

Оригинальная статья

УДК 57.044

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-222-231>

РЕАКЦИЯ ЛИЧИНОК КОМАРА-ЗВОНЦА *CHIRONOMUS RIPARIUS* MEIGEN (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАНТАНА, МЕДИ И ИХ СМЕСИ

М. А. Сысолятина¹, Р. А. Ложкина², И. И. Томилина², А. С. Олькова^{1✉}

¹ Вятский государственный университет

Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

² Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок

Поступила в редакцию 08.07.2024 г., после доработки 08.11.2024 г., принята 08.11.2024 г., опубликована 24.07.2025 г.

Аннотация. Проведена оценка влияния лантана, меди и их смеси на личиночную стадию комара-звонца *Chironomus riparius* Meigen, 1804 по показателям смертности и изменению линейных размеров. Отмечено статистически не значимое ($r_s = 0.70$, $p = 0.19$) увеличение гибели личинок хирономид при возрастании концентрации La^{3+} в воде. Максимальная смертность личинок (47%) зарегистрирована в растворе с концентрацией 160 мкмоль La^{3+} /л. Низкие концентраций La^{3+} и Cu^{2+} и их эквимольные комбинации (0.8 и 0.16 мкмоль/л) во всех вариантах снижали выживаемость особей (от 2.3 до 5.2 раз), кроме раствора, содержащего 0.8 мкмоль Cu^{2+} /л. Выживаемость личинок в данном растворе оказалась в 3 раза выше контрольных значений (эссенциальный эффект). Линейные размеры тест-организма во всех вариантах экспериментов были значимо ниже контроля. Максимальное снижение морфометрического показателя (длины) под воздействием смеси веществ составило 18 – 19% по отношению к контролю. Следовательно, для *Ch. riparius* доказано негативное влияние La^{3+} и его совместного действия с Cu^{2+} , о чём ранее не сообщалось.

Ключевые слова: токсичность, медь, лантан, совместное действие металлов, *Chironomus riparius*

Финансирование. Работа частично проведена в рамках государственного задания Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН «Роль абиотических и биотических факторов в формировании физиолого-биохимических и иммунологических показателей гидробионтов» (№ 124032500015-7).

Соблюдение этических норм. Протоколы с использованием животных были одобрены Комиссией по биоэтике Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (протокол № 18 от 06.05.2024 г.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Для корреспонденции. Кафедра экологии и природопользования Вятского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Сысолятина Мария Александровна: <https://orcid.org/0000-0002-7671-3993>, usr22523@vyatsu.ru; Ложкина Роза Андреевна: <https://orcid.org/0000-0003-3087-0691>, lozhkina.roza@yandex.ru; Томилина Ирина Ивановна: <https://orcid.org/0000-0002-5266-877X>, i_tomilina@mail.ru; Олькова Анна Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>, usr08617@vyatsu.ru.

Для цитирования. Сысолятина М. А., Ложкина Р. А., Томилина И. И., Олькова А. С. Реакция личинок комара-звонца *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) на воздействии лантана, меди и их смеси // Поволжский экологический журнал. 2025. № 2. С. 222 – 231. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-222-231>

ВВЕДЕНИЕ

Редкоземельные элементы (РЗЭ) нашли широкое применение в новых отраслях технологии. В настоящее время увеличивается производство с их использованием, расширяется ассортимент продукции (комплектующие компьютеров, медицинская техника, оптические приборы) (Opape et al., 2021). Также увеличиваются объёмы добычи и использования тяжелых металлов (ТМ). Следовательно, объёмы производственных, сточных и бытовых отходов, содержащих РЗЭ (Petrenko et al., 2022) и ТМ (Elumalai et al., 2023), неуклонно возрастают.

Известно, что РЗЭ обладают низкой токсичностью по сравнению с другими группами металлов, например, ТМ (Sysolyatina, Olkova, 2023). Однако необходимо учитывать, что в окружающей среде и внутренней среде организмов происходят физико-химические и биохимические взаимодействия поллютантов и органических метаболитов, приводящие к увеличению токсичности элемента. Для прогноза действия смесей веществ в окружающей среде необходимо проводить целевые лабораторные исследования.

