



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 1 (59). Март, 2026

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
В. Krasnov
А. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

Н. А. Марфицына
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 577.151.63+57.033+574.522

ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *MELANOIDES TUBERCULATA* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГЛИФОСАТА

ТИШИНА
Екатерина Александровна
Государственный университет просвещения, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, 89266182591@mail.ru

ДРОГАНОВА
Татьяна Сергеевна
Государственный университет просвещения, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, blackraven5@mail.ru

ВАСИЛЬЕВ
Николай Валентинович
доктор химических наук, Государственный университет просвещения, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, kaf-obhim@guppros.ru

ПОЛИКАРПОВА
Людмила Викторовна
Государственный университет просвещения, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, ljudmilapolikarpova@yandex.ru

Ключевые слова:
пресноводные моллюски
Melanoides tuberculata
пестициды
глифосат

Аннотация: В современных условиях интенсивного сельского хозяйства актуальной проблемой становится загрязнение водных экосистем пестицидами, среди которых особое место занимает глифосат – один из наиболее распространенных гербицидов в Российской Федерации. В поисках биомаркеров пестицидного загрязнения водных объектов в исследовании рассмотрено изменение биохимических параметров моллюска *Melanoides tuberculata* под воздействием глифосата. В ходе исследования показано, что активность фермента обменного комплекса – кислой фосфатазы *Melanoides tuberculata* существенно изменяется относительно контрольных значений и это изменение имеет фазовый характер, что свидетельствует о сложной реакции моллюска на токсическое воздействие. Параллельно выявлению изменения биохимической активности электрофоретически определено наличие дополнительной множественной формы кислой фосфатазы, свидетельствующей об эпигенетическом механизме адаптации *Melanoides tuberculata* к действию глифосата. Полученные результаты не только расширяют представления о биохимических механизмах адаптации водных организмов к загрязнению, но и открывают перспективы для разработки новых биомаркеров, позволяющих оперативно оценивать уровень пестицидного загрязнения водоемов. Это особенно важно для мониторинга экологического состояния водных объектов и разработки мер по их охране.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: О. Ф. Филенко

Получена: 10 сентября 2025 года

Подписана к печати: 27 марта 2026 года

Введение

В биотическом комплексе гидробионтов моллюски имеют критически важные позиции, занимая верхние и средние слои бентоса в водных объектах и активно участвуя в трофических отношениях. Вместе с тем их значение при нормировании качества природных и бытовых вод практически не учитывается. При изучении гидробионтов, как правило, рассматриваются биохимические характеристики рыб, а в некоторых случаях коммерческих моллюсков (Вопросы экологического нормирования..., 2011; Голованова, Аминов, 2019). Для биохимического тестирования природных вод важен выбор тестовых биообъектов, которые по своей устойчивости и одновременно чувствительности могли бы адекватно реагировать на загрязнители различной природы. Известно, что для этих целей успешно применяются моллюски средней полосы России (Конин, Коничев, 2007; Романова и др., 2008; Дроганова и др., 2019, 2022; Тишина и др., 2024), однако они не всегда доступны исследователям. Из истории аквариумистики известно, что род пресноводных улиток *Melanoides* из семейства Тиаровые активно поведенчески реагирует на изменения внешней среды и примеси в воде (Фомичева, Горулев, 2019, Abdel-Wahab et al., 2023). Моллюск *Melanoides tuberculata* весьма активно размножается в искусственных условиях и в связи с этим весьма доступен для исследований. В последние годы глифосат вызывает все большую обеспокоенность в связи с проявлением токсичности по отношению к теплокровным (Лаптев и др., 2022).

Целью настоящей работы стала оценка изменений биохимических параметров моллюска *Melanoides tuberculata* под воздействием глифосата, который является одним из основных используемых гербицидов в Российской Федерации (Нефедьева и др., 2020; Kariyanna et al., 2024).

