

<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-4-807-815><https://zoobank.org/References/8F123CE8-5986-4B4C-B3C8-66AAFBCCF50>

УДК 504.054:598.132.8

Накопление микроэлементов в скорлупе яиц дальневосточной черепахи *Pelodiscus maackii* (Brandt, 1858)

И. А. Никитина^{1✉}, Р. С. Андропова¹, Д. Д. Кришкевич²¹ ФГБУ «Заповедное Приамурье», ул. Серышева, д. 60, 680038, г. Хабаровск, Россия² МАУ ДО «Центр внешкольной работы с. Троицкое», ул. имени В. А. Пушкинова, д. 5, 682350, с. Троицкое, Россия

Сведения об авторах

Никитина Ирина Александровна

E-mail: nauka-khekh@mail.ru

SPIN-код: 2836-5355

Андропова Римма Сабировна

E-mail: rim.andronova@gmail.com

Кришкевич Дмитрий Дмитриевич

E-mail: kramid@mail.ru

Права: © Авторы (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Аннотация. Оценка воздействия окружающей среды на редкие виды животных — важное направление в изучении и сохранении биоразнообразия. Ключевые проблемы мониторинга физиологического состояния редких видов в природе заключаются в трудности проведения исследований с живыми объектами и отсутствии стандартизации методов. Анализ состава скорлупы яиц дальневосточной черепахи рассматривается как один из доступных неинвазивных способов оценки негативного техногенного или природного действия на этот вид. Количественное определение токсичных элементов, прежде всего тяжелых металлов, в производных организма позволяет диагностировать изменение элементного состава его кормовой базы и среды обитания. В работе показано, что микроэлементный состав скорлупы яиц дальневосточной черепахи отражает такие изменения в водных объектах бассейна реки Амур.

Ключевые слова: дальневосточная черепаха, скорлупа яиц, микроэлементы, бассейн Амура, мониторинг

Accumulation of trace elements in the shell of eggs of Amur Softshell turtle *Pelodiscus maackii* (Brandt, 1858)

I. A. Nikitina^{1✉}, R. S. Andronova¹, D. D. Krishkevich²¹ Joint Directorate of State Natural Reserves and National Parks of Khabarovsk Krai (Federal State Budgetary Institution 'Zapovednoe Priamurye'), 60 Serysheva Str., 680038, Khabarovsk, Russia² Municipal Autonomous Institution of Additional Education 'Center for Extracurricular Activities Troitskoye' in the Nanai District (Municipal Autonomous Institution of Additional Education 'Center for Extracurricular Activities'), 5 V. A. Pushnikova Str., 682350, Troitskoye, Russia

Authors

Irina A. Nikitina

E-mail: nauka-khekh@mail.ru

SPIN: 2836-5355

Rimma S. Andronova

E-mail: rim.andronova@gmail.com

Dmitry D. Krishkevich

E-mail: kramid@mail.ru

Copyright: © The Authors (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY License 4.0.

Abstract. Assessing the impact of environmental factors on rare animal species is a crucial aspect of biodiversity research and conservation. The key challenges in monitoring the physiological condition of rare species in the wild are the difficulty of studying live specimens and the lack of standardized methods. Analyzing the eggshell composition of the Amur Softshell Turtle is an accessible, non-invasive method for evaluating negative anthropogenic or natural impacts on this species. Quantitative determination of toxic elements — primarily heavy metals — in biological materials allows for the diagnosis of changes in the elemental composition of its food resources and habitat. This study demonstrates that the trace element composition of Amur Softshell Turtle eggshells reflects such changes occurring in the aquatic environments of the Amur River basin.

Keywords: Amur Softshell Turtle, eggshell, trace elements, Amur River basin, monitoring

Введение

Антропогенное воздействие наряду с природно-климатическими изменениями приводит к изменению сложившихся в ходе естественного эволюционного процесса уровней химических элементов в организмах, связанных с химическим составом среды обитания. В водной среде передача элементов загрязнения по пищевым цепям происходит достаточно быстро и способна вызывать регистрируемые изменения в органах гидробионтов (Моисеенко и др. 2006).

Дальневосточная черепаха *Pelodiscus maackii* (Brandt, 1857) — реликт позднеэоценовой фауны и редкий вид бассейна Амура. Вид рассматривается как индикатор состояния природных вод речной системы. Ареал дальневосточной черепахи в Приамурье распространяется на северо-востоке от устья р. Горин, севернее г. Комсомольска-на-Амуре (Бобровский 2021), до восточных границ Амурской области на западе (Тагирова 1997; Adnagulov, Oleinikov 2006) и устьевой части р. Уссури на юге (Тагирова, Андропова 2018). Ключевым местом обитания и воспроизводства черепахи на Нижнем Амуре является оз. Гасси (Богатов 1994). Большая часть (72,2 %) акватории озера входит в состав национального парка «Ануйский», вдоль западной границы которого водоем пересекает дамба автомобильной дороги. Озеро пойменное, проточное, состав вод его в границах поймы определяется характером горных рек Хар и Пихца, поставляющих 87 % годового стока водосборной площади озера. Участки размножения черепах встречаются и ниже по течению Амура по отмелям проток и на островах (Кришкевич, Тагирова 2022).