Вода и донные отложения (ДО) водоемов являются неотъемлемой средой обитания для многих гидробионтов. Значительная часть загрязняющих веществ (ЗВ) поступает в водные объекты в результате смыва талыми и дождевыми водами, а также при сбросе коммунально-промышленных стоков. В водных системах ДО являются депонирующей средой для многих ТМ и РЗЭ, адсорбируя около 99% ЗВ. Например, для озер умеренного климата, расположенных вне зоны добычи и переработки РЗЭ, были зафиксированы средние значения общего содержания РЗЭ от 15 до 18 мг/кг сухой массы (Amyot et al., 2017). В почвах крупнейшего в мире месторождения РЗЭ Баян Обо (Китай) отмечена самая высокая концентрация РЗЭ, которая достигает 27 549.58 мг/кг, что создает опасность специфического загрязнения ближайших водоемов (Li et al., 2008).

Бентосные организмы – обитатели поверхности дна и ДО – одни из чувствительных и информативных индикаторов в водоёмах, способные улавливать загрязнение такого уровня (Corbi et al., 2019). Так, накопление суммы РЗЭ у донных беспозвоночных из арктических озер находилось в диапазоне 0.22 – 42 мг/кг (MacMillan et al., 2017), из озер умеренного пояса 0.47 – 37 мг/кг сухой массы (Amyot et al., 2017).

Комары-звонцы (Diptera, Chironomidae) – массовые и повсеместно распространенные в природе двукрылые насекомые. Большую часть жизненного цикла они проводят в личиночной стадии. Их личинки – обитатели бентоса, питаются взвешенным веществом ДО, аккумулирующим большую часть ЗВ. В большинстве водоемов личинки хирономид составляют доминирующую группу по численности и являются основной кормовой базой для рыб, тем самым участвуя в процессах

биомагнификации. Подвижность личинок хирономид ограничена, а продолжительный срок жизни приводит к биоаккумуляции ЗВ, оказывающих влияние на выживаемость и морфометрические показатели. Следовательно, личинок *Ch. riparius* можно применять в качестве тест-организмов при исследовании влияния РЗЭ и их соединений с другими веществами, в том числе с ТМ, на водные экосистемы.

Цель работы – провести оценку влияния сульфата лантана, сульфата меди и их смеси на выживаемость и морфометрические показатели личинок комара-звонца *Ch. riparius*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили на личинках комара-звонца *Chironomus riparius* Meigen 1804, длительно культивируемых в лаборатории на незагрязненном грунте и отстоянной артезианской воде. Личинок I стадии развития длиной 2 – 3 мм рассаживали по 30 шт. в каждую чашку Петри, содержащую 40 мл экспериментального раствора (Ingersoll, Nelson, 1990). По мере испарения добавляли водные растворы до начального уровня. Продолжительность эксперимента составила 18 суток. В ходе экспериментов животных кормили суспензией кормовых дрожжей из расчета 0.25 мг/личинку, корм добавляли по мере выедания.

Все эксперименты проводили в трех повторностях. Поддерживали оптимальные условия среды: температуру воды $22 \pm 2^\circ\text{C}$, pH 7.0 – 8.0, растворенный кислород на уровне насыщения, фотопериод: свет:темнота 16:8. Гибель личинок на момент завершения эксперимента в контроле составила $9 \pm 1.7\%$.

Проводили 2 серии экспериментов. В первой – изучали влияние на личинок хирономид растворов $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в ряду концентраций 0.16, 0.8, 1.6, 16 и 160 мкмоль/л в расчете на ион La^{3+} в условиях хронического эксперимента.

Во второй – проводили сравнение индивидуального действия ионов Cu^{2+} , La^{3+} и действия аналогичного количества (мкмоль/л) смеси ионов металлов, в которой половина ионов представлена более токсичным металлом (Cu^{2+}), другая половина – менее токсичным ионом La^{3+} .