Материалы

Реакцию комплекса кислых фосфатаз *Melanoides tuberculata* в ответ на токсическое действие инсектицидов оценивали по результатам острого опыта (от 0 до 96 ч). Эксперименты выполнялись аналогично известным исследованиям, проведенным с целью биотестирования качества вод и оценки токсичности загрязнителей для гидробионтов (Kovačić et al., 2017). Опытные особи содержались в аквариумах объемом

10 л, накрытых стеклом. Контаминирующее действие глифосата исследовали при воздействии предельно допустимых концентраций (ПДК) (10 ПДК рыб-хоз) и высоких сублетальных доз (200 ПДК рыб-хоз) (ПДК рыб-хоз глифосат – 0.001 мг/дм³) (Приказ Министерства..., 2025). Моллюски в период эксперимента в качестве питания получали гранулированный корм и не взаимодействовали с субстратом (Nuseti et al., 2004). Экспозиция опыта составляла 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 и 96 ч. Контрольные особи содержались в воде без добавления токсиканта при тех же условиях и временных интервалах. По истечении времени воздействия отбирали по 6 моллюсков и гомогенизировали в фарфоровой ступке в течение 5 мин растиранием с битым кварцевым стеклом и экстрагирующей жидкостью. В качестве экстрагирующей жидкости использовали 0.5%-ный раствор Тритон X-100 на дистиллированной воде, прибавляемый в десятикратном объеме по отношению к навеске ткани. Экстракты очищали центрифугированием при 10000 g и 4 °C в течение 30 мин на рефрижераторной центрифуге (Дроганова и др., 2017). Полученные супернатанты отбирали и использовали в дальнейших исследованиях.

Методы

Концентрацию белка в экстрактах определяли методом Лоури (Lowry et al., 1951). Активность кислой фосфатазы определяли спектрофотометрически по скорости гидролиза модельного субстрата – *p*-нитрофенилфосфата. За единицу активности (Е) принимали количество фермента, дающего прирост содержания продукта ферментативной реакции на 1 мкмоль за 1 мин (Andersch, Szczypinski, 1947).

Обнаружение зон нахождения кислой фосфатазы проводили по методике Берстона, усовершенствованной Лойда с соавторами (Лойда и др., 1982). В качестве субстрата использовался 0.3 %-ный раствор α -нафтилфосфата, проявляющего пигмента – прочный синий Б (Fast Blue B, «Chemapol», Чехия).

По результатам измерения активности фермента кислой фосфатазы в эксперименте определялось среднее отношение активности фермента, вычисляемое как отношение средней величины изменений активности в эксперименте в сравнении с контрольными значениями: $\bar{X} = \sum X/n$, где $x = x_{оп} / x_{контр}$, n – количество точек эксперимента.

Относительную электрофоретическую подвижность (ОЭП) рассчитывали для каждой выявленной зоны активности кислой фосфатазы (КФ) как отношение пробега фермента к пробегу лидирующего красителя бромфенолового синего.

Все исследования проводили в трех аналитических повторностях. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (p), при этом критическим уровнем значимости принимали $p \leq 0.05$. Статистическую обработку данных проводили при помощи Microsoft Excel. Результаты представлены в виде «среднее значение \pm стандартное отклонение».

Результаты

При действии глифосата (рис. 1) в первые часы экспозиции (0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 и 96 ч) выявлено чередование фаз снижения и повышения активности фермента и при низких (0.01 мг/дм^3), и при высоких концентрациях глифосата (0.2 мг/дм^3) относительно контроля. После 12 ч экспозиции активность фермента КФ угнетается и становится ниже контрольных значений. На 72 ч значение активности КФ незначительно превышает контрольные значения. К 96 ч активность фермента становится существенно ниже контрольных значений.

