

**К вопросу о термоадаптации личинок малоазиатской лягушки  
*Rana macrocnemis* Boulenger, 1885 (Amphibia, Ranidae)  
к низкотемпературным условиям среды**

**И. К. Газимагомедова**

*Дагестанский государственный университет  
Россия, 367000, г. Махачкала, ул. Магомеда Гаджиева, д. 43а*

**Информация о статье**

*Оригинальная статья*

УДК 591.16:597.8

<https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-12-19>

EDN: SNQGZU

Поступила в редакцию 02.08.2023,  
после доработки 31.10.2023,  
принята 20.11.2023,  
опубликована 28.06.2024

**Аннотация.** Приведены результаты исследования гематологических показателей крови личинок малоазиатской лягушки *Rana macrocnemis* и суммарной активности каталазы по сравнению с взрослыми особями и при разном температурном режиме: при 23°C и после пятидневной гипотермии при 5°C. Выявлены различия в формуле крови в разные периоды онтогенеза и под действием искусственной гипотермии. Количество эритроцитов у головастиков на 28-й – 30-й стадии развития по Госнеру в 2 раза меньше, чем у взрослых лягушек, в крови личинок и взрослых особей отмечен лимфоцитарный профиль. Содержание лимфоцитов несколько выше на личиночной стадии, а эозинофилов, базофилов и моноцитов – у взрослых особей. При гипотермии в крови головастиков отмечено снижение эозинофилов и нейтрофилов на фоне повышения уровня иммунокомпетентных клеток. При низкотемпературном воздействии активность каталазы в теле головастиков на 34-й стадии понизилась в 2 раза, а на 40-й стадии – в 1.3 раза, т.е. перед метаморфозом антиоксидантная защита снижается. Зависимость активности каталазы от температуры у взрослых лягушек при гипотермии не отмечена, что позволяет сделать вывод о повышении толерантности фермента к изменениям температуры по мере развития в онтогенезе. Выявленные изменения исследуемых параметров носят адаптивный характер.

**Ключевые слова:** амфибии, *Rana macrocnemis*, эритроциты, лейкоцитарная формула, каталаза, гипотермия, онтогенез

**Образец для цитирования:** Газимагомедова И. К. 2024. К вопросу о термоадаптации личинок малоазиатской лягушки *Rana macrocnemis* Boulenger, 1885 (Amphibia, Ranidae) к низкотемпературным условиям среды // Современная герпетология. Т. 24, вып. 1/2. С. 12–19. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-12-19>, EDN: SNQGZU

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

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных факторов среды обитания, определяющих физиологическую активность организмов, является температура. Процессы температурной адаптации земноводных слабо изучены и имеют значимость для понимания многих вопросов их экологии и физиологии (Берман и др., 2017; Angiletta, 2010). Экотермные животные особенно чувствительны к низкой температуре, которая может привести к сокращению периода активности, замедлению физиологических процессов (Литвинов и др., 2013). Вместе с тем амфибии первыми освоили наземно-воздушную среду обитания, но сохранили связь с водной средой, что говорит о появлении у них новых эволюционных механизмов термоадаптации. Исследование клеточных и молекулярных основ гомеостаза в ли-

чиночный период развития земноводных актуально, поскольку устойчивость к меняющимся условиям среды на этом этапе онтогенеза отражает стратегию выживания особи и вида в целом.

Особый интерес представляет участие крови и ферментов антиоксидантной защиты в термоадаптации земноводных на личиночной стадии развития. Гематологические показатели отражают любые адаптивные процессы, протекающие в организме, так как кровь – важная функциональная система, интегрирующая работу всех остальных систем посредством обеспечения гомеостаза и гуморальной регуляции (Вершинин, 2004; Скоркина, Липунова, 2007). Значимым звеном в системе защиты клетки при воздействии любых экстремальных условий являются ферменты антиоксидантной защиты, в частности, каталаза, которая

✉ Для корреспонденции. Кафедра зоологии и физиологии биологического факультета Дагестанского государственного университета.  
ORCID и e-mail адрес: Газимагомедова Изабела Курбанмагомедовна: <https://orcid.org/0009-0002-3454-7605>, kurbanova\_i9@mail.ru.