В качестве контроля и при приготовлении растворов использовали питьевую воду централизованного водоснабжения пос. Борок (Ярославская область, Россия). Основные показатели качества воды артезианской скважины: pH 7.6 ± 0.4 , перманганатная окисляемость < 3.0 мгО/дм³, жесткость 4.74 ± 0.71 мг-экв/дм³, железо общее 0.7 ± 0.23 , нитраты 1.1 ± 0.31 , хлориды 8.67 ± 0.87 , сульфаты 17.9 ± 1.79 мг/л, медь общая – ниже предела обнаружения (по данным аналитического центра Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН).

Результаты обрабатывали статистически с использованием программного обеспечения STATGRAPHICS Centurion XV.I (StatPoint, Inc., США). Данные представляли в виде $x \pm SD$, где x – среднее значение, SD – среднее квадратичное отклонение параметра. Значимость различий оценивали методом дисперсионного анализа (ANOVA, LSD-тест). Для оценки корреляционных связей между исследованными параметрами и концентрациями ионов в растворе использовали непараметрический коэффициент Спирмена r_s , $p = 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние La^{3+} на смертность и линейные размеры личинок *Ch. riparius*.

Для всего диапазона исследуемых концентраций сульфата лантана (0.16 – 160 мкмоль/л в расчете на La^{3+}) отмечено снижение размеров тела личинок *Ch. riparius* (рис. 1).

Статистически значимое снижение линейных размеров личинок наблюдали в диапазоне 0.16 – 16 мкмоль/л. В растворе, содержащем максимальную концентрацию La^{3+} (160 мкмоль/л), зафиксирована статистически недостоверная тенденция к уменьшению размеров личинок по сравнению с контролем. Для последовательно возрастающего ряда концентраций La^{3+} линейные размеры личинок относительно значений в контроле снижались на 11, 22, 26, 19 и 5% соответственно.

Смертность особей к концу эксперимента во всех вариантах была значимо выше, чем в контроле – увеличиваясь в ряду от 21 до 47%.

Таким образом, гибель особей на протяжении всего эксперимента и снижение линейных размеров личинок свидетельствуют о хронической токсичности сульфата лантана в диапазоне концентраций 0.16 – 160 мкмоль/л. Наименьший токсический эффект отмечен для концентраций 0.16 и 0.8 мкмоль/л.

Влияние La^{3+} , Cu^{2+} и их смеси на личинок *Ch. riparius*. На рис. 2 представлены результаты влияния минимально действующих концентраций $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и их смесей (0.16, 0.8 мкмоль/л в расчете на ион металла или их сум-

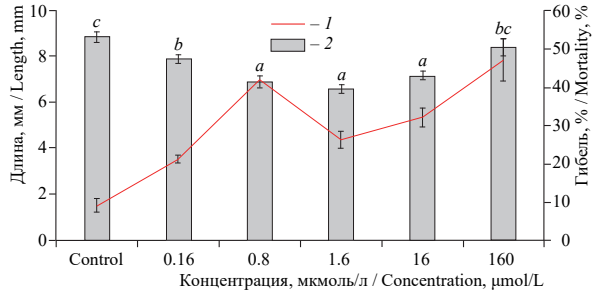


Рис. 1. Смертность (1) и линейные размеры (2) личинок *Ch. riparius* в растворах с возрастающими концентрациям La^{3+} . Здесь и на рис. 2, 3 данные представлены в виде среднего значения и его стандартного отклонения; разноименные буквенные индексы указывают на значимые различия между вариантами ($p < 0.05$)

Fig. 1. Mortality (1) and linear sizes (2) of *Ch. riparius* larvae in solutions with increasing La^{3+} concentrations. Data are presented as the mean value and its standard deviation; differently labeled letter indices indicate significant differences between variants ($p < 0.05$)

