

**Влияние геохимического фона западного Прикаспия Азербайджана
на регуляцию кислотно-щелочного баланса крови
Pelophylax ridibundus (Pallas, 1771) (Amphibia, Ranidae)**

В. Л. Вершинин^{1,2✉}, С. Д. Вершинина¹, Г. А. Гасымова^{3,4}

¹ *Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202*

² *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19*

³ *Институт зоологии Министерства науки и образования Азербайджанской Республики
Азербайджанская Республика, AZ 1004, г. Баку, ул. А. Аббасаде, 1128 переулок, 504 квартал*

⁴ *Университет Хазар
Азербайджанская Республика, AZ 1009, г. Баку, ул. Мехсети Гянджеви, д. 41*

Информация о статье

Оригинальная статья

УДК 591.16:597.8

[https://doi.org/10.18500/1814-6090-](https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-3-11)

2024-24-1-2-3-11

EDN: QGSOBQ

Поступила в редакцию 02.08.2023,
после доработки 14.09.2023,
принята 25.09.2023,
опубликована 28.06.2024

Аннотация. Рассматривается влияние геохимических особенностей местообитаний на кислотно-щелочной баланс крови озёрной лягушки. Вид европейских зелёных лягушек *P. ridibundus* на протяжении всего жизненного цикла обитает в водной среде, обеспечивая свободный обмен газами и ионами всей поверхностью тела, главным образом, благодаря пассивному и активному транспорту, легко реализуемому в значительном объеме. В зависимости от уровня минерализации, ионного состава и pH водной среды меняются характер взаимодействий и их знак, отражая состояние регуляторики (характеризующееся количеством корреляционных связей). Это отражается на преобладающем направлении трансмембранных газо-ионных потоков, отвечающих за поддержание кислотно-основного гомеостаза. В определенных пределах (от ультрапресных до минерализованных вод) эти потоки поддерживаются за счет пассивного транспорта. По-видимому, повышение минерализации до уровня солоноватых и соленых вод, избыток ионов в среде, а также щелочное pH затрудняют пассивный транспорт и обедняют регуляторные возможности системы, что приводит к увеличению доли активного транспорта. Таким образом, количество и характер корреляций между концентрациями ионов и газов крови хорошо отражают состояние системы поддержания кислотно-щелочного гомеостаза животных из популяции, находящейся в определенных условиях среды.

Ключевые слова: озёрная лягушка, кислотно-щелочной баланс крови, газы и электролиты крови, минерализация

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН (№ госрегистрации темы 122021000082-0).

Образец для цитирования: Вершинин В. Л., Вершинина С. Д., Гасымова Г. А. 2024. Влияние геохимического фона западного Прикаспия Азербайджана на регуляцию кислотно-щелочного баланса крови *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Amphibia, Ranidae) // Современная герпетология. Т. 24, вып. 1/2. С. 3 – 11. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-3-11>, EDN: QGSOBQ

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

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что система крови поддерживает кислотно-основной, температурный, клеточный гомеостаз, выполняя защитную, транспортную, трофическую, терморегуляторную и другие функции. Кислотно-щелочное равновесие регулируется физико-химическими и физиологическими механизмами. Поэтому pH крови и

другие параметры кислотно-щелочного баланса могут служить показателями приспособленности к условиям среды (Бусловская, 2004).

Существуют разнообразные физиологические буферные системы, которые помогают предотвратить внезапные скачки внутриклеточного значения pH (такие, как бикарбонатная, лактатная, фосфатная, аммонийная, гемоглобиновая, белко-

✉ Для корреспонденции. Лаборатория функциональной экологии наземных животных Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН.

ORCID и e-mail адреса: Вершинин Владимир Леонидович: <https://orcid.org/0000-0002-7709-9446>, vol_de_mar@list.ru; Вершинина Светлана Дмитриевна: <https://orcid.org/0000-0002-9257-6511>; Гасымова Гюльбаниз Афиз кызы: gqasimova@mail.ru.

вая и проч.) (Робинсон, 1969). Бикарбонатная буферная система играет наиболее важную роль в поддержании постоянства кислотно-щелочного состояния и может быть оценена при анализе ионного и газового состава крови. Кислотно-щелочной баланс крови высших позвоночных обеспечивается выведением CO_2 с помощью легких и регуляцией уровня HCO_3^- почками. У первичноводных амфибий, к которым относятся амфибии, выведение углекислого газа, как и бикарбонат ионов, в значительной объеме осуществляется через кожу, являющуюся мультифункциональным органом (Stiffler, 1991), вовлеченным в систему поддержания кислотно-щелочного баланса, газовый обмен и в электролитический гомеостазис организма. Разделение кислотно-основных реакций показало, что 75 – 80% регуляции происходит через кожу, малая доля приходится на почки.

