copper in the Presence of Lanthanum in Bioassays for *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). *Biology Bulletin*, 50(10), 2677-2680. <https://doi.org/10.1134/S1062359023100163> EDN: <https://elibrary.ru/CJUPJD>

References

1. Olkova, A. S. (2018). Current trends in the development of the methodology of aquatic media biotesting. *Water and Ecology: Problems and Solutions*, 2(74), 40-50. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50> EDN: <https://elibrary.ru/XUAMAP>
2. Olkova, A. S. (2020). Development of a biotesting strategy for aquatic environments taking into account the multifactorial nature of test organism responses (Doctoral dissertation). Vladimir: Vladimir State University. 359 p. EDN: <https://elibrary.ru/IRBGXV>
3. Capela, R., Garric, J., Castro, L. F. C., & Santos, M. M. (2020). Embryo bioassays with aquatic animals for toxicity testing and hazard assessment of emerging pollutants: A review. *Science of The Total Environment*, 705, 135740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135740> EDN: <https://elibrary.ru/VKMEUG>
4. Finlayson, K. A., van de Merwe, J. P., & Leusch, F. D. L. (2022). Review of ecologically relevant in vitro bioassays to supplement current in vivo tests for whole

- effluent toxicity testing - Part 2: Non-apical endpoints. *Science of The Total Environment*, 851(1), 158094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158094> EDN: <https://elibrary.ru/HAVIHT>
5. Frydrych, A., & Jurowski, K. (2024). Toxicity of minoxidil - Comprehensive in silico prediction of main toxicity endpoints: Acute toxicity, irritation of skin and eye, genetic toxicity, health effect, cardiotoxicity and endocrine system disruption. *Chemico-Biological Interactions*, 393, 110951. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2024.110951> EDN: <https://elibrary.ru/QSHBMY>
 6. Ji, X., Challis, J. K., & Brinkmann, M. (2022). A critical review of diffusive gradients in thin films technique for measuring organic pollutants: Potential limitations, application to solid phases, and combination with bioassays. *Chemosphere*, 287(3), 132352. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132352> EDN: <https://elibrary.ru/HMGVHW>
 7. Johnson, M., Finlayson, K., van de Merwe, J. P., & Leusch, F. D. L. (2024). Adaption and application of cell-based bioassays to whole-water samples. *Chemosphere*, 361, 142572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142572> EDN: <https://elibrary.ru/MNOIBS>
 8. Olkova, A. S., Kantor, G. Y., Kutyavina, T. I., & Ashikhmina, T. Y. (2018). The importance of maintenance conditions of *Daphnia magna* Straus as a test organism for ecotoxicological analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(2), 376-384. <https://doi.org/10.1002/etc.3956> EDN: <https://elibrary.ru/XXDRQD>
 9. Pronk, T. E., Hoondert, R. P. J., Kools, S. A. E., Kumar, V., & de Baat, M. L. (2024). Bioassay predictive values for chemical health risks in drinking water. *Environment International*, 188, 108733. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108733> EDN: <https://elibrary.ru/LYZOUG>
 10. Rakaj, A., Morroni, L., Grosso, L., Fianchini, A., Pensa, D., Pellegrini, D., & Regoli, F. (2021). Towards sea cucumbers as a new model in embryo-larval bioassays: *Holothuria tubulosa* as test species for the assessment of marine pollution. *Science of The Total Environment*, 787, 147593. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147593> EDN: <https://elibrary.ru/XISBXM>
 11. Rider, C. V. (2024). Toxicology and Risk Assessment of Combined Chemicals and Nonchemical Stressors. *Reference Module in Biomedical Sciences*, Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95488-4.00072-3>
 12. Sabotič, J., Bayram, E., Ezra, D., Gaudêncio, S. P., Haznedaroğlu, B. Z., Janež, N., Ktari, L., Lukanini, A., Mandalakis, M., Safari, I., Simes, D., Strode, E., Toruńska-Sitarz, A., Varamogianni-Mamatsi, D., Varese, G. C., & Vasquez, M. I. (2024). A guide to the use of bioassays in exploration of natural re-

sources. *Biotechnology Advances*, 71, 108307. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108307> EDN: <https://elibrary.ru/AHXUML>

13. Sysolyatina, M. A., & Olkova, A. S. (2023). Potentization of the Toxic Effect of Copper in the Presence of Lanthanum in Bioassays for *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). *Biology Bulletin*, 50(10), 2677-2680. <https://doi.org/10.1134/S1062359023100163> EDN: <https://elibrary.ru/CJUPJD>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Олькова Анна Сергеевна, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»
ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr08617@vyatsu.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Anna S. Olkova, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management
Vyatka State University
36, Moskovskaya Str., 610000, Kirov, Russian Federation
usr08617@vyatsu.ru
SPIN-code: 4874-9240
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>
ResearcherID: E-8963-2018
Scopus Author ID: 57195523346

Поступила 14.08.2024

После рецензирования 20.09.2024

Принята 23.10.2024

Received 14.08.2024

Revised 20.09.2024

Accepted 23.10.2024