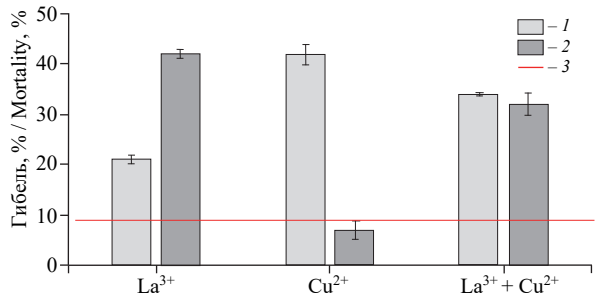


Рис. 2. Влияние ионов La^{3+} и Cu^{2+} на смертность личинок *Ch. riparius* на момент завершения эксперимента (18 суток): 1 и 2 – концентрация 0.16 и 0.8 мкмоль/л, 3 – контроль

Fig. 2. Effect of La^{3+} and Cu^{2+} ions on the mortality of *Ch. riparius* larvae at the end of the experiment (18 days): 1 and 2 are the concentration of 0.16 and 0.8 μmol/L, 3 – the control

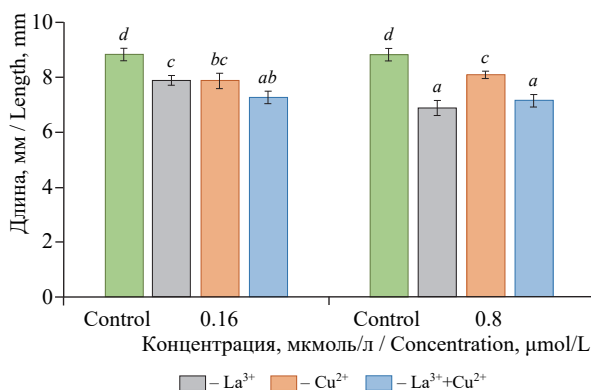


Рис. 3. Влияние La³⁺, Cu²⁺ и их эквимоларных концентраций на линейные размеры личинок *Ch. riparius*

Fig. 3. Effect of La³⁺, Cu²⁺ and their equimolar concentrations on the linear size of *Ch. riparius* larvae

составило 3.8 и 3.6 раз соответственно. Таким образом, действие смесей было близким к максимальным эффектам индивидуальных растворов.

Зарегистрировано значимое снижение линейных размеров личинок хирономид по сравнению с контролем во всех исследуемых растворах (рис. 3). Максимальный эффект наблюдался в растворах, содержащих смесь металлов. Так, в варианте «0.16 мкмоль La³⁺/л» уменьшение размеров личинок составило 11% от контроля, а для эквимоларной концентрации смеси веществ линейные размеры тест-организма снизились еще на 18%.

Таким образом, установлено, что Cu²⁺, как эссенциальный элемент, при ее низких концентрациях в водной среде может оказывать стимулирующее действие, связанное с увеличением выживаемости и линейных размеров личинок комара-звонца, тогда как La³⁺ такого свойства не имеет. При исследовании комбинации La³⁺ и Cu²⁺ эссенциальный эффект нивелируется.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Бентосные организмы часто являются наиболее уязвимым звеном водной экосистемы. Высокая чувствительность личинок *Ch. riparius* к токсикантам подтверждена (Mantill et al., 2018; Gareeva et al., 2019; Youbi et al., 2020). В представленной работе тестировались растворы с концентрациями Cu²⁺ и La³⁺, не оказывающими летального действия в условиях острого опыта: 0.16 – 0.8 мкмоль/л, что соответствует 22.4 – 112.2 мкг/л La³⁺ и 5.12 – 25.6 мкг/л Cu²⁺. Сопоставимые и более высокие концентрации Cu²⁺ встречаются в естественных водоёмах, например, в воде Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища отмечено максимальное содержание Cu²⁺ – 50.4 мкг/л (Tomilina et al., 2018). Средняя концентрация La³⁺ в воде Рыбинского водохранилища достигала 0.045 мкг/л (Gareeva, 2013). В связи с