участвует в распаде одного из источников свободных радикалов – перекиси водорода (Уайт и др., 1981).

В связи с этим цель данной работы – изучение влияния разного температурного режима на показатели периферической крови и активность каталазы у личинок *Rana macrocnemis* Boulenger, 1885.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

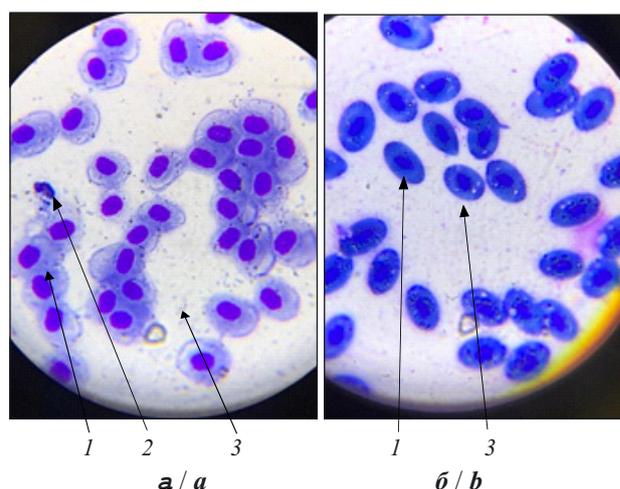
Объекты исследования – головастики и взрослые особи малоазиатской лягушки *R. macrocnemis* – были отловлены в конце мая 2021 г. в окрестностях с. Бухты Гунибского района Республики Дагестан (42° 14' с. ш. 46° 59' в. д.; 1700 – 1900 м над ур. м.). Головастики были отловлены из пруда Церухор (бассейн р. Цамгичай) на 22-й – 23-й стадии развития по К. L. Gosner (1960), инкубировались по 40 шт. в контейнерах из пищевого пластика (27×19×13 см) с объемом воды 2.0 л после недельной адаптации при двух температурных режимах: 23°C (в комнате) и 5°C в течение пяти суток (в бытовом холодильнике марки Atlant ХМ 4521–080 с индикатором температуры (ЗАО «Атлант», Беларусь). Головастиков кормили шпинатом, ошпаренным кипятком, и хлопьевидным комбикормом для декоративных рыб марки «Tetra Min». Взрослые особи содержались по 5 штук в таких же контейнерах на влажной вафельной салфетке, без кормления.

Гематологические показатели (количество эритроцитов, лейкоцитарная формула) определяли в периферической крови головастиков, взятой из сердца (28 – 30 стадии), и крови взрослых особей, полученной путем декапитации, определяли по общепринятым методикам (Меньшиков и др., 1987) с соблюдением биоэтики согласно требованиям Хельсинкской декларации по защите животных, используемых в экспериментальных научных целях.

Содержание эритроцитов и лейкоцитов подсчитывали в счетной камере Горяева на микроскопе Микромед 2 (ООО «Микромед», Россия). Мазки крови готовили на обезжиренных стеклах, фиксацию мазков проводили на воздухе. Окраску мазков выполняли по Романовскому – Гимзе. Активность каталазы определяли в 1%-ном тканевом гомогенате тела головастиков на 34-й, 40-й стадиях развития и в сыворотке крови взрослых особей *R. macrocnemis* по методу Королюк (Королюк и др., 1988). Результаты статистически обработаны методом малой выборки с использованием программы STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования гематологических показателей представлены на рис. 1 и табл. 1. Показано, что по составу форменных элементов красная и белая кровь земноводных схожа с другими позвоночными: как у головастиков, так и у взрослых особей присутствуют ядросодержащие эритроциты, три типа гранулоцитов (нейтрофилы, эозинофилы, базофилы), моноциты, лимфоциты. Количественные и качественные характеристики эритроцитов в периферической крови головастиков *R. macrocnemis* отличаются от взрослых особей. Количество эритроцитов в крови головастиков *R. macrocnemis* примерно в 2 раза ниже, чем у взрослых особей: на 56.4 и 52.0% соответственно при 23 и 5°C. Через 5 суток пребывания в низкотемпературной среде содержание эритроцитов в крови головастиков незначительно понизилось (на 4.4%), чем при температуре 23°C.



