

## Функциональная активность иммунитета *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) в условиях средового стресса

Е. Б. Романова <sup>✉</sup>, В. Д. Плотникова, М. С. Какнаева

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского  
Россия, 603022, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 23

### Информация о статье

#### Краткое сообщение

УДК 583.132.4:591.111.1

[https://doi.org/10.18500/1814-6090-](https://doi.org/10.18500/1814-6090-2025-25-3-4-206-209)

2025-25-3-4-206-209

EDN: PZPYLA

Поступила в редакцию 28.01.2025,  
после доработки 01.02.2025,  
принята 02.02.2025

**Аннотация.** Объектом исследования функциональной активности иммунных реакций организма в течение длительного периода (2021 – 2024 гг.) являлись озерные лягушки *Pelophylax ridibundus* водоема урбанизированной территории (оз. Силикатное, г. Нижний Новгород), инфицированные *Hepatozoon* spp. Выполнен гидрохимический анализ среды обитания озерных лягушек. Проведен учет внутриэритроцитарных паразитов с расчетом экстенсивности и интенсивности инвазии и обилия гемопаразитов. Функциональная активность гуморального иммунитета особей определялась по уровню крупных и мелких иммунных комплексов с расчетом их отношения (индекс укрупнения). Зараженность лягушек в динамике четырехлетнего мониторинга оставалась относительно высокой. В динамике четырехлетнего мониторинга суммарное содержание крупных иммунных комплексов у незараженных особей не изменялось, у зараженных особей этот показатель значимо выше при обитании в более загрязненной среде (4-й класс качества воды). Выявлено усиление функциональной активности иммунитета зараженных лягушек в условиях более высокого химического загрязнения среды. Индекс укрупнения у зараженных лягушек (4-й класс качества воды) выше относительно показателя особей, обитающих в менее загрязненной среде (3-й класс качества воды). Установлено снижение уровня крупных иммунных комплексов и индекса укрупнения у зараженных особей при улучшении среды обитания. Выявлена зависимость снижения индекса укрупнения озерных лягушек от содержания в водном объекте ионов меди и железа. Показаны различия функциональной активности иммунных реакций незараженных и зараженных особей, определяемые условиями химического загрязнения среды.

**Ключевые слова:** *Pelophylax ridibundus*, *Hepatozoon* spp., иммунные комплексы, иммунитет

**Образец для цитирования:** Романова Е. Б., Плотникова В. Д., Какнаева М. С. 2025. Функциональная активность иммунитета *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) в условиях средового стресса // Современная герпетология. Т. 25, вып. 3/4. С. 206 – 209. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2025-25-3-4-206-209>, EDN: PZPYLA

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

**Введение.** На жизнедеятельность амфибий прямое действие оказывают климатические (Greenberg, Palen, 2021) и гидрохимические изменения (Тласс и др., 2022; Alhendawi et al., 2023) в глобальной экосистеме, что приводит к эндогенной интоксикации, снижению иммунной реактивности организма и увеличению вероятности патогенного инфицирования и заболеваемости (Мальшьева, 2009; Peskova et al., 2018; Netherlands et al., 2015 и др.).

Учитывая растущий интерес к вопросу сохранения численности и биоразнообразия амфибий, анализ изменения иммуногематологических показателей, отражающих состояние незараженных и зараженных особей, обитающих в водных

объектах урбанизированной территории с изменяющимся видом средового стресса, является актуальной задачей современной экофизиологии.

Цель работы – анализ функциональной активности гуморального иммунитета по уровню циркулирующих иммунных комплексов на модельной популяции озерных лягушек в динамике четырехлетнего мониторинга.

**Материал и методы.** Объект изучения – лягушка озерная *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771), 78 особей, из водного объекта (оз. Силикатное), расположенного на территории промышленного района г. Нижнего Новгорода в полевые сезоны 2021 – 2024 гг. В пробах воды на спектрофотометре

<sup>✉</sup> Для корреспонденции. Кафедра экологии Института биологии и биомедицины Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.