му). В ряду исследованных концентраций зафиксирован высокий уровень смертности личинок. Для концентраций 0.16 и 0.8 мкмоль La³⁺/л гибель особей была выше контрольных значений в 2.3 и 4.7 раза соответственно. Начиная гибель тест-организма в растворах, содержащих Cu²⁺, наблюдалась только при концентрации 0.16 мкмоль Cu²⁺/л. Интересно, что при воздействии смеси солей при концентрациях 0.16 и 0.8 мкмоль/л эффект был одинаковым. Увеличение смертности по сравнению с контролем со-

увеличением добычи лантана и включением его в состав новых сплавов можно ожидать возрастание его концентраций в воде и ДО водоемов.

Присутствие в водной среде сульфата лантана приводило к уменьшению размеров личинок *Ch. riparius*, что согласуется с данными о действии других РЗЭ. Так, в работе (Cardon et al., 2019) отмечено уменьшение размера личинок *Ch. riparius* на 10 – 18% в зависимости от концентрации иттрия (Y) (от 15 до 465 мкг/кг) в ДО. Однако статистически значимой зависимости длины тела тест-организмов от концентрации La^{3+} в растворе не выявлено ($r_s = 0.30$, $p = 0.63$). Возможно, это связано с постепенной гибелью тест-организмов в ходе эксперимента, варьирующей в модельных вариантах. Так, увеличение линейных размеров личинок в растворе с максимальной концентрацией (160 мкмоль/л) по сравнению с другими вариантами происходит на фоне закономерно высокой смертности гидробионтов (47%). В этом случае снижается конкуренция за топические и трофические ресурсы, и выжившие особи получают большую возможность физиологического развития. В работе (Olkova et al., 2018) показано, что снижение плотности тест-организмов в среде обитания значимо влияет на оцениваемые в процессе биотестирования параметры. Этим же объясняются близкие значения морфометрических параметров (6.88 и 6.56 мм, $p > 0.05$) при возрастании действующих концентраций от 0.8 до 16 мкмоль/л.

Зависимость «концентрация – смертность» оказалась статистически не значимой ($r_s = 0.70$, $p = 0.19$). Предполагаем, что модернизация методики в сторону увеличения концентраций экспериментальных параллелей позволила бы получить значимый результат. Тем не менее, нами установлена тенденция увеличения гибели тест-организма при повышении концентрации. Личинки *Ch. riparius* чувствительны и к другим РЗЭ. Например, Y в ДО в концентрации 465 мг/кг сухой массы снижал выживаемость особей до 72% (Cardon et al., 2019). Действие максимальной из испытанных концентраций La^{3+} (160 мкмоль/л) выражалось в критических 47% гибели личинок. Известно, что смертность популяции около 50% и выше приводит к угрозе существования видов при данной токсической нагрузке (Purvis et al., 2000).

При тестировании растворов сульфата меди установлено, что при наименьшей концентрации металла, равной 0.16 мкмоль/л, гибель особей в 4.7 раз выше, чем в контроле, тогда как при концентрации 0.8 мкмоль/л выживаемость личинок в 3 раза больше контрольных. Линейные размеры *Ch. riparius* были ниже контрольных ($p < 0.05$), но при концентрации Cu^{2+} равной 0.8 мкмоль/л были выше, чем при концентрации 0.16 мкмоль/л. Это можно объяснить тем, что медь в низких концентрациях действует как эссенциальный элемент. Имеются многочисленные сведения об эффектах гормезиса у разных организмов в условиях низких концентраций ТМ (Expósito et al., 2021; Hansul et al., 2021; Kosarev et al., 2022), в том числе меди (Galstyan et al., 2024).