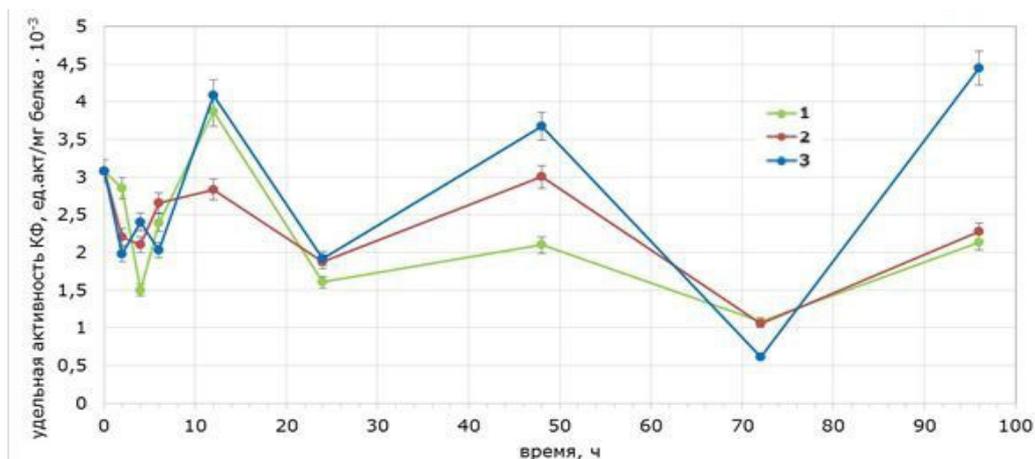


Рис. 1. Изменение удельной активности кислой фосфатазы мелании туберкулята *Melanoides tuberculata* под действием глифосата 10 ПДК (1), 200 ПДК (2) и контроль (3) (ПДК рыб-хоз. глифосат – 0.001 мг/дм^3). $p = 0.05$

Fig. 1. Changes in the specific activity of acid phosphatase in *Melanoides tuberculata* under the influence of glyphosate 10 MPC (1), 200 MPC (2) and control (3) (MPC of fish-farm glyphosate – 0.001 мг/дм^3). $p = 0.05$

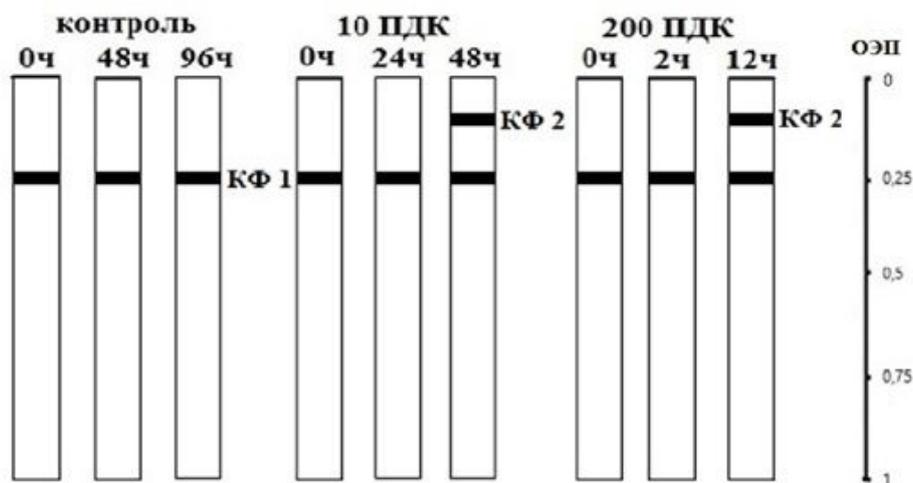


Рис. 2. Схемы электрофореграмм множественных форм КФ моллюска *Melanoides tuberculata* в норме и при воздействии глифосата (ПДК рыб-хоз глифосат – 0.001 мг/дм^3). (ОЭП – относительная электрофоретическая подвижность)

Fig. 2. Electropherograms of multiple CFforms of the mollusk *Melanoides tuberculata* normally and under the influence of glyphosate (MPC of fish farm glyphosate – 0.001 мг/дм^3). (REM – Relative electrophoretic mobility)

При проведении электрофореза у контрольной группы выявлена одна множественная форма фермента КФ со средней электрофоретической подвижностью (КФ1 = 0.25). Она же существует и у экспериментальной группы моллюсков. Действие глифосата привело к появлению новой множественной формы КФ с низкой электрофоретической подвижностью (КФ2 = 0.1).