У разных видов земноводных в зависимости от их экологической ниши, стадии онтогенеза (Stiffler, 1994) и филогенетического положения кожа в различной степени вовлечена в систему поддержания кислотно-щелочного баланса и электролитический гомеостазис организма. Именно воднообитающие амфибии могут в полной мере использовать регуляторные возможности данного механизма (Stiffler, 1989). Геохимические условия местообитаний, а также экологическая ниша вида могут в значительной мере оказывать влияние на специфику регуляции кислотно-основного равновесия земноводных.

Озёрная лягушка *P. ridibundus* – представитель группы европейских водных зелёных лягушек. Населяет различные проточные и стоячие воды, от небольших водоемов до рек и озер. Озёрная лягушка толерантна к высоким концентрациям растворенных в воде солей (Кузьмин, 2012). Ряд авторов отмечают присутствие ее в прибрежных мелководьях Балтийского, Азовского, Черного морей при минерализации от 6 до 14 мг/дм³ (Динесман, 1953; Доценко, 2006; Щербак, 1966; Milto, 2008). Широкий диапазон физиологических реакций, а также генетический полиморфизм (Berger, Smielowski, 1982) определяют высокий адаптивный потенциал вида (Вершинин, 2004, 2008; Вершинин, Вершинина, 2013).

Цель исследования – установить функциональные особенности механизма поддержания кислотно-щелочного баланса крови на основе анализа изменения содержания ионов и газов крови в популяциях озёрной лягушки Западного Прикаспия, а также в популяциях восточного склона Урала из местообитаний с ультрапресными и минерализованными водами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальной части работы производился отлов животных из природных популяций. Выборки были сделаны в летний период 2019 г. в природных популяциях Западного Прикаспия (Азербайджан) и восточного склона Урала (2014 – 2022 гг.). Ультрапресный водоем расположен в лесопарковой зоне г. Екатеринбурга (лесопарк «Калиновские разрезы»), минерализованный водоем – озеро Кожаккуль – располагается на севере Челябинской области на границе Каслинского и Кунашакского районов. В целом для исследования использовано 75 экз. озёрной лягушки – *Pelophyax ridibundus* Pall., 1771.

После отлова животные незамедлительно доставлялись в лабораторию для проведения физиологических исследований. Изучение газов крови и электролитов цельной крови амфибий было проведено с помощью анализатора GASTAT-navi (Techno-Medica, Co. Ltd, Япония). В приборе применены новейшие одноразовые картриджи для измерения (Sensor card) со встроенными датчиками, проводящими потенциометрическое измерение, и калибровочной жидкостью, что обеспечивает высокую точность. При проведении данного исследования использован картридж 093 (Sensor card 093), позволяющий получать максимальное число необходимых параметров. Для исследования использовалась проба цельной крови объемом 200 мкл (время выполнения анализа – 165 с, включая 120 с предварительного прогрева картриджа). Измеряемые параметры: рН – концентрация ионов (активность) H^+ , pCO_2 – парциальное давление CO_2 , Na^+ – концентрация ионов натрия, K^+ – концентрация ионов калия, Ca^{2+} – концентрация ионов кальция, Hct – гематокрит. Расчетные параметры, определявшиеся прибором: HCO_3^- – концентрация бикарбоната, ctCO_2 – общий CO_2 , cBE – избыток (или дефицит) оснований, Hb – концентрация гемоглобина, cBB – сумма оснований всех буферных систем крови, cSBE – стандартный избыток оснований.

Параллельно с отловом животных производился отбор проб воды в обследуемых местообитаниях. Гидрохимические анализы выполнены в лаборатории физико-химических анализов Уральского государственного горного университета и в лаборатории инженерно-экологических испытаний ООО «АкваСолум».

Регрессионный и дисперсионный анализ первичных данных выполнен в программных пакетах Statistica for Windows 8.0 и MS Excel 10.0. При оценке значимости различий использован *F*-критерий Фишера, в случае сравнения частот

Таблица 1. Гидрохимические параметры исследуемых местообитаний *P. ridibundus*
Table 1. Hydrochemical parameters of the studied habitats of *P. ridibundus*

Местообитание / Habitat	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	pH	ХПК / COD	Минерализация, мг/л / Mineralization, mg/l
Калиновские разрезь / Kalinovskie razrezy (<i>n</i> = 14)	10.3±62.6	20.9±29.8	3.98±40.1	3.9±1.86	6.96±0.14	31.8±4.4	141.5±175.2
Озеро Кожакуль, Челябинская область / Lake Kozhakul, Chelyabinsk region (<i>n</i> = 1)	360.8±234.2	57.0±111.5	454.1±149.9	72.1±5.9	9.2±0.5	6.4±16.3	1554.0±655.5
Окрестности г. Баку (Азербайджан) / The vicinity of Baku (Azerbaijan) (<i>n</i> = 3)	423.6±135.2	338.3±64.4	321.1±86.6	20.3±3.4	8.3±0.3	8.6±9.4	1595.3±378.5
Значимость различий / Significance of differences	$F_{(2, 15)} = 4.5, p = 0.03$	$F_{(2, 15)} = 10.016, p = 0.002$	$F_{(2, 15)} = 8.8, p = 0.003$	$F_{(2, 15)} = 67.8, p = 0.00001$	$F_{(2, 15)} = 15.6, p = 0.0002$	$F_{(2, 15)} = 3.27, p = 0.07$	$F_{(2, 15)} = 7.5, p = 0.005$

Примечание. ХПК – химическое потребление кислорода.
 Note. COD – chemical oxygen demand.