ORCID и e-mail адреса: Романова Елена Борисовна: <https://orcid.org/0000-0002-1925-7864>, [romanova@ibbm.unn.ru](mailto:romanova@ibbm.unn.ru); Плотникова Валерия Дмитриевна: <https://orcid.org/0000-0002-4305-7651>, [psyche\\_medeia@mail.ru](mailto:psyche_medeia@mail.ru); Какнаева Маргарита Сергеевна: <https://orcid.org/0009-0006-3267-8459>, [kanaeva543221@gmail.com](mailto:kanaeva543221@gmail.com).

Hach DR-2800 (Hach Company, США) определены химические загрязнители и рассчитан удельный комбинаторный индекс (УКИЗВ) загрязненности. Определение и учет внутриэритроцитарных паразитов (гемогрегаринов) проводили на 500 клеток с расчетом экстенсивности и интенсивности инвазии. Содержание крупных и мелких иммунных комплексов (ед. опт. плотности/10 мл сыворотки) в сыворотке крови оценивали методом селективной преципитации на спектрофотометре СФ-2000 (ООО «ОКБ Спектр», Россия) при длине волны 200, 280, 350 и 450 нм (Гриневиц, Алферов, 1981) с последующим расчетом индекса укрупнения (отношения крупных к мелким иммунным комплексам).

С учетом вида распределения центральные тенденции и рассеяние изученных показателей описывали медианой ( $Me$ ) и интерквартильным размахом ( $IQR$ ) (значения 25-го и 75-го перцентилей). Анализ данных проводили непараметрическими критериями: Краскела – Уоллиса ( $H$ ), Данна ( $Z$ ),  $z$ -критерия, ранговой корреляции Спирмена ( $\rho$ ); линейной регрессией и методом главных компонент.

Все расчеты реализовывали с помощью пакетов программ Statistica 8 (StatSoft Inc., OK, USA).

**Результаты и их обсуждение.** Интенсивность гидрохимического стресса, определяемого уровнем загрязнения среды, в динамике четырехлетних наблюдений водного объекта, где обитали озерные лягушки, существенно изменилась. Так, в 2021 г. качество воды соответствовало 4-му классу, разряд «б» грязная (УКИЗВ = 7.15), в 2022 г. – 4-му классу, разряд «в» очень грязная (УКИЗВ = 8.82). Затем экологическая ситуация улучшилась, однако химическое загрязнение водного объекта осталось относительно высоким: УКИЗВ<sub>2023</sub> = 3.6, УКИЗВ<sub>2024</sub> = 3.35, что соответствовало 3-му классу качества воды, разряд «б» очень загрязненная. Зараженность лягушек гемопаразитами *Hepatoozon* spp. в период наблюдений оставалась относительно высокой. Так, экстенсивность инвазии по выборке в 2021 г. составляла – 54.2%, в 2022 г. – 50%, в 2023 г. – 21.7% и в 2024 г. – 55%. По сравнению с предыдущими сроками наблюдений, в 2024 г. наблюдалось увеличение доли зараженных эритроцитов как по всей выборке ( $z_{2021-2024} = 11.6, p = 0.001$ ;  $z_{2022-2024} = 9.6, p = 0.001$ ;  $z_{2023-2024} = 11.1, p = 0.001$ ), так и отдельно для самцов ( $z_{2021-2024} = 7.05, p = 0.005$ ;  $z_{2022-2024} = 4.48, p = 0.02$ ;  $z_{2023-2024} = 7.26, p = 0.002$ ) и самок ( $z_{2021-2024} = 8.4, p = 0.002$ ;  $z_{2022-2024} = 8.3, p = 0.002$ ;  $z_{2023-2024} = 6.8, p = 0.005$ ).