**Рис. 1.** Мазок крови головастиков (а) и взрослых особей (б) *Rana macrocnemis*: 1 – эритроциты, 2 – лейкоциты, 3 – тромбоциты

**Fig. 1.** Blood smear of larvae (a) and adult (b) of *R. macrocnemis*: 1 – erythrocytes, 2 – leukocytes, 3 – thrombocytes

Возможно, что при повышении температуры в пределах оптимума для конкретного вида в кроветворных органах земноводных может ускоряться формирование эритроцитов, а не только активность обменных процессов организма в целом, что общеизвестно. Так как растворимость кислорода в холодной воде выше, его содержание в воде с повышением температуры понижается. С увеличением температуры возрастает и потребность клеток в кислороде для поддержания аэробных процессов энергетического обмена, что и обуславливает активацию эритропоэза.

**Таблица 1.** Гематологические показатели *R. macrocnemis* ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ )  
**Table 1.** Hematological parameters of *R. macrocnemis* ( $M \pm m$ ,  $n = 5$ )

Показатели крови / Blood counts	Температура воды, стадия развития / Water temperature, stage of development			Достоверность различия / reliability, $p_1$ , $p_2$
	23°C взрослые особи / adult	23°C личинки / larvae	5°C личинки / larvae	
Эритроциты, $10^{10}$ л / Erythrocytes, $10^{10}$ l	45.0±2.3	21.6±2.3	19.2±3.7	0.01/0.05
Лейкоцитарная формула, % / Differential white blood cells count, %				
Эозинофилы / Eosinophils	8.0±0.5	2.3±0.4	1.0±0.4	0.01/0.01
Базофилы / Basophils	4.0±0.9	0	0	0.01/–
Нейтрофилы (сегментоядерные) / Segmented neutrophils	28.0±0.8	28.1	26.4±0.5	0.2/0.06
Лимфоциты / Lymphocytes	51.6±1.0	65.6±0.6	69.0±0.1	0.01/0.05
Моноциты / Monocytes	8.4±0.6	4.0±0.3	3.6±0.8	0.01/0.06

*Примечание.*  $p_1$  – достоверность различия между взрослыми и личинками,  $p_2$  – достоверность различия между личинками при разной температуре инкубации.

*Note.*  $p_1$  – reliability of the differences between adults and larvae,  $p_2$  – reliability of the differences between larvae at different incubation temperatures..

По литературным данным, у лягушек при наступлении зимнего периода, т.е. при низких температурах происходит ретардация гемопоэза (Пескова, 2004; Nano et al., 1991). Продолжительность жизни эритроцитов рода *Rana* по сравнению с теплокровными животными больше, для разных представителей срок жизни эритроцитов различен и находится в диапазоне 100 – 200 суток (Coico et al., 2003).

Выявлены также различия в форме эритроцитов и поверхности их мембраны у головастиков и взрослых особей: на личиночной стадии развития эритроциты имели более округлую форму и неровную поверхность мембраны, по размерам эритроциты головастиков немного крупнее (см. рис. 1).