морф применен критерий χ^2 Пирсона. Различия принимались значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты выполненных гидрохимических анализов местообитаний, выбранных для сравнительного анализа популяций, показали, что в случае ультрапресных вод pH близко к нейтральному, в то время как минерализованные воды оз. Кожакуль слабосоленоватые, гидрокарбонатного класса со щелочным pH. В окрестностях г. Баку водоемы солоноватые и соленые (с минерализацией до 3600 мг/дм³), относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-натриевому щелочному типу (табл. 1). В отношении хлоридов, сульфатов, как и общей минерализации, в целом можно говорить о росте концентраций ионов (от Калиновских разрезов до г. Баку).

Анализ отобранных выборок из исследуемых популяций по морфологическим параметрам не выявил значимых различий между ними

(табл. 2), несмотря на то что животные из окрестностей г. Баку более мелкие.

Оценка различий по концентрациям газов и электролитов крови (табл. 3) в выборках *P. ridibundus* из разных популяций (из ультрапресных и солоноватых вод) показала, что парциальное давление и концентрация углекислого газа у животных из популяций, населяющих солоноватые воды, повышены (гиперкапния), отмечается увеличение содержания бикарбонат-ионов. Также в условиях высокой минерализации при высокой концентрации буферных оснований систем крови (BB) отмечается дефицит актуальных оснований (BE) и низкий уровень стандартных оснований (SBE), которые имеют отрицательные значения).

Концентрация ионов кальция в крови животных, обитающих в условиях щелочных вод почти вдвое ниже, чем в популяции из местообитания с ультрапресными водами.

Выявлен ряд различий, связанных с генетическим полиморфизмом вида (Berger, Smielowski,

Таблица 2. Морфофизиологические особенности *P. ridibundus* сравниваемых популяций
Table 2. Morphophysiological characteristics of *P. ridibundus* compared populations

Местообитание / Habitat	Пол / Sex	<i>n</i>	<i>L</i> , мм / mm	<i>P</i> , мг / mg
Калиновские разрезь / Kalinovskie razrezy	♂♂	15	76.7±3.3	48308.7±7573.6
	♀♀	23	86.9±2.7	80475.7±6116.3
Озеро Кожакуль / Lake Kozhakul	♂♂	12	88.7±3.7	67541.7±8467.6
	♀♀	11	99.2±3.8	84148.7±8844.1
г. Баку и окрестности / Baku city and surroundings	♂♂	7	47.7±4.8	10140.0±11086.7
	♀♀	9	66.3±4.2	23352.2±9777.5
Значимость различий / Significance of differences			$F_{(2, 71)} = 0.65, p = 0.5$	$F_{(2, 71)} = 0.796, p = 0.5$

Примечание. *L* – длина тела, *P* – масса.
 Note. *L* – body length, *P* – mass.

Таблица 3. Концентрации газов и электролитов крови в исследуемых выборках *P. ridibundus*
Table 3. Concentrations of blood gases and electrolytes in the studied samples of *P. ridibundus*

Параметр / Parameter	Местообитание / Habitat			Значимость различий / Significance of differences
	Калиновские разрезы / Kalinovskie razrezy, n = 38	Озеро Кожаккуль / Lake Kozhakul, n = 23	г. Баку / Baku city, n = 15	
pH	7.3±0.02	7.4±0.03	7.46±0.03	$F_{(2, 72)} = 7.89, p = 0.0008$
pCO ₂	14.3±1.8	26.7±2.3	20.8±2.8	$F_{(2, 74)} = 9.1697, p = 0.0003$
cNa	109.2±2.6	123.9±3.3	108.6±3.9	$F_{(2, 74)} = 7.1, p = 0.002$
cK	5.6±0.3	3.8±0.5	6.3±0.5	$F_{(2, 71)} = 7.5, p = 0.002$
cCa	0.76±0.04	0.48±9.4	0.43±9.9	$F_{(2, 72)} = 14.840, p = 0.00001$
Hct	39.4±2.04	43.4±2.6	32.9±3.1	$F_{(2, 74)} = 3.2784, p = 0.04$
ctHb	13.4±0.5	11.9±0.74	11.2±0.8	$F_{(2, 69)} = 3.19, p = 0.04$
cHCO ₃	6.9±0.9	14.9±1.2	14.1±1.4	$F_{(2, 72)} = 18.03, p = 0.00001$
cBE	16.2±0.8	-7.26±1.1	-8.04±1.3	$F_{(2, 70)} = 26.98, p = 0.00001$
cBB	31.0±0.9	39.9±1.2	38.4±1.4	$F_{(2, 70)} = 20.8, p = 0.00001$
cSBE	17.3±0.98	-8.7±1.28	-7.9±1.6	$F_{(2, 72)} = 20.7, p = 0.00001$
ctCO ₂	7.4±0.95	15.6±1.3	14.7±1.5	$F_{(2, 71)} = 16.759, p = 0.00001$
% striata	0	73.9	37.5	$\chi^2 = 5.17, p = 0.02$