Для откладки яиц самки дальневосточной черепахи выбирают сухие места с хорошо прогреваемой почвой недалеко от воды. Обычно это песчаные отмели, реже галечники. Кладки яиц располагаются, как правило, на высоких участках прибрежий и кос. Глубина залегания кладок варьирует

от 5–7 до 18–20 см от поверхности грунта, количество яиц в которых может достигать 18–75. Яйца белые с бежевым оттенком или желтоватые, шарообразные, диаметром в среднем 20 мм и массой около 5 г (Аднагулов 2012; Кришкевич, Тагирова 2022), заметно отличаются от птичьих. Имеются данные, что скорлупа яиц черепахи состоит из карбоната кальция (95 %), полиморфы арагонита вместо кальцита (Packard et al. 1982), хотя некоторые виды черепах могут производить кальцитовую скорлупу, как у раковин моллюсков, что до сих пор изучено недостаточно. Во время инкубации яичная скорлупа обеспечивает поступление кальция для эмбриона и контроль водо- и газообмена с окружающей средой (Du et al. 2010). Микроэлементный состав скорлупы яиц дальневосточной черепахи требует дополнительного изучения. Вместе с тем содержание элементов, прежде всего тяжелых металлов, в скорлупе может служить индикатором загрязнения среды обитания и степени накопления их в организме редкого вида. Метод неинвазивного контроля содержания микроэлементов (Никитина, Андропова 2024) в производных частях животных оптимально использовать для экологического мониторинга состояния популяций дальневосточной черепахи.

Материалы и методы

Материалом для исследования накопления микроэлементов послужили фрагменты скорлупы яиц дальневосточной черепахи, отобранные из разоренных либо погибших при затоплении кладок в 2016–2023 гг. в трех районах размножения в бассейне Нижнего Амура (рис. 1).

1-й — оз. Гасси в национальном парке «Ануйский», два участка кладок яиц: мыс Осиновый (49°03'00.8", 136°32'41.2"); галечная отмель близ автомобильного моста (49°03'46.6", 136°31'10.5");

2-й — песчаные отмели прот. Хоринская р. Амур близ с. Иннокентьевка Нанайского района, два участка (49°41'29.4", 136°53'45.6");