Изменчивость иммуногематологических показателей изучали путем сравнения незараженных и зараженных озерных лягушек в условиях различного средового стресса. Суммарное содер-

жание крупных иммунных комплексов в сыворотке крови незараженных особей в разных гидрохимических условиях не изменялось, у зараженных этот показатель был выше при обитании в более загрязненной среде (4-й класс качества воды, 2021) ( $Z_{2021\text{инн-}2024\text{инн}} = 3.21, p = 0.035$ ). Содержание мелких иммунных комплексов в сыворотке крови незараженных и зараженных значимо не различалось ( $H = 21.14, p = 0.3$ ) и оставалось повышенным в течение всего периода наблюдений. Индекс укрупнения незараженных особей превышал аналогичный показатель зараженных ( $Z_{2023\text{зд-}2024\text{инн}} = 3.52, p = 0.011$ ). При обитании зараженных особей в менее загрязненной среде этот показатель значимо снижался ( $Z_{2021\text{инн-}2024\text{инн}} = 3.26, p = 0.03$ ). Снижение индекса укрупнения определялось как численностью гемопаразитов в эритроцитарных клетках организма хозяина, о чем свидетельствовал анализ корреляционной связи ( $\rho = -0.49, p = 0.003$ ), так и химическим загрязнением водной среды. Уравнения регрессии, аппроксимирующие линейную зависимость индекса укрупнения от содержания в воде тяжелых металлов имели вид:  $y = 0.948 - 10.45x$  ( $R^2 = 0.74, r = -0.86, p = 0.005$ ) для ионов меди;  $y = 0.828 - 5.63x$  ( $R^2 = 0.52, r = -0.72, p = 0.04$ ) для ионов железа. Результат анализа зависимости показал, что дисперсия показателя индекса укрупнения может быть объяснена примерно на 74% (показатель детерминации  $R^2 = 0.74$ ) дисперсией концентрации меди и примерно на 52% (показатель детерминации  $R^2 = 0.52$ ) дисперсией концентрации в водном объекте железа.

График факторных нагрузок показал, что незараженные особи группируются, в первую очередь, в соответствии с классом качества воды и располагаются в разных квадрантах пространства главных компонент ближе к началу координат (рисунки). Выборки зараженных особей расходятся больше по первой, чем по второй компоненте, разбросаны по факторному пространству, визуализируя более значительные межгодовые различия показателей гуморального иммунитета по сравнению с незараженными особями.

Таким образом, функциональная активность иммунитета незараженных особей при изменении класса качества воды находилась на относительно постоянном уровне. Более высокие уровни крупных иммунных комплексов зараженных особей свидетельствуют о повышенной атаке патогенов на организм и активации иммунного ответа организма для их устранения. При такой повышенной нагрузке, с одной стороны, возможны нарушения механизма удаления иммунных комплексов через систему компонентов комплемента (C4b и C3b) (Одинцов, Перельмутер, 2007). С дру-

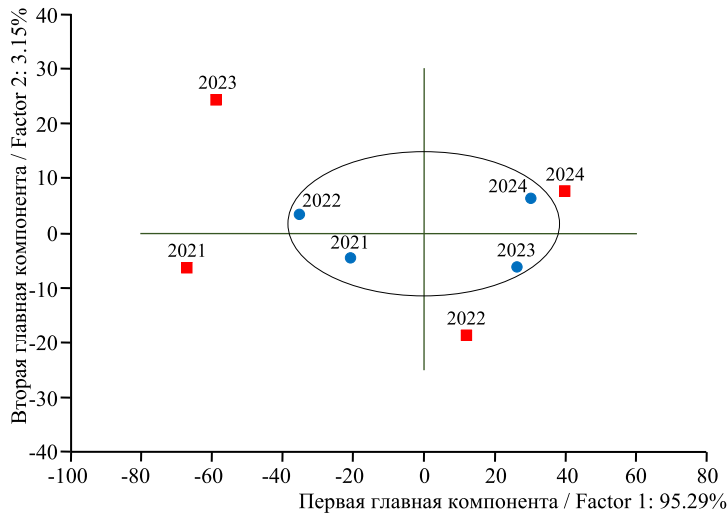


График расположения выборок незараженных и зараженных особей из популяции озерных лягушек оз. Силикатное в динамике четырехлетних наблюдений в пространстве главных компонент: ● – незараженные, ■ – зараженные

**Figure.** Dispersion graph of the samples from the populations of uninfected and infected *P. ridibundus* from the Silikatnoye Marsh over the four-year period in the space of the main components: ● – uninfected, ■ – infected with *Hepatozoon* spp.