Примечание. pH – концентрация ионов (активность) H⁺, pCO₂ – парциальное давление CO₂, Na⁺ – концентрация ионов натрия, K⁺ – концентрация ионов калия, Ca²⁺ – концентрация ионов кальция, Hct – гематокрит, HCO₃⁻ – концентрация бикарбоната, ctCO₂ – общий CO₂, cBE – избыток (или дефицит) оснований, Hb – концентрация гемоглобина, cBB – сумма оснований всех буферных систем крови, cSBE – стандартный избыток оснований.

Note. pH – H⁺ ion concentration (activity), pCO₂ – partial pressure of CO₂, Na⁺ – sodium ion concentration, K⁺ – potassium ion concentration, Ca²⁺ – calcium ion concentration, Hct – hematocrit, HCO₃⁻ – bicarbonate concentration, ctCO₂ – total CO₂, cBE – base excess (or deficit), Hb – hemoglobin concentration, cBB – sum of bases of all blood buffer systems, cSBE – standard excess of bases.

1982). Так, у животных морфы striata снижены концентрации ионов калия и кальция в крови, а также содержание гемоглобина (табл. 4). В то же время концентрации углекислого газа, бикарбонат-ионов и сумма буферных оснований у striata выше. В целом кровь особей striata имеет значимо более щелочную реакцию. Вероятно, физиологические особенности особей морфы striata, проявляющиеся в значимо низких концентрациях ряда ионов (сK⁺, сCa²⁺) и высокой сумме оснований всех буферных систем крови, имеют адаптивное значение в условиях геохимических аномалий, что выражается в увеличении встречаемости данной морфы в этих популяциях (см, табл. 3).

Также установлено, что концентрации кальция повышены у самок – 0.68±0.04 по сравнению с самцами 0.52±0.05 ($F_{(1, 72)} = 5.535, p = 0.02$).

Регрессионный анализ изученных параметров крови, проведенный для каждой из исследованных популяций, выявил ряд значимых связей, которые приводятся ниже (табл. 5 – 7).

В популяции, обитающей в условиях ультрапресных поверхностных вод, выявлено 46 статистически значимых корреляций (все положительные). Наличие корреляций между определенными параметрами системы гомеостаза их количество и знак характеризуют состояние механизма, поддерживающего кислотно-щелочное равновесие. Эти связи отражают разнообразие путей регуляции баланса,

центральное место в которых занимает работа бикарбонатного буфера в сочетании с пассивным транспортом, обычно преобладающим у *P. ridibundus* над активным (Вершинина и др., 2021).

Таблица 4. Различия по концентрациям газов и электролитов крови между морфами

Table 4. Differences in concentrations of blood gases and electrolytes between morphs

Параметр / Parameter	Морфа / Morphs		Значимость различий / Significance of differences
	Бесполовые / Stripless, n = 54	Striata, n = 23	
pH	7.35±0.02	7.45±0.03	$F_{(1, 73)} = 7.7, p = 0.007$
cK ⁺	5.9±0.27	3.6±0.4	$F_{(1, 72)} = 19.547, p = 0.00003$
cCa ²⁺	0.68±0.04	0.44±0.05	$F_{(1, 73)} = 13.08, p = 0.0006$
ctHb	13.7±0.8	7.8±1.36	$F_{(1, 70)} = 5.85, p = 0.02$
cHCO ₃ ⁻	9.4±0.9	13.7±1.37	$F_{(1, 73)} = 6.96, p = 0.01$
cBE	-13.7±0.8	-7.8±1.35	$F_{(1, 71)} = 13.750, p = 0.0004$
cBB	33.5±0.8	39.1±1.42	$F_{(1, 71)} = 11.334, p = 0.001$
cSBE	-14.4±0.9	-9.4±1.5	$F_{(1, 73)} = 7.98, p = 0.006$
ctCO ₂	9.9±0.9	14.2±1.5	$F_{(1, 72)} = 5.9, p = 0.02$

Примечание. Условные обозначения см. табл. 3.

Note. See Table 3 for symbols.