Согласно полученным результатам, белая кровь малоазиатской лягушки имеет лимфоидный характер, в лейкоцитарной формуле преобладают популяции лимфоцитов и зрелых сегментоядерных нейтрофилов, что согласуется с литературными данными (Акуленко, 2008). Лимфоцитарный профиль отмечен в крови *R. macrocnemis* не только у взрослых особей, но и на личиночной стадии онтогенеза. Содержание лимфоцитов в крови головастиков выше, чем у взрослых особей на 27.1 и 33.5% соответственно при температуре 23°C и 5°C. Количественное содержание эозинофилов, базофилов и моноцитов преобладает в крови взрослых особей *R. macrocnemis* в 3.5, 4.0 и 2.1 раз соответственно.

В лейкоцитарной формуле головастиков в условиях низкотемпературной среды произошли изменения в содержании отдельных форм лейкоцитов. После пятидневной гипотермии (5°C) отмечено понижение эозинофилов на 57.0, нейтрофилов на 6.0 и повышение уровня лимфоцитов

на 5.2% по сравнению с головастиками, которые содержались при температуре 23°C; а содержание моноцитов достоверно не отличается (см. табл. 1).

Изучение активности каталазы, одного из ключевых ферментов антиоксидантной защиты клеток, показало, что на личиночной стадии развития суммарная активность каталазы значительно ниже: в 5 – 10 раз и более в зависимости от стадии развития, чем в сыворотке крови взрослых особей *R. macrocnemis*. На 40-й стадии развития по Госнеру (перед метаморфозом) активность каталазы в теле головастиков снижается, по сравнению с 34-й стадией, что определенным образом обосновывает высокую уязвимость и снижение выживаемости личинок в этот период (табл. 2).

При низкотемпературном воздействии активность каталазы в теле головастиков понизилась на 34-й стадии в 2 раза, а на 40-й стадии – в 1.3 раза. То есть в предметаморфный период антиоксидантная защита ниже, чем на 34-й стадии, но термостойчивость фермента несколько выше. Зависимость активности каталазы от температуры у взрослых лягушек после пятидневной гипотермии не отмечена, что позволяет сделать вывод о повышении толерантности фермента к изменениям температуры в ходе онтогенеза. Эти результаты согласуются с динамикой эритроцитов, чем выше содержание эритроцитов, тем выше суммарная каталазная активность, что обусловлено более высоким содержанием кислорода и соответственно более высоким генерированием супероксидного радикала и перекиси водорода, которая должна разлагаться каталазой. На основании этого можно сопоставить активность каталазы с активностью реакций энергетического обмена, интенсивность которого у взрослых особей также выше.

**Таблица 2.** Суммарная активность каталазы у головастика и взрослых особей *R. macrocnemis* (мкмоль H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/мин, M±m)**Table 2.** Total catalase activity in larvae and adults of *R. macrocnemis* (μmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/min, M±m)

Стадия развития / Stage of development	Температурный режим / Temperature	
	23°C	5°C
34-я стадия / Stage 34 (n = 20)	2.0 · 10 <sup>-3</sup> ± 0.0001	1.0 · 10 <sup>-3</sup> ± 0.0001
40-я стадия / Stage 40 (n = 20)	0.4 · 10 <sup>-3</sup> ± 0.0001	0.3 · 10 <sup>-3</sup> ± 0.0001
Взрослые особи / Adults (n = 10)	10.2 ± 0.09	10.5 ± 0.04

Таким образом, согласно полученным результатам, гематологические показатели малоазиатской лягушки отличаются в разные периоды онтогенеза и при разном температурном режиме среды. Количественное содержание эритроцитов у взрослых выше, чем у личинок, что соответствует метаболической активности на клеточном уровне: чем больше энергозатраты, тем лучше осуществляется кислородтранспортная функция крови. В личиночный период развития также необходимо поддержание метаболизма на достаточном уровне для обеспечения энергией АТФ реакций пластического обмена, обеспечивающих процессы роста и развития, преобразования во всех внутренних системах, особенно кровеносной, дыхательной и нервной.