Обсуждение

Исходя из полученных данных, минимум активности фермента КФ при воздействии глифосата (см. рис. 1) в концентрации 10 ПДК отмечается при 48 ч экспозиции, при действии концентрации 200 ПДК минимум активности фермента КФ отмечается раньше, при 12 ч экспозиции. Активность фермента в точках минимума оказалась ниже контрольных значений, при этом необычным является непропорционально меньшее угнетение ферментативной активности при действии высокой концентрации глифосата (0.2 мг/дм³) в сравнении с низкой (0.01 мг/дм³).

Расчитанные средние значения отношения активности фермента при 10 ПДК – 0.98 отн. ед., а при 200 ПДК – 1.002 отн. ед. сравнимы по величинам, что не соответствует разнице примененных концентраций. В связи с этим представлялось целесообразным изучить состав исследуемого фермента электрофоретическим способом.

При проведении электрофореза контрольной группы выявлено, что на энзим-электрофореграммах (рис. 2) существует одна форма КФ со средней электрофоретической подвижностью (КФ1 = 0.25). Она же существует и у экспериментальной группы моллюсков. Действие глифосата привело к появлению новой множественной формы КФ с низкой

электрофоретической подвижностью, которая появилась начиная с 48 ч экспозиции при низкой концентрации и существенно быстрее, с 12 ч экспозиции, при высокой концентрации, а затем сохранялась на протяжении всего эксперимента (КФ2 = 0.1).

Таким образом, действие глифосата приводит к синтезу новой формы фермента КФ в токсикологическом эксперименте, что происходит по эпигенетическому механизму и является адаптивным ответом на действие экотоксиканта. Ранее на примерах ферментов обменного комплекса *Melanoides tuberculata* такой характер воздействия не изучали.

Заключение

При биохимическом изучении воздействия глифосата выявлена колебательная динамика активности фермента обменного комплекса кислая фосфатаза у моллюска (*Melanoides tuberculata*), характеризующаяся существенным подавлением в сравнении с контролем.

Изменения активности не соотносятся с концентрацией использованного в экспериментах гербицида, что является результатом активных адаптационных процессов, проявляющихся, в частности, в появлении дополнительной множественной формы фермента КФ (КФ2 = 0.25), которая сохраняется до конца эксперимента. Данные биохимические изменения указывают на перестройку метаболизма моллюсков и их существенную адаптацию к токсическому воздействию. Время появления новой множественной формы фермента совпадает с интервалом максимального снижения активности фермента.

Библиография

- Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов: Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии / Отв. ред.: академик РАН Д. С. Павлов, член-корр. РАН Г. С. Розенберг, д. б. н. М. И. Шатуновский. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 196 с.
- Голованова И. Л., Аминов А. И. Физиолого-биохимический статус рыб под действием глифосат-содержащих гербицидов (обзор) // Биология внутренних вод. 2019. № 2-2. С. 83–94. DOI: 10.1134/S0320965219030082
- Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В., Тишина Е. А. Изменение активности и множественных форм кислой фосфатазы живородки речной под влиянием гербицидов на основе глифосата // Современное состояние водных биоресурсов: Материалы конференции / Под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Моружи. Новосибирск: НГАУ, 2019. С. 64–67.
- Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В., Тишина Е. А., Анка М., Петренко Д. Б., Васильев Н. В. Влияние ионов Zn²⁺ на активность кислых нуклеаз пресноводных моллюсков // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 2. С. 219–224. DOI: 10.31857/S1026347022020056