Таблица 5. Выявленные значимые корреляции между исследуемыми параметрами крови *P. ridibundus* из популяции лесопарка Калиновские разрезы (2016 – 2022 г.)

Table 5. Identified significant correlations between the studied blood parameters of *P. ridibundus* from the population of the Kalinovskie razrezy forest park (2016–2022)

Параметр / Parameter	pH	pCO ₂	cNa ⁺	cK ⁺	cCa ²⁺	cHCO ₃ ⁻	ctCO ₂	Hct	ctHb	cBE	cBB	cSBE
pH		–	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–	–
pCO ₂	–		–	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
cNa ⁺	0.421	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–
cK ⁺	–	0.984	–		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
cCa ²⁺	–	0.987	–	0.998		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
cHCO ₃ ⁻	–	0.995	–	0.993	0.996		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
ctCO ₂	–	0.995	–	0.993	0.996	1.00		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Hct	–	0.975	–	0.976	0.975	0.996	0.978		0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
cHb	–	0.988	–	0.998	0.998	0.996	0.996	0.986		0.00001	0.00001	0.00001
cBE	–	0.991	–	0.993	0.997	0.999	0.999	0.978	0.996		0.00001	0.00001
cBB	–	0.99	–	0.985	0.989	0.997	0.997	0.981	0.992	0.998		0.00001
cSBE	–	0.992	–	0.993	0.997	0.999	0.999	0.977	0.996	1.00	0.997	

Примечание. Ниже диагонали – коэффициенты корреляции; выше – значения *p*, отражающие уровень значимости различий. Условные обозначения см. табл. 3.

Note. Below the diagonal are correlation coefficients; above are *p* values reflecting the significance level of differences. See Table 3 for symbols.

Система корреляций исследуемых показателей крови в популяции, населяющей солоноватый водоем (оз. Кожакуль) со щелочным pH (9.2), становится беднее: всего выявлено 36 корреляций; 19 связей, характеризующих функциональное состояние бикарбонатного буфера, исчезают (см. табл. 6). Появляются 9 новых (8 из них отрицательные), что, на наш взгляд, свидетельствует о подключении активного транспорта к процессу регуляции кислотно-основного баланса.

Система корреляций исследуемых показателей крови у животных, населяющих окрестности г. Баку (солоноватые и соленые воды) с основным pH диапазона 7.93 – 8.54, еще больше обедняется (всего их отмечено 27); 29 связей, относящихся к функционированию бикарбонатного буфера, исчезают. Возникают 11 новых (4 из них отрицательные), что связано с резким сокращением регуляторных возможностей механизма поддержания кислотно-щелочного баланса в

Таблица 6. Выявленные значимые корреляции между исследуемыми параметрами крови *P. ridibundus* из популяции оз. Кожакуль (2019 г.)

Table 6. Revealed significant correlations between the studied blood parameters of *P. ridibundus* from population of Lake Kozhakul (2019)

Параметр / Parameter	pH	pCO ₂	cNa ⁺	cK ⁺	cCa ²⁺	cHCO ₃ ⁻	ctCO ₂	Hct	ctHb	cBE	cBB	cSBE
pH		0.0001	–	0.002	–	0.02	0.01	–	0.04	–	–	–
pCO ₂	-0.73		–	0.0015	0.0006	0.000002	0.000001	–	0.03	0.01	0.02	0.001
cNa ⁺	–	–		–	–	0.025	0.03	0.001	–	–	–	0.02
cK ⁺	-0.63	0.649	–		0.04	0.02	0.02	–	0.04	–	–	–
cCa ²⁺	–	0.684	–	0.458		0.0003	0.0004	–	–	0.01	–	0.00001
cHCO ₃ ⁻	-0.48	0.830	-0.48	0.497	0.716		0.00001	–	–	0.000002	0.0002	0.000001
ctCO ₂	-0.51	0.853	-0.47	0.509	0.719	0.999		–	–	0.000005	0.0004	0.000001
Hct	–	–	0.638	–	–	–	–		0.000001	–	–	–
cHb	-0.49	0.522	–	0.492	–	–	–	1.00		–	–	–
cBE	–	0.562	–	–	0.574	0.855	0.844	–	–		0.000001	0.000001
cBB	–	0.508	–	–	–	0.737	0.726	–	–	0.953		0.000004
cSBE	–	0.639	-0.49	–	0.612	0.939	0.931	–	–	0.952	0.837	

Примечание. Ниже диагонали – коэффициенты корреляции; выше – значения *p*, отражающие уровень значимости различий. Условные обозначения см. табл. 3.

Note. Below the diagonal are correlation coefficients; above are *p* values reflecting the significance level of differences. See Table 3 for symbols.

Таблица 7. Выявленные значимые корреляции между исследуемыми параметрами крови *P. ridibundus* из окрестностей г. Баку (2019 г.)