Несмотря на то, что активность эритропоэза на личиночной стадии ниже, чем у взрослых особей, низкотемпературное воздействие не столь выражено повлияло на содержание в крови эритроцитов, что можно рассматривать как проявление термоадаптации. Это может быть связано с изменением реологических свойств крови при гипотермии, с замедлением общего обмена. Можно полагать, что кратковременное охлаждение не отражается на общем физиологическом состоянии организма экотермных животных, однако при пролонгированном влиянии замедляются рост и развитие головастика, так как митотическая активность и клеточная пролиферация при низких значениях температуры ингибируются.

В белой крови головастика отмечено преобладание лимфоцитарной активности на фоне минорных значениях эозинофилов, нейтрофилов и моноцитов по сравнению со взрослыми лягушками. На основании этого можно заключить, что неспецифические иммунные механизмы защиты организма на стадии личиночного развития находятся в более мобилизованном состоянии, а фагоцитарная и противовоспалительная активность лейкоцитов выше у взрослых особей. Кроме того, паразитарная инвазия, при которой обычно наблюдается эозинофилия, в большей степени характерна для взрослых особей в силу продолжительного пребывания в условиях внешней среды.

После гипотермии у головастика противоаллергических и антипаразитарных функций крови были ингибированы, полагаем, что в этом проследживается связь со снижением активности самих паразитических микроорганизмов при пониженной температуре.

Выход амфибий из водной среды в наземную и возможность распространиться и занять определенные биологические ниши, приспособиться к самым различным экологическим условиям не были бы возможны без развитой иммунной системы. Лейкоциты являются ключевым компонентом иммунной системы организма, которая наряду с нервной и гуморальной системами отвечают за гомеостатический контроль над всеми физиологическими процессами и таким образом обеспечивают адаптацию к условиям среды обитания.

Фагоцитарная активность лейкоцитов определяется многими факторами. Например, лейкоциты оцепеневших лягушек обладают пониженной активностью, но после увеличения температуры до 30°C активность клеточного иммунитета возвращается к прежним значениям (Мечников, 2001).

Температура среды обитания также определяет сезонные колебания показателей крови. Например, у *R. ridibunda* в весенний период отмечается наибольшее количество лейкоцитов, а в зимний – наименьшее (Минеева, Минеев, 2011). Показано, что продолжительность жизни клеток периферической крови при наступлении зимы увеличивается и повышается ядерная сегментация нейтрофилов и эозинофилов, что рассматривается как следствие снижения метаболической активности и замедления гемопоэза (Nano et al., 1991).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гематологические показатели позволяют получить информацию о физиологическом состоянии организма животного, тем самым выступать в виде маркеров биоиндикации (Романова, Шаповалова, 2016; Романова и др., 2023). Однако

важно разграничивать изменения, характеризующие патологию, от адаптивных реакций. Выявленные в результате данного исследования отличия в картине крови отражают адаптационные процессы к температуре как экологическому фактору. Полученные иммунологические характеристики белой крови *R. macrocnemis* направлены на обеспечение устойчивого существования в определенных условиях среды и обладают определенными различиями на разных этапах онтогенеза.

Следует полагать, что температурная толерантность у разных видов амфибий зависит в первую очередь от генетически обусловленной экологической пластичности вида к данному фактору. Температурная компенсация заключается в поддержании на постоянном уровне физиологической активности в широком диапазоне температур за счет особенностей температурной зависимости кинетики ферментативных реакций (Слоним, 1986). У земноводных температура тела в течение суток может флуктуировать на 10 – 15°C, при этом физиологическая активность меняется, но не прекращается. Показано, что у пойкилотермных животных с увеличением температуры сродство к субстрату у ряда ключевых ферментов энергетического обмена уменьшается, поэтому зависимость скорости реакции от температуры снижается (Хочачка, Сомеро, 1988). Эффекты гипотермии обладают тканевой специфичностью, отличаются у летних и осенних лягушек *R. ridibunda*, а также обратимы (Эмирбеков и др., 2004).