гой стороны, выявленная зависимость снижения гуморальных иммунных реакций от содержания в водной среде тяжелых металлов (железо, медь), образующих прочные ковалентные связи с тиольными (SH) группами в молекуле аминокислоты цистеина (Северин, 2008), позволяет полагать, что при высоком химическом загрязнении водной среды на фоне супрессии иммунитета и ингибирования обмена веществ организма могут развиваться неконтролируемые патологические процессы. Полученные результаты свидетельствуют о различии функциональной активности иммунных реакций незараженных и зараженных *Hepatozoon* spp. озерных лягушек, определяемых условиями химического загрязнения среды, и необходимости дальнейшего углубленного исследования иммунного статуса амфибий при комплексном воздействии био- и абиотических факторов на фоне интенсивного антропогенного воздействия.

**Выводы.** 1. У незараженных гемопаразитами озерных лягушек в разных гидрохимических условиях содержание иммунных комплексов в сыроворотке крови не изменялось.

2. Выявлено усиление функциональной активности гуморального иммунитета зараженных озерных лягушек в условиях более высокого химического загрязнения среды.

3. Установлена зависимость снижения функциональной активности гуморального иммунитета озерных лягушек от концентрации ионов меди и железа в водной среде обитания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гриневич Ю. А., Алферов А. Н. 1981. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лабораторное дело. № 8. С. 493–495.
- Мальшиева М. Н. 2009. К фауне кровепаразитов бесхвостых амфибий (Anura) Киргизии // Паразитология. Т. 43, № 1. С. 32–45.
- Одинцов Ю. Н., Перельмутер В. М. 2007. Биологические функции комплемента // Бюллетень сибирской медицины. Т. 6, № 2. С. 72–82. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2007-2-72-82>
- Северин Е. С. 2008. Биохимия М. : ГЭОТАР-Медиа, 2008. 768 с.
- Тласс М. М., Алхендави З., Вершинин В. Л. 2022. Реакции организма озерной лягушки (*Pelophylax cf. bedriagae*) на химический состав водной среды обитания в Екатеринбурге // Принципы экологии. № 4. С. 92–97.
- Alhendawi Z. A., Tlass M. M., Vershinin V. L. 2023. Functional features of acid-base balance in the moor frog (*Rana arvalis*) depending on environmental conditions in the Urals // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. Vol. 23, iss. 3. P. 31–36.
- Greenberg D. A., Palen W. J. 2021. Hydrothermal physiology and climate vulnerability in amphibians // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. Vol. 288, iss. 1945. Article no. 20202273. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2273>
- Netherlands E. C., Cook C. A., Kruger D. J. D., Preez L. H., Smit N. J. 2015. Biodiversity of frog haemoparasites from sub-tropical northern KwaZulu-Natal, South Africa // International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife. Vol. 4, iss. 1. P. 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.01.003>
- Peskova T. Yu., Bachevskaya O. N., Plotnikov G. K. 2018. Hemoparasites of the marsh frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) inhabiting reservoirs of the North-Western Ciscaucasia // Современная герпетология. Т. 18, вып. 3/4. С. 146–152. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-146-152>

**Functional activity of the immune system of *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) in environmental stress conditions**

E. B. Romanova ✉, V. D. Plotnikova, M. S. Kaknaeva

*Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
23 Gagarin Avenue, Nizhni Novgorod 603022, Russia*