Table 7. Identified significant correlations between the studied blood parameters of *P. ridibundus* from the vicinity of Baku (2019)

Параметр / Parameter	pH	pCO ₂	cNa ⁺	cK ⁺	cCa ²⁺	cHCO ₃ ⁻	ctCO ₂	Hct	ctHb	cBE	cBB	cSBE
pH		0.001	0.005	–	0.006	–	–	0.03	0.03	0.03		0.015
pCO ₂	-0.75		0.0004	–	0.00003	0.03	0.017	0.01	0.008	–	–	–
cNa ⁺	-0.68	0.861		–	0.0002	0.04	0.03	0.0015	0.0015	–	–	–
cK ⁺	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–
cCa ²⁺	-0.68	0.852	0.802	–		–	–	0.01	0.01	–	–	–
cHCO ₃ ⁻	–	0.558		–	–		0.0001	–	–	0.0004	0.0003	0.0001
ctCO ₂	–	0.601	0.555	–	–	0.999		–	–	0.0001	–	0.0002
Hct	-0.57	0.632	0.724	–	0.627	–	–		0.00001	–	–	–
ctHb	-0.57	0.632	0.723	–	0.627	–	–	–		–	–	–
cBE	0.565	–	–	–	–	0.858	0.832	–	–		0.00001	0.00001
cBB	–	–	–	–	–	0.863	–	–	–	0.891		–
cSBE	0.613	–	–	–	–	0.842	0.814	–	–	0.987	–	

Примечание. Ниже диагонали – коэффициенты корреляции; выше – значения *p*, отражающие уровень значимости различий. Условные обозначения см. табл. 3.

Note. Below the diagonal are correlation coefficients; above are *p* values reflecting the significance level of differences. See Table 3 for symbols.

условиях высоких концентраций ионов и щелочного pH.

Повышение минерализации затрудняет поддержание равновесия преимущественно на основе использования пассивного транспорта и нарушает схему регуляции, существовавшей в условиях ультрапресных вод. Это меняет число и конфигурацию ионных потоков, роль буферных систем, снижает функциональную эффективность калий-натриевого насоса.

При щелочном pH окружающей среды (см. табл. 1) в плазме крови снижается концентрация кальция, так как его выведение снижает алколиз. Высокое парциальное давление углекислого газа в крови способствует увеличению уровня бикарбонат-ионов, при этом гемоглобиновый буфер используется для связывания ионов водорода. В условиях солоноватых вод выведение ионов водорода из организма, сопровождающееся пассивным проникновением ионов натрия (Stiffler, 1991), становится невозможным. Пассивного транспорта, обычно занимающего значительное место у озёрной лягушки при поддержании кислотно-щелочного баланса в этих условиях недостаточно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Воднообитающий вид *P. ridibundus* на протяжении всего жизненного цикла окружен водной средой, которая обеспечивает свободный обмен газами и ионами через всю поверхность тела благодаря, как, преимущественно, пассивному, так и

активному транспорту, легко реализуемому в значительном объеме. В зависимости от уровня минерализации, ионного состава водной среды и pH характер и регуляторный потенциал (который характеризуется количеством корреляционных взаимодействий) меняется. Это отражается на преобладающей направленности трансмембранных газо-ионных потоков, отвечающих за кислотно-основной гомеостазис. В определенных пределах (от ультрапресных до минерализованных вод) эти потоки поддерживаются благодаря пассивному транспорту. По-видимому, повышение минерализации до уровня солоноватых и соленых вод, избыток ионов в среде, а также щелочное pH затрудняют пассивный транспорт и обедняют регуляторные возможности системы, что ведет к увеличению доли активного транспорта, требующего, как известно, затрат энергии (Flier et al., 1980; Pivovarov et al., 2019).

Таким образом, число и характер корреляционных связей между концентрациями электролитов и газов крови хорошо отражают состояние системы поддержания кислотно-щелочного гомеостаза животных из популяции, находящейся в определенных условиях среды обитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бусловская Л. К. 2004. Энергетический обмен и кислотно-щелочной баланс у сельскохозяйственных животных при адаптации к стрессорам : дис. ... д-ра биол. наук. Белгород. 352 с.
 Вершинин В. Л. 2004. Гемопозз бесхвостых амфибий – специфика адаптациогенеза видов в современ-

ных экосистемах // Зоологический журнал. Т. 83, № 11. С. 1367 – 1374.

Вершинин В. Л. 2008. Морфа *striata* у представителей рода *Rana* (Amphibia, Anura) – причины адаптивности к изменениям среды // Журнал общей биологии. Т. 69, № 1. С. 65 – 71.

Вершинин В. Л., Вершинина С. Д. 2013. Физиологическое сходство морф, обусловленных гомологичными аллелями, у представителей семейства Ranidae // Успехи современной биологии. Т. 113, № 5. С. 516 – 523.