- Дроганова Т. С., Коничев А. С., Петренко Д. Б., Поликарпова Л. В., Цветков И. Л. Влияние фторида натрия и фторуксусной кислоты на активность кислой ДНКазы, кислой фосфатазы и спектр растворимых белков гепатопанкреаса живородки речной // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 4. С. 36–45. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-36-45
- Конин Д. Н., Коничев А. С. Влияние ионов тяжелых металлов на протеолитическую активность в печени моллюсков *Viviparus viviparus* L. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2007. № 1. С. 3–6.
- Лаптев Г. Ю., Иылдырым Е. А., Тюрина Д. Г., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Калиткина К. А., Дубровин А. В., Новикова Н. И., Меликиди В. Х., Горфункель Е. П., Пономарева Е. С., Околелова Т. М. Чем опасен глифосат // Птицеводство. 2022. № 7-8. С. 37–42. DOI: 10.33845/0033-3239-2022-71-7-8-00-00
- Лойда З., Госсрау Р., Шиблер Т. Гистохимия ферментов: лабораторные методы / Пер. с англ. И. Б. Бухвалова и О. В. Копьева; Под ред. Н. Т. Райхлина. М.: Мир, 1982. 272 с.
- Нефедьева Е. Э., Белопухов С. Л., Ермошина Е. С. Классификационный анализ гербицидов, разрешенных к применению в 2018 году // АгроЭкоИнфо. 2020. № 2 (40). С. 13.
- Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями и дополнениями).. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477262> (дата обращения: 12.10.2025).
- Романова Е. М., Индирякова О. А., Куранова А. П. Перспективность использования моллюсков в биоиндикации загрязнения водных объектов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. Т. 4, № 20-1. С. 157–159.
- Тишина Е. А., Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В., Васильев Н. В. Влияние фосфорсодержащих пестицидов на ферментативную активность и множественные формы кислой фосфатазы живородки речной (*Viviparus viviparus* L.) // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 151–158. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-151-158
- Фомичева Е. М., Горулев П. А. Устойчивость пресноводного брюхоногого моллюска *Melanoides granifera* к воздействию пониженных температур // Принципы экологии. 2019. № 4 (34). С. 81–90.
- Abdel-Wahab H. M., Alnady A. H., Mohamed Z., Younis A. E. Acute toxicity of some heavy metals on *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae) as a bioindicator: a biochemical and molecular study // Aswan University Journal of Environmental Studies. 2023. Vol. 3, № 4. P. 357–370.
- Andersch M. A., Szczypinski A. J. Use of P-nitrophenylphosphate as the substrate in determination of serum acid phosphatase // American Journal of Clinical Pathology. 1947. Vol. 17, No 7. P. 571–574. DOI: 10.1093/ajcp/17.7_ts.571
- Kariyanna B., Senthil-Nathan S., Vasantha-Srinivasan P., Subba Reddy B. V., Krishnaiah A., Meenakshi N. H., Han Y. S., Karthi S., Chakravarthy A. K., Park K. B. Comprehensive insights into pesticide residue dynamics: unraveling impact and management // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2024. Vol. 11, № 1. P. 182.
- Kovačić I., Fafandel M., Perić L., Batel I. Effect of Environmental Pollutant Mixtures on Acid DNase Activity in Mussel *Mytilus galloprovincialis*: Ex Situ and In Situ Study // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2017. Vol. 99, No 4. P. 433–437. DOI: 10.1007/s00128-017-2162-y
- Lowry O. H., Rosenbrought N. J., Farr A. L., Rangel R. L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent // J. Biol. Chem. 1951. Vol. 193, No 2. P. 265–275.
- Nusetti O., Marcano L., Zapata E., Esclapés M., Nusetti S., Lodeiros C. Immunological and antioxidant enzyme responses in the pearl oyster *Pinctada imbricata* (Mollusca: Pteridae) exposed to sublethal levels of fuel oil No 6 // Interciencia. 2004. Vol. 29. P. 324–328.