В эксперименте с низкими концентрациями сульфата меди, сульфата лантана и их смесей показано, что комбинация La^{3+} и Cu^{2+} действует на показатель смертности по типу суммирования. Однако, при рассмотрении предлетальных эффектов, установлено совместное действие металлов, превышающее эффекты токсикантов

вне смеси – синергизм (для варианта «0.16 мкмоль/л»). Известно, что смеси веществ часто оказывают более значительную нагрузку на организмы, чем индивидуальное вещество (Hanana et al., 2021).

Данные о токсичности РЗЭ для гидробионтов до сих пор противоречивы. Сообщается о низкой токсичности РЗЭ для гидробионтов (Jesús Lora-Benítez et al., 2024). Действительно, по результатам биотестирования угнетение двигательной активности *D. magna* и иммобилизация особей происходили при воздействии концентраций Cu^{2+} на 3 порядка меньших, чем La^{3+} , при этом установлен опасный с экологической точки зрения эффект увеличения токсичности Cu^{2+} в присутствии La^{3+} (Sысолятина, Олкова, 2022). Для бентосных организмов опасность поступления в среду обитания РЗЭ связана со способностью этих металлов образовывать малорастворимые комплексные соединения со взвешенными веществами (Zilber et al., 2024), которые затем поступают с пищей в организм и могут переходить в более доступные формы в их внутренней среде. В этом случае токсичность ТМ и РЗЭ может оказаться схожей, что показано в данной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты с возрастающими концентрациями La^{3+} показали, что данный металл может быть опасен для бентосных организмов. Отмечена тенденция снижения выживаемости и линейных размеров тела личинок *Ch. riparius* с повышением концентрации.

Сульфат лантана, сульфат меди, а также их смеси влияли на биологические параметры *Ch. riparius*, увеличивая смертность и снижая размеры тела в большинстве вариантов. При сравнении действия низких эквимольных концентраций La^{3+} и Cu^{2+} установлено, что медь как эссенциальный элемент может повышать выживаемость организмов. У лантана таких свойств в отношении *Ch. riparius* не обнаружено. Таким образом, личинки *Ch. riparius* являются чувствительным тест-организмом по отношению к La^{3+} , а также к комбинации La^{3+} и Cu^{2+} .

С экологической точки зрения это означает, что даже низкие концентрации токсикантов могут приводить к гибели бентосных организмов в водоеме, снижая кормовую базу рыб. А выжившие особи могут участвовать в процессах биомагнификации токсикантов.

Полученные результаты могут быть полезны для планирования программ экологического мониторинга водных объектов, потенциально загрязняемых РЗЭ и их соединениями с другими металлами. Представленные данные актуализируют дальнейшие исследования эффектов РЗЭ в окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Amyot M., Clayden M. G., MacMillan G. A., Person T., Ascott-Gavin A. Fate and trophic transfer of rare earth elements in temperate lake food webs. *Environmental Science & Technology*, 2017, vol. 51, iss. 11, pp. 6009–6017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00739>

Cardon P. Y., Triffault-Bouchet G., Caron A., Rosabal M., Fortin C., Amyot M. Toxicity and subcellular fractionation of yttrium in three freshwater organisms: *Daphnia magna*, *Chironomus riparius* and *Oncorhynchus mykiss*. *ACS Omega*, 2019, vol 4, iss. 9, pp. 13747–13755. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b01238>

Corbi J. J., Bernegossi A. C., Moura L., Felipe M. C., Issa C. G., Silva M. R. L., Gorni G. R. *Chironomus sancticaroli* (Diptera, Chironomidae) as a sensitive test species: Can we rely on its use after repeated generations, under laboratory conditions? *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2019, vol. 103, iss. 2, pp. 213–217. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02644-8>

Elumalai S., Prabhu K., Selvan G. P., Ramasamy P. Review on heavy metal contaminants in freshwater fish in South India: Current situation and future perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, iss. 57, pp. 119594–119611. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30659-6>

Expósito N., Carafa R., Kumar V., Sierra J., Schuhmacher M., Papiol G. G. Performance of *Chlorella vulgaris* exposed to heavy metal mixtures: linking measured endpoints and mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, vol. 18, iss. 3, article no. 1037. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031037>

Galstyan M., Matevosyan L., Zadayan M., Ghukasyan A., Harutyunyan S., Sargsyan K., Mkrtychyan A., Osipova R. Assessment of the impact of micro fertilizers on winter wheat and winter barley crops under the Sevan basin conditions. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2024, vol. 7, no. 4, pp. 199–210. <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i4.1292>

Gapeeva M. V. Heavy metals in water and sediments of the Rybinsk reservoir. *Water: Chemistry and Ecology*, 2013, no. 5, pp. 3–7 (in Russian).