Вершинина С. Д., Вершинин В. Л., Гурвич А. Н. 2021. Функциональная специфика поддержания кислотно-щелочного баланса крови в семействе Ranidae – сравнительно-экологический анализ // Вопросы герпетологии : программа и тезисы докладов VIII съезда Герпетологического общества имени А. М. Никольского при РАН «Современные герпетологические исследования Евразии» / под ред. Е. А. Дунаева, Н. А. Пояркова. М. : Т-во науч. изд. КМК. С. 41 – 43.

Динесман Л. Г. 1953. Амфибии и рептилии юго-востока Тургайской столовой страны с северного Приаралья // Труды Института географии АН СССР. Вып. 54. С. 383 – 422.

Доценко И. Б. 2006. О солоноватоводных популяциях озерной лягушки (*Rana ridibunda*) в окрестностях Одессы // Збірник праць Зоологічного музею. Т. 38. С. 80 – 83.

Кузьмин С. Л. 2012. Земноводные бывшего СССР. М. : Т-во науч. изданий КМК. 370 с.

Робинсон Дж. Р. 1969. Основы регуляции кислотно-щелочного равновесия. М. : Медицина. 72 с.

Щербак Н. Н. 1966. Земноводные и пресмыкающиеся Крыма. Herpetologia Taurica. Киев : Наукова думка, 239 с.

Berger L., Smielowski J. 1982. Inheritance of vertebral stripe in *Rana ridibunda* Pall. (Amphibia, Ranidae) // Amphibia – Reptilia. Vol. 3. P. 145 – 151.

Flier J., Edwards M. W., Daly J. W., Myers C. W. 1980. Widespread occurrence in frogs and toads of skin compounds interacting with the ouabain site of Na⁺, K⁺-ATPase // Science. Vol. 208, № 4443. P. 503 – 505.

Milto K. D. 2008. Amphibian breeds in the Baltic Sea // Russian Journal of Herpetology. Vol. 15, № 1. P. 8 – 10.

Pivovarov A. S., Calahorro F., Walker R. J. 2019. Na⁺/K⁺-pump and neurotransmitter membrane receptors // Invertebrate Neuroscience. Vol. 19, iss. 1. Article number 1. <https://doi.org/10.1007/s10158-018-0221-7>

Stiffler D. F. 1989. Interactions between cutaneous ion-exchange mechanisms and acid-base balance in amphibians // Canadian Journal of Zoology. Vol. 67, № 12. P. 3070 – 3077. <https://doi.org/10.1139/z89-43>

Stiffler D. F. 1991. Partitioning of acid-base regulation between renal and extrarenal sites in the adult, terrestrial stage of the salamander *Ambystoma tigrinum* during respiratory acidosis // Journal of Experimental Biology. Vol. 157, iss. 1. P. 47 – 62. <https://doi.org/10.1242/jeb.157.1.47>

Stiffler D. F. 1994. Developmental changes in amphibian electrolyte and acid-base transport across skin // Israel Journal of Zoology. Vol. 40, iss. 3–4. P. 507 – 518.

Influence of the geochemical background of the Western Caspian region of Azerbaijan on acid-base balance regulation of *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Amphibia, Ranidae) blood

V. L. Vershinin^{1, 2✉}, S. D. Vershinina¹, G. A. Gasymova^{3, 4}

¹ Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202 8th March St., Yekaterinburg 620144, Russia

² Ural Federal University
19 Mira St., Yekaterinburg 620002, Russia

³ Institute of Zoology, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
504th block, 1128th side street, A. Abbaszadeh St., Baku city AZ 1004, Republic of Azerbaijan

⁴ Khazar University
41 Mehseti Ganjavi St., Baku city AZ 1009, Republic of Azerbaijan

Article info

Original Article

<https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-3-11>
EDN: QGSOBQ

Received August 2, 2023,
revised September 14, 2023,
accepted September 25, 2023,
published June 28, 2024

Abstract. This research paper examines the influence geochemical specifics of habitats on acid base balance of marsh frog blood. An aquatic species, *P. ridibundus*, is surrounded throughout its entire life cycle by an aquatic environment, which ensures the free exchange of gases and ions across the entire surface of the body, thanks mainly to passive and active transport, which is easily realized in a significant volume. Depending on the level of mineralization, the ionic composition of the aquatic environment and pH, the nature and regulatory potential (which is characterized by the number of correlation interactions) changes. This is reflected in the predominant direction of transmembrane gas-ion flows responsible for acid-base homeostasis. Within certain limits (from ultra-fresh to mineralized waters), these flows are maintained due to passive transport. Apparently, an increase in mineralization to the level of brackish and saline waters, an excess of ions in the environment, as well as an alkaline pH, complicates passive transport and impoverishes the regulatory capabilities of the system, which leads to an increase in the proportion of active transport. Thus, the number and nature of correlations between the concentrations of electrolytes and blood gases well reflect the state of the system for maintaining acid-base homeostasis of animals from a population located in certain environmental conditions.