CHANGES IN THE BIOCHEMICAL PARAMETERS OF *MELANOIDES TUBERCULATA* UNDER THE EXPOSURE OF GLYPHOSATE

TISHINA
Ekaterina Alexandrovna

State University of Education, 24 Vera Voloshina St. Mytischki Moscow Region 141014 Russia, 89266182591@mail.ru

DROGANOVA
Tatyana Sergeevna

State University of Education, 24 Vera Voloshina St. Mytischki Moscow Region 141014 Russia, blackraven5@mail.ru

VASILIEV
Nikolai Valentinovich

DSc, State University of Education, 24 Vera Voloshina St. Mytischki Moscow Region 141014 Russia, kaf-obhim@guppros.ru

POLIKARPOVA
Lyudmila Viktorovna

State University of Education, 24 Vera Voloshina St. Mytischki Moscow Region 141014 Russia, ljudmilapolikarpova@yandex.ru

Key words:

freshwater mollusks
Melanoides tuberculata
pesticides
glyphosate

Summary: In current conditions of intensive agriculture, pollution of aquatic ecosystems with pesticides is becoming an urgent problem. One of the most common herbicides in the Russian Federation is Glyphosate, it occupies a special place. In search of biomarkers of pesticide pollution of water bodies, the study examined changes in the biochemical parameters of the mollusk *Melanoides tuberculata* under the influence of glyphosate. The study shows that the activity of the enzyme of the exchange complex - acid phosphatase of *Melanoides tuberculata* - changes significantly relative to the control values and this change has a phase character. This indicates a complex reaction of the mollusk to toxic effects. In parallel with the detection of changes in biochemical activity, the presence of an additional multiple form of acid phosphatase was determined electrophoretically. This indicates an epigenetic mechanism of adaptation of *Melanoides tuberculata* to the action of glyphosate. The obtained results not only expand our understanding of the biochemical mechanisms of adaptation of aquatic organisms to pollution, but also open up prospects for the development of new biomarkers that allow rapid assessment of the level of pesticide pollution of water bodies. This is especially important for monitoring the ecological state of water bodies and developing measures for their protection.

Reviewer: O. F. Filenko

Received on: 10 September 2025

Published on: 27 March 2026

References

- Abdel-Wahab H. M., Alnady A. H., Mohamed Z., Younis A. E. Acute toxicity of some heavy metals on *Melanoides tuberculata* (Gastropoda: Thiaridae) as a bioindicator: a biochemical and molecular study, Aswan University Journal of Environmental Studies. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 357–370.
- Andersch M. A., Szczypinski A. J. Use of P-nitrophenylphosphate as the substrate in determination of serum acid phosphatase, American Journal of Clinical Pathology. 1947. Vol. 17, No 7. P. 571–574. DOI: 10.1093/ajcp/17.7_ts.571
- Droганova T. S. Konichev A. S. Petrenko D. B. Polikarpova L. V. Cvetkov I. L. The effect of sodium fluoride and fluoroacetic acid on the activity of acidic DNase, acid phosphatase, and the spectrum of soluble proteins in *Viviparus viviparus*, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki. 2017. No. 4. P. 36–45. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-36-45
- Droганova T. S. Polikarpova L. V. Tishina E. A. Anka M. Petrenko D. B. Vasil'ev N. V. The effect of Zn²⁺ ions on the activity of acid nucleases in freshwater mollusks, Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya. 2022. No. 2. P. 219–224. DOI: 10.31857/S1026347022020056
- Droганova T. S. Polikarpova L. V. Tishina E. A. Changes in the activity and multiple forms of acid phosphatase