Gapeyeva M. V., Kuchay L. A., Lozhkina R. A. Empiric relationship between the growth of *Chironomus riparius* larvae and the content of the elements of the group of metals in the composition of freshwater bottom sediments under laboratory conditions. *Hydrobiological Journal*, 2019, vol. 55, iss. 1, pp. 44–49. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i1.40>

Hanana H., Kowalczyk J., André C., Gagné, F. Insights on the toxicity of selected rare earth elements in rainbow trout hepatocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2021, vol. 248, article no. 109097. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109097>

Hansul S., Fettweis A., Smolders E., De Schampelaere K. Interactive metal mixture toxicity to *Daphnia magna* populations as an emergent property in a dynamic energy budget individual-based model. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2021, vol. 40, iss. 11, pp. 3034–3048. <https://doi.org/10.1002/etc.5176>

Ingersoll C. G., Nelson U. M. Testing sediment toxicity with *Hyaella azteca* (Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Diptera). In: Landis W. G., Schalie van der W. H., eds. *Aquatic Toxicology and Risk Assessment*. Philadelphia, ASTM International, 1990, vol. 43, pp. 16–18. <https://doi.org/10.1520/STP20101S>

Jesús Lora-Benítez A., Molina-López A. M., Mora-Medina R., Aguilar-Herrera J. E., Ayala-Soldado N., Moyano-Salvago R. Evaluation of acute toxicity of neodymium and yttrium in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Frontiers in Environmental Science*, 2024, vol. 12, article no. 1390948. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1390948>

Kosarev A. V., Ivanov D. E., Kamenets A. F. The effect of manganese ions (II) on representatives of aquatic biota. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 949, article no. 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012013>

Li J. X., Hong M., Yin X. Q. Accumulation and geochemical characteristics of exogenous rare earths in soil of leeward area of tailings dam of Baotou Iron & Steel (Group) Company. *Chinese Rare Earths*, 2008, vol. 29, pp. 57–62.

Mantill J. G., Gomes L., Cristancho M. A. The differential expression of *Chironomus* spp genes as useful tools in the search for pollution biomarkers in freshwater ecosystems. *Briefings in Functional Genomics*, 2018, vol. 17, iss. 3, pp. 151–156. <https://doi.org/10.1093/bfpg/elx021>

MacMillan G. A., Chételat J., Heath J. P., Mickpegak R., Amyot M. Rare earth elements in freshwater, marine, and terrestrial ecosystems in the eastern Canadian Arctic. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2017, vol. 19, iss. 10, pp. 1336–1345. <https://doi.org/10.1039/C7EM00082K>

Olkova A. S., Kantor G. Y., Kutuyavina T. I., Ashikhmina T. Y. The importance of maintenance conditions of *Daphnia magna* Straus as a test organism for ecotoxicological analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2018, vol. 37, no. 2, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1002/etc.3956>

Opore E. O., Struhs E., Mirkouei A. A comparative state-of-technology review and future directions for rare earth element separation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 143, article no. 110917. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110917>

Petrenko D. B., Erofeeva K. G., Okina O. I. Rare earth elements in the environment: concentrations, migration characteristics and methods of determination (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 1, pp. 6–16 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-006-016>

Purvis A., Gittleman J. L., Cowlishaw G., Mace G. M. Predicting extinction risk in declining species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2000, vol. 267, pp. 1947–1952. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1234>