Keywords: marsh frog, acid-base balance of blood, electrolytes and blood gases, mineralization

Acknowledgements: This work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (registration No. 122021000082-0).

For citation: Vershinin V. L., Vershinina S. D., Gasymova G. A. Influence of the geochemical background of the Western Caspian region of Azerbaijan on acid-base balance regulation of *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) (Amphibia, Ranidae) blood. *Current Studies in Herpetology*, 2024, vol. 24, iss. 1–2, pp. 3–11 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2024-24-1-2-3-11>, EDN: QGSOBQ

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

REFERENCES

Buslovskaya L. K. *Energy Metabolism and Acid-Base Balance in Farm Animals During Adaptation to Stressors*. Diss. Dr. Sci. (Biol.). Belgorod, 2004. 352 p. (in Russian).

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

Vershinin V. L. Morph striata in representatives of the genus *Rana* (Amphibia, Anura) – reasons for adapta-

bility to environmental changes. *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2008, vol. 69, no. 1, pp. 65–71 (in Russian).

Vershinin V. L., Vershinina S. D. Physiological similarity of morphs caused by homologous alleles in representatives of the family Ranidae. *Biology Bulletin Reviews*, 2013, vol. 113, no. 5, pp. 516–523 (in Russian).

Vershinina S. D., Vershinin V. L., Gurvich A. N. Functional specificity of the blood acid-base balance maintaining in Ranidae family – comparative ecological analysis. In: Dunayev E. A., Poyarkov N. A., eds. *Problems of Herpetology: Program and Abstracts of the VIII Congress of the A. M. Nikolsky Herpetological Society*

✉ *Corresponding author.* Laboratory of Functional Ecology of Terrestrial Animals of Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Vladimir L. Vershinin: <https://orcid.org/0000-0002-7709-9446>, vol_de_mar@list.ru; Svetlana D. Vershinina: <https://orcid.org/0000-0002-9257-6511>; Gulbaniz A. Gasimova: gqasimova@mail.ru.

(NHS) of the Russian Academy of Sciences "Current Herpetological Research in Eurasia". Moscow, KMK Scientific Press, 2021, pp. 41–43 (in Russian).

Dinesman L. G. Amphibians and reptiles of the south-east of the Turgai Plateau Country and the Northern Aral region. *Proceedings of the Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences*, 1953, iss. 54, pp. 383–422 (in Russian).

Dotsenko I. B. The lake frog (*Rana ridibunda*) saltwater populations in vicinities of Odessa. *Zbirnyk Prats' Zoologichnogo Muzeju*, 2006, vol. 38, pp. 80–83 (in Russian).

Kuzmin S. L. *Amphibians of the Former USSR*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd, 2012. 370 p. (in Russian).

Robinson J. R. *Fundamentals of Acid-Base Regulation*. Moscow, Medicina, 1969. 72 p. (in Russian).

Scherbak N. N. *Amphibians and Reptiles of the Crimea. Herpetologia Taurica*. Kiev, Naukova Dumka, 1966. 239 p. (in Russian).

Berger L., Smielowski J. Inheritance of vertebral stripe in *Rana ridibunda* Pall. (Amphibia, Ranidae). *Amphibia – Reptilia*, 1982, vol. 3, pp. 145–151.

Flier J., Edwards M. W., Daly J. W., Myers C. W. Widespread occurrence in frogs and toads of skin compounds interacting with the ouabain site of Na⁺, K⁺-ATPase. *Science*, 1980, vol. 208, no. 4443, pp. 503–505.

Milto K. D. Amphibian breeds in the Baltic Sea. *Russian Journal of Herpetology*, 2008, vol. 15, no. 1, pp. 8–10.

Pivovarov A. S., Calahorro F., Walker R. J. Na⁺/K⁺-pump and neurotransmitter membrane receptors. *Invertebrate Neuroscience*, 2019, vol. 19, iss. 1, article no. 1. <https://doi.org/10.1007/s10158-018-0221-7>

Stiffler D. F. Interactions between cutaneous ion-exchange mechanisms and acid-base balance in amphibians. *Canadian Journal of Zoology*, 1989, vol. 67, no. 12, pp. 3070–3077. <https://doi.org/10.1139/z89-43>

Stiffler D. F. Partitioning of acid-base regulation between renal and extrarenal sites in the adult, terrestrial stage of the salamander *Ambystoma tigrinum* during respiratory acidosis. *Journal of Experimental Biology*, 1991, vol. 157, iss. 1, pp. 47–62. <https://doi.org/10.1242/jeb.157.1.47>

Stiffler D. F. Developmental changes in amphibian electrolyte and acid-base transport across skin. *Israel Journal of Zoology*, 1994, vol. 40, iss. 3–4, pp. 507–518.