- of *Viviparus viviparus* under the influence of glyphosate-based herbicides, *Sovremennoe sostoyanie vodnyh bioresursov: Materialy konferencii*, Pod red. E. V. Pischenko, I. V. Moruzi. Novosibirsk: NGAU, 2019. P. 64–67.
- Fomicheva E. M. Gorulev P. A. Resistance of the freshwater gastropod *Melanoides granifera* to low temperatures, *Principy ekologii*. 2019. No. 4 (34). P. 81–90.
- Golovanova I. L. Aminov A. I. Physiological and biochemical status of fish under the action of glyphosate-containing herbicides (review), *Biologiya vnutrennih vod*. 2019. No. 2-2. P. 83–94. DOI: 10.1134/S0320965219030082
- Issues of environmental regulation and the development of a system for assessing the condition of reservoirs: Materials of the Joint Plenum of the Scientific Council of the DEA RAS on Hydrobiology and Ichthyology, the Hydrobiological Society at the RAS and the Interdepartmental Ichthyological Commission, Otv. red.: akademik RAN D. P. Pavlov, chlen-korr. RAN G. P. Rozenberg, d. b. n. M. I. Shatunovskiy. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2011. 196 c.
- Kariyanna B., Senthil-Nathan S., Vasanth-Srinivasan P., Subba Reddy B. V., Krishnaiah A., Meenakshi N. H., Han Y. S., Karthi S., Chakravarthy A. K., Park K. B. Comprehensive insights into pesticide residue dynamics: unraveling impact and management, *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2024. Vol. 11, No. 1. P. 182.
- Konin D. N. Konichev A. S. The effect of heavy metal ions on proteolytic activity in the liver of *Viviparus viviparus* L. mollusks, *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2007. No. 1. P. 3–6.
- Kovačić I., Fafandel M., Perić L., Batel I. Effect of Environmental Pollutant Mixtures on Acid DNase Activity in Mussel *Mytilus galloprovincialis*: Ex Situ and In Situ Study, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017. Vol. 99, No 4. P. 433–437. DOI: 10.1007/s00128-017-2162-y
- Lowry O. H., Rosenbrought N. J., Farr A. L., Rangal R. L. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent, *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, No 2. P. 265–275.
- Laptev G. Yu. Yyldyrym E. A. Tyurina D. G. Il'ina L. A. Filippova V. A. Kalitkina K. A. Dubrovin A. V. Novikova N. I. Melikidi V. H. Gorfunkel' E. P. Ponomareva E. S. Okolelova T. M. What is the danger of glyphosate, *Pticevodstvo*. 2022. No. 7-8. P. 37–42. DOI: 10.33845/0033-3239-2022-71-7-8-00-00
- Loyda Z. Gossrau R. Shibler T. Histochemistry of enzymes: laboratory methods, *Per. s angl. I. B. Buhvalova i O. V. Kop'eva; Pod red. N. T. Rayhlina. M.: Mir*, 1982. 272 p.
- Nefed'eva E. E. Belopuhov S. L. Ermoshina E. S. Classification analysis of herbicides approved for use in 2018, *AgroEkolInfo*. 2020. No. 2 (40). P. 13.
- Nusetti O., Marcano L., Zapata E., Esclapés M., Nusetti S., Lodeiros C. Immunological and antioxidant enzyme responses in the pearl oyster *Pinctada imbricata* (Mollusca: Pteridae) exposed to sublethal levels of fuel oil No 6, *Interciencia*. 2004. Vol. 29. P. 324–328.
- Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated December 13, 2016 «On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of fisheries Significance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of water bodies of fisheries significance» (with Amendments and additions). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477262> (data obrascheniya: 12.10.2025).
- Romanova E. M. Indiryakova O. A. Kuranova A. P. The prospects of using shellfish in bioindication of water pollution, *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2008. T. 4, No. 20-1. P. 157–159.
- Tishina E. A. Drozanova T. S. Polikarpova L. V. Vasil'ev N. V. The effect of phosphorus-containing pesticides on the enzymatic activity and multiple forms of acid phosphatase of *Viviparus viviparus* L., *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2024. No. 2. P. 151–158. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-151-158