Полагаем, что для каждой группы и видов существует температурный оптимум, обусловленный эволюционно сложившимися молекулярными механизмами термоадаптации. Физиологическая пластичность системы крови позволяет земноводным адаптироваться к различным абиотическим факторам среды, определяет реализацию приспособительных реакций для выживания и сохранения вида.

Следовательно, кратковременное низкотемпературное воздействие для земноводных как пойкилотермных организмов не является стрессовым фактором, и индивидуальные адаптационные процессы на организменном уровне формируются постепенно в ходе развития. Поэтому изменение активности каталазы в онтогенезе – это не результат окислительного стресса, а биологическая закономерность, отражающая формирование эволюционно сложившихся адаптивных механизмов организма и высокую уязвимость стадий раннего онтогенеза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акуленко Н. М. 2008. Сезонная динамика эритропоза и его топографическое распределение у лягушки озерной // Вестник Запорожского национального университета. № 2. С. 5 – 10.

Берман Д. И., Булахова Н. А., Мецержакова Е. Н. 2017. Адаптивные стратегии бурых лягушек (*Amphibia, Anura, Rana*) в отношении зимних температур на севере Палеарктики // Зоологический журнал. Т. 96, № 11. С. 1392 – 1403. <https://doi.org/10.7868/S0044513417110034>

Вершинин В. Л. 2004. Гемопоз бесхвостых амфибий – специфика адаптиогенеза видов в современных экосистемах // Зоологический журнал. Т. 83, № 11. С. 1367 – 1374.

Королюк М. А., Иванова Л. И., Майорова И. Г., Токарев В. Е. 1988. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. № 1. С. 16 – 19.

Литвинов Н. А., Четанов Н. А., Ганичук С. В. 2013. Принципы оценки термоадаптационных возможностей рептилий // Вестник Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. Т. 18, вып. 6. С. 3035 – 3038.

Меньшиков В. В., Делекторская Л. Н., Золотницкая Р. П., Андреева З. М., Анкирская А. С., Балаховский И. С., Белокриницкий Д. В., Воропаева С. Д., Гаранина Е. Н., Лукичева Т. И., Плетнева Н. Г., Смоляницкий А. Я. 1987. Лабораторные методы исследования в клинике М. : Медицина. 368 с.

Мечников И. И. 2001. Лекции о сравнительной патологии воспаления. СПб. : Adamant Media Corporation. 160 с.

Минева О. В., Минева А. К. 2011. Нарушения лейкоцитарной формулы крови озёрной лягушки Саратовского водохранилища // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. № 2. С. 94 – 97.

Пескова Т. Ю. 2004. Адаптационная изменчивость земноводных в антропогенно загрязненной среде : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Гольяты. 36 с.

Романова Е. Б., Шаповалова К. В. 2016. Миелограмма озерных (*Pelophylax ridibundus*) и травяных лягушек (*Rana temporaria*) Нижегородской области // Современные проблемы науки и образования. № 2. С. 1 – 9.

Романова Е. Б., Луконина С. А., Рябинина Е. С., Плотникова В. Д. 2023. Эколого-физиологический анализ иммунных реакций *Pelophylax ridibundus* и *P. lessonae* (*Amphibia: Ranidae*) антропогенно-трансформированных территорий // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 77 – 96. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-77-96>

Скоркина М. Ю., Луинова Е. А. 2009. Система крови как скринингтест экологического состояния окружающей // Проблемы региональной экологии. № 1. С. 147 – 150.

Слоним А. Д. 1986. Эволюция терморегуляции. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние. 86 с.

*Уайт А., Хендлер Ф., Смит Э., Хилл Р., Леман И.* 1981. Основы биохимии : в 3 т. М. : Мир. Т. 1. 539 с.

*Хочачка П., Сомеро Дж.* 1988. Биохимическая адаптация. М. : Мир. 567 с.