Sysolyatina M. A., Olkova A. S. Potentiation of the toxic action of copper in the presence of lanthanum in bioassays for *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 4, pp. 483–490 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-4-483-490>

Sysolyatina M. A., Olkova A. S. Sources of rare earth elements in the environment and their impact on living organisms. *Environmental Reviews*, 2023, vol. 31, no. 2, pp. 206–217. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0081>

Tomilina I. I., Gapeeva M. V., Lozhkina R. A. Assessment of water quality and bottom sediments of the Volga river reservoirs based on toxicity and chemical composition. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences*, 2018, iss. 82, pp. 107–131 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2018-1-0015>

Youbi A., Zerguine K., Houilia A., Farfar K., Soumati B., Berrebah H., Réda Djebbar M., Souiki L. Potential use of morphological deformities in *Chironomus* (Diptera: Chironomidae) as a bioindicator of heavy metals pollution in North-East Algeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, iss. 8, pp. 8611–8620. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07459-y>

Zilber L., Parlanti E., Fortin C. Impact of organic matter of different origins on lanthanum speciation, bioavailability and toxicity toward a green alga. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 2024, vol. 5, article no. 1342500. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2024.1342500>

Reaction of midge larvae *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) to the exposure to lanthanum, copper and their mixture

M. A. Sysolyatina¹, R. A. Lozhkina², I. I. Tomilina², A. S. Olkova^{1✉}

¹ Vyatka State University

36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

² Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
Borok, Nekouzsky district, Yaroslavl oblast 152742, Russia

Received: July 8, 2024 / revised: November 8, 2024 / accepted: November 8, 2024 / published: July 24, 2025

Abstract. The influence of lanthanum, copper and their mixture on the larval form of chironomid midges *Chironomus riparius* Meigen, 1804 was assessed. An insignificant increase in the mortality of larvae with increasing concentration of La^{3+} in water was shown ($r_s = 0.70$, when $p = 0.19$). The maximum mortality of 47% was recorded in a solution containing 160 $\mu\text{mol/L}$ La^{3+} . A comparison of low concentrations of La^{3+} and Cu^{2+} and their equimolar combinations (0.8 and 0.16 $\mu\text{mol/L}$) showed that all solutions reduced the survival rate of individuals (2.3 to 5.2 times), except for the solution where the copper concentration was 0.8 $\mu\text{mol/L}$. The survival rate of larvae was 3 times higher than the control values (essential effect). The linear dimensions of the test organisms in all experimental variants were significantly lower than in the control. The maximum decrease in morphometric parameters (length) under the influence of a mixture of the salts was 18–19% compared with the control. Consequently, the danger of lanthanum and its combination with copper for benthic organisms is shown using the example of *Ch. riparius*, which has not previously been reported.

Keywords: toxicity, copper, lanthanum, combined action of metals, *Chironomus riparius*

Funding: The work was partially carried out within the framework of the state assignment of the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences “The Role of Abiotic and Biotic Factors in the Formation of Physiological-Biochemical and Immunological Indicators of Hydrobionts” (No. 124032500015-7).

Ethics approval and consent to participate. Animal protocols were approved by the Bioethics Commission of the Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences (protocol No. 18 dated May 6, 2024).

Conflict of interest: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Sysolyatina M. A., Lozhkina R. A., Tomilina I. I., Olkova A. S. Reaction of midge larvae *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) to the exposure to lanthanum, copper and their mixture. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 2, pp. 222–231 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-2-222-231>

✉ *Corresponding author.* Department of Ecology and Nature Management of the Vyatka State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Maria A. Sysolyatina: <https://orcid.org/0000-0002-7671-3993>, usr22523@vyatsu.ru; Roza A. Lozhkina: <https://orcid.org/0000-0003-3087-0691>, lozhkina.roza@yandex.ru; Irina I. Tomilina: <https://orcid.org/0000-0002-5266-877X>, i_tomilina@mail.ru; Anna S. Olkova: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>, usr08617@vyatsu.ru.