**Article info**

*Short Communication*

<https://doi.org/10.18500/1814-6090-2025-25-3-4-206-209>  
EDN: PZPYLA

Received 28 January 2025,  
revised 1 February 2025,  
accepted 2 February 2025

**Abstract:** The object of our study of the functional activity of the body's immune reactions over a long period (2021–2024) was *Pelophylax ridibundus* in the reservoir of an urbanized territory (Silikatnoye Lake, Nizhny Novgorod) infected with *Hepatozoon* spp. A hydrochemical analysis of the habitat of *P. ridibundus* was done. Intraerythrocyte parasites were accounted for with the calculation of the extent and intensity of invasion and abundance of hemoparasites. The functional activity of the humoral immunity of individuals was determined by the level of large and small immune complexes, with calculation of the ratio of large to small immune complexes. The infection rate of frogs remained relatively high during the four-year monitoring period. During this four-year monitoring, the total content of large immune complexes in uninfected individuals did not change; whilst in infected individuals, this indicator was significantly higher when living in a more polluted environment (water quality class 4). An increase in the functional activity of the immune system of infected *P. ridibundus* was revealed in conditions of higher chemical pollution of the environment. The ratio of large to small immune complexes in infected frogs (water quality class 4) was higher than in individuals living in a less polluted environment (water quality class 3). A decrease in the level of large immune complexes and the ratio of large to small immune complexes in infected individuals was found with an improvement of their habitat. A dependence of the decrease in the ratio of large to small immune complexes of *P. ridibundus* on the content of copper and iron ions in the water body has been revealed. Differences in the functional activity of immune responses of uninfected and infected individuals are shown, determined by the conditions of chemical pollution of the environment.

**Keywords:** *Pelophylax ridibundus*, *Hepatozoon* spp., immune complexes, immunity

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

**For citation:** Romanova E. B., Plotnikova V. D., Kaknaeva M. S. Functional activity of the immune system of *Pelophylax ridibundus* (Amphibia: Ranidae) in environmental stress conditions. *Current Studies in Herpetology*, 2025, vol. 25, iss. 3–4, pp. 206–209 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2025-25-3-4-206-209>, EDN: PZPYLA

**REFERENCES**

Grinevich Ju. A., Alferov A. N. Determination of immune complexes in the blood of cancer patients. *Laboratornoe delo*, 1981, no. 8, pp. 493–495. (in Russian).

Malysheva M. N. Contributions to the fauna of haemoparasites of batrachians (Amphibia, Anura) in Kyrgyzstan. *Parazitologiya*, 2009, vol. 43, no. 1, pp. 32–45. (in Russian).

Odintsov Yu. N., Perelmuter V. M. Biological functions of complement. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2007, vol. 6, no. 2, pp. 72–82 (in Russian). <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2007-2-72-82>

Severin E. S. *Biochemistry*. Moscow, GEOTAR-Media, 2008. 768 p. (in Russian).

Tlass M. M., Alhendawi Z., Vershinin V. L. Reactions of the lake frog *Pelophylax* cf. *bedriagae* on the chemical composition of the aquatic habitat in Ekaterinburg. *Principles of the Ecology*, 2022, no. 4, pp. 92–97 (in Russian). <https://doi.org/10.15393/jl.art.2022.13222>

Alhendawi Z. A., Tlass M. M., Vershinin V. L. Functional features of acid-base balance in the moor frog

(*Rana arvalis*) depending on environmental conditions in the Urals. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 3, pp. 31–36.

Greenberg D. A., Palen W. J. Hydrothermal physiology and climate vulnerability in amphibians. *Proceedings of the Royal Society. B: Biological Sciences*, 2021, vol. 288, iss. 1945, article no. 20202273. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.2273>

Netherlands E. C., Cook C. A., Kruger D. J. D., Preez L. H., Smit N. J. Biodiversity of frog haemoparasites from sub-tropical northern KwaZulu-Natal, South Africa. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 2015, vol. 4, iss. 1, pp. 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.01.003>

Peskova T. Yu., Bachevskaya O. N., Plotnikov G. K. Hemoparasites of the marsh frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Ranidae, Anura) inhabiting reservoirs of the North-Western Ciscaucasia. *Current Studies in Herpetology*, 2018, vol. 18, iss. 3–4, pp. 146–152 <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2018-18-3-4-146-152>

✉ Corresponding author. Department of Ecology of Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Elena B. Romanova: <https://orcid.org/0000-0002-1925-7864>, [romanova@ibbm.unn.ru](mailto:romanova@ibbm.unn.ru); Valeria D. Plotnikova: <https://orcid.org/0000-0002-4305-7651>, [psyche\\_medea@mail.ru](mailto:psyche_medea@mail.ru); Margarita S. Kaknaeva: <https://orcid.org/0009-0006-3267-8459>, [kaknaeva543221@gmail.com](mailto:kaknaeva543221@gmail.com).