*Эмирбеков Э. З., Магомедова Н. Г., Мирская Р. О., Мейланов И. С., Эмирбекова А. А.* 2004. Исследование активности каталазы в тканях лягушки озерной *Rana ridibunda* при гипотермии и самосогревании // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 6. С. 55 – 60.

*Angiletta M. J.* 2010. Thermal adaptation: A theo-

retical and empirical analysis // Integrative and Comparative Biology. Vol. 50, iss. 2. P. 253 – 254.

*Coico R., Sunshine G., Benjamini E.* 2003. Immunology. A Short Course. Hoboken : Wiley-Liss Publications. P. 237.

*Gosner K. L.* A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification // Herpetologica. 1960. Vol. 16. P. 183 – 190.

*Nano R., Griffini P., Barni S.* 1991. Morphohistochemical changes of the blood cells in the hibernating frog (*Rana esculenta* L.) // Comparative Haematology International. Vol. 1, iss. 4. P. 220 – 223.

**On the issue of the thermal adaptation of the larvae caucasian brown frog  
*Rana macrocnemis* Boulenger, 1885 (Amphibia, Ranidae)  
to low-temperature environmental conditions**

**I. K. Gazimagomedova**

*Dagestan State University  
43a Gadzhiev St., Makhachkala 367000, Russia*

**Article info**

*Original Article*

<https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-12-19>  
EDN: SNQGZU

Received August 2, 2023,  
revised October 31, 2023,  
accepted November 20, 2023,  
published June 28, 2024

**Abstract.** The results of the study of hematological parameters of the blood of the larvae caucasian brown frog *Rana macrocnemis* and the total activity of catalase compared with adults and at different temperature conditions: at 23°C and after five days of hypothermia at 5°C. Differences in the blood formula were revealed in different periods of ontogenesis and under the influence of artificial hypothermia. The number of erythrocytes in tadpoles at the 28–30 stage of development according to Gosner is 2 times less than in adult frogs, a lymphocytic profile is noted in the blood of larvae and adults. The content of lymphocytes is slightly higher at the larval stage, and eosinophils, basophils and monocytes – in adults. With hypothermia in the blood of tadpoles, a decrease in eosinophils and neutrophils was noted against the background of an increase in the level of immunocompetent cells. With low-temperature exposure, catalase activity in the body of tadpoles decreased by 2 times at the 34th stage, and by 1.3 times at the 40th stage, that is, before metamorphosis, antioxidant protection decreases. The dependence of catalase activity on temperature in adult frogs with hypothermia has not been noted, which allows us to conclude that the enzyme's tolerance to temperature changes increases as it develops in ontogenesis. The revealed changes in the studied parameters are adaptive in nature.

**Keywords:** Amphibians, *Rana macrocnemis*, erythrocytes, differential white blood cells count, catalase, hypothermia, ontogenesis

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

**For citation:** Gazimagomedova I. K. On the issue of the thermal adaptation of the larvae caucasian brown frog *Rana macrocnemis* Boulenger, 1885 (Amphibia, Ranidae) to low-temperature environmental conditions. *Current Studies in Herpetology*, 2024, vol. 24, iss. 1–2, pp. 12–19 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-12-19>, EDN: SNQGZU

**REFERENCES**

Akulenko N. M. Seasonal dynamics of erythropoiesis and its topographic distribution in the lake frog. *Bulletin of the Zaporozhye National University*, 2008, no. 2, pp. 5–10 (in Russian).

Berman D. I., Bulakhova N. A., Meshcheryakova E. N. Adaptive strategies of brown frogs (Amphibia, Anura, *Rana*) in relation to winter temperatures in the north of the Palearctic. *Zoologicheskii zhurnal*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1392–1403 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0044513417110034>

Vershinin V. L. Hematopoiesis of tailless amphibians – specificity of adaptationogenesis of species in modern ecosystems. *Zoologicheskii zhurnal*, 2004, vol. 83, no. 11, pp. 1367–1374 (in Russian).

Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayorova I. G., Tokarev V. E. Method for determining catalase activity. *Laboratornoe delo*, 1988, no. 1, pp. 16–19 (in Russian).

Litvinov N. A., Chetanov N. A., Ganshchuk S. V. Principles of evaluation of thermoadaptation abilities of reptiles. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2013, vol. 18, iss. 6, pp. 3035–3038 (in Russian).

Menshikov V. V., Delektorskaya, L. N., Zolotnitskaya R. P., Andreeva Z. M., Ankirskaya A. S., Balakhovsky I. S., Belokrinsky D. V., Voropaeva S. D., Garanina E. N., Lukicheva T. I., Pletneva N. G., Smolyanitsky A. I. *Laboratornye metody issledovaniya v klinike* [Laboratory Methods of a Research in the Clinic]. Moscow, Meditsina, 1987. 368 p. (in Russian).

Mechnikov I. I. *Leksii o sravnitel'noj patologii vospaleniya* [Lectures on the Comparative Pathology of Inflammation]. Saint Petersburg, Adamant Media Corporation, 2001. 160 p. (in Russian).

Mineeva O. V., Mineev A. K. Violations of the leukocyte formula of the blood of the lake frog of the Saratov reservoir. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2011, no. 2, pp. 94–97 (in Russian).

Peskova T. Yu. *Adaptation Variability of Amphibians in Anthropogenically Polluted Environment*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Togliatti, 2004. 36 p. (in Russian).

Romavova E. B., Shapovalova K. V. Myelograms of marsh (*Pelophylax ridibundus*) and gress frogs (*Rana temporaria*) of the Nizhny Novgorod region. *Modern Problems of Science and Education*, 2016, no. 2, pp. 1–9 (in Russian).

✉ *Corresponding author.* Department of Zoology and Physiology of Faculty of Biology, Dagestan State University, Russia.

*ORCID and e-mail address:* Isabela K. Gazimagomedova: <https://orcid.org/0009-0002-3454-7605>, kurbanova\_i9@mail.ru.

Romanova E. B., Lukonina S. A., Ryabinina E. S., Plotnikova V. D. Ecological and physiological analysis of immune reactions of *Pelophylax ridibundus* and *P. lessonae* (Amphibia: Ranidae) in anthropogenously transformed territories. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 77–96 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-77-96>

Skorkina M. Yu., Lipunova E. A. The blood system as a screening test of the ecological state of the environment. *Regional Environmental Issues*, 2009, no. 1, pp. 147–150 (in Russian).

Slonim A. D. *Ehvoluyutsiya termoregulyatsii* [Evolution of Thermoregulation]. Saint Petersburg, Nauka, 1986. 86 p. (in Russian).

White A., Handler F., Smith E., Hill R., Lehman I. *Principles of Biochemistry*: in 3 volumes. Moscow, Mir, 1981, vol. 1. 539 p. (in Russian).

Hochachka P., Somero G. *Biochemical Adaptation*. Moscow, Mir, 1988. 567 p. (in Russian).

Emirbekov E. Z., Magomedova N. G., Mirskaya R. O., Meilanov I. S., Emirbekova A. A. Investigation of catalase activity in the weaving of the ridibund lake wound frog in hypothermia and self-preservation. *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences*, 2004, no. 6, pp. 55–60 (in Russian).

Angiletta M. J. Thermal adaptation: A theoretical and empirical analysis. *Integrative and Comparative Biology*, 2010, vol. 50, iss. 2, pp. 253–254.

Coico R., Sunshine G., Benjamini E. *Immunology. A Short Course*. Hoboken, Wiley-Liss Publications, 2003, pp. 237.

Gosner K. L. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*, 1960, vol. 16, pp. 183–190.

Nano R., Griffini P., Barni S. Morphohistochemical changes of the blood cells in the Hibernating frog (*Rana esculenta* L.). *Comparative Haematology International*, 1991, vol. 1, iss. 4, pp. 220–223.