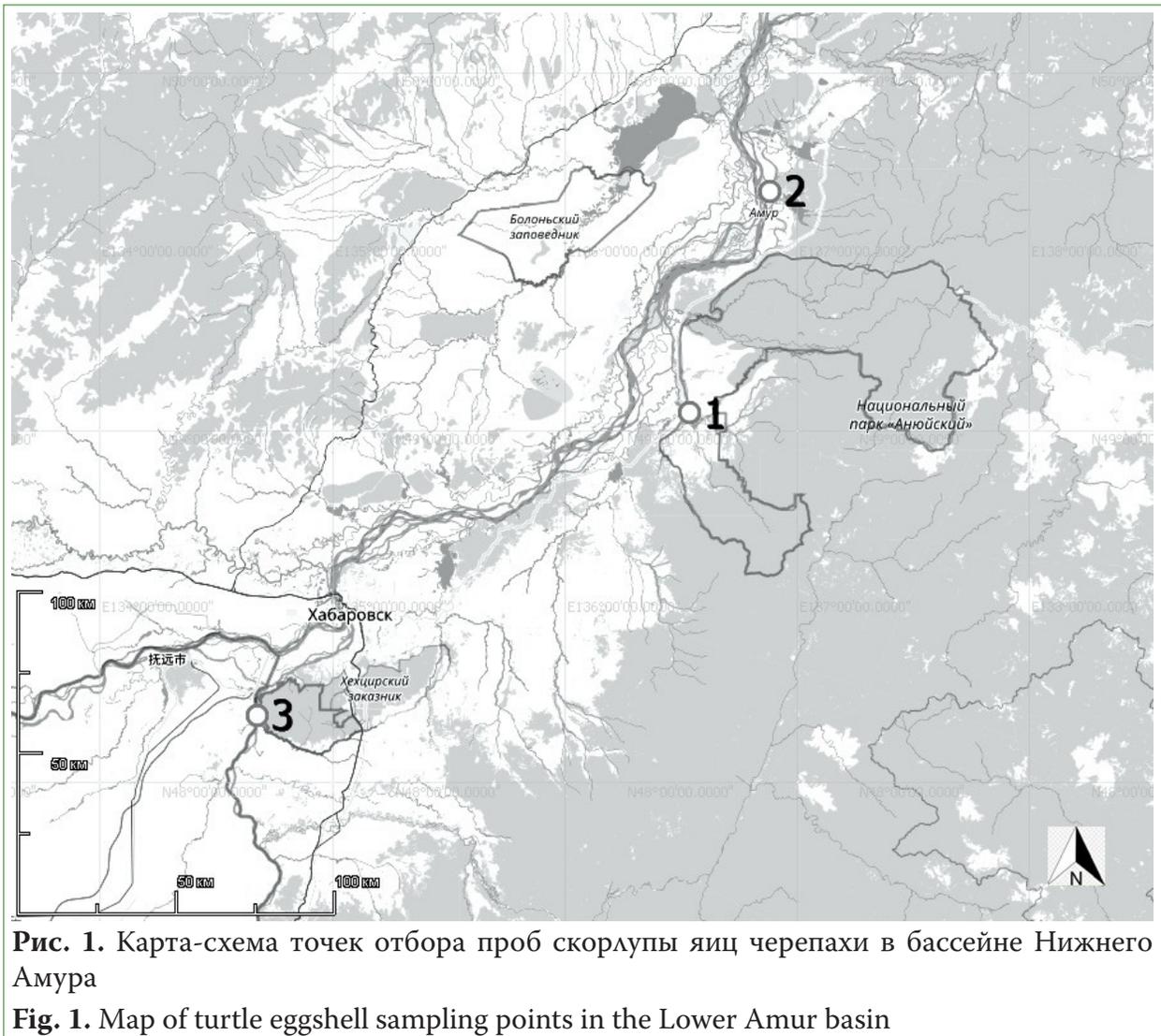


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб скорлупы яиц черепахи в бассейне Нижнего Амура

Fig. 1. Map of turtle eggshell sampling points in the Lower Amur basin

3-й — правый берег р. Усури в заповеднике «Большехехцирский»: галечная отмель ($48^{\circ}11'22.1''$, $134^{\circ}40'39.0''$).

Всего за период 2016–2023 гг. было исследовано 29 объединенных проб из более чем 160 разоренных кладок черепах. В пробы отобраны кальцинированные фрагменты скорлупы, толщина которых составляла от 0,15 до 0,25 мм.

Первый этап работы предусматривал сбор образцов для исследования. Фрагменты скорлупы яиц дальневосточной черепахи на ключевом участке размножения, на оз. Гасси — на мысе Осиновый и галечной отмели близ автомобильного моста — были собраны из разоренных хищниками кладок. Собранные фрагменты скорлупы яиц на этом участке составили за период исследования 11 объединенных проб. Из них 5 проб скорлупы ото-

браны в 2016–2017 гг., их состав определил первичные концентрации элементов (Никитина 2018).

Второй этап на оз. Гасси был проведен по завершении прокладки нитки газопровода и прекращения в 2023 г. техногенного воздействия на экосистему озера. Отобрано 6 объединенных проб скорлупы яиц черепахи.

Концентрации микроэлементов в поверхностных водах, установленные нами для района исследований (Никитина 2018), представленные в таблице 1 и характеризующие низкую минерализацию вод бассейна Нижнего Амура, использованы для оценки накопления элементов в скорлупе яиц черепахи.

Подготовку проб скорлупы проводили отмывкой фрагментов дистиллированной водой и высушиванием до воздушно-сухого состояния. Фрагменты скорлупы измельчали в

Таблица 1

Данные анализов микроэлементного состава поверхностных вод Нижнего Амура, 2016–2017 гг. (мкг/л)

Table 1

Trace element composition of surface waters in the Lower Amur basin, 2016–2017, µg/l

Элемент	Оз. Гасси НП «Анюйский», n = 5	Р. Уссури, устье р. Чирки, n = 2	Р. Амур, Нанайский р-н, ГП «Троицкое»
Be	0,05	< 0.001	< 0.001
Al	107,01	226,72	194,81
V	1,87	1,69	0,84
Cr	1,93	0,91	0,94
Mn	194,11	119,58	47,21
Fe	1821,37	1044,15	960,25
Co	0,84	0,44	0,13
Ni	2,34	2,10	1,01
Cu	4,42	6,35	6,98
Zn	11,74	10,39	6,31
As	2,20	2,88	1,13
Se	0,07	0,09	0,04
Sr	56,66	38,48	71,69
Mo	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Ag	0,04	2,15	2,03
Cd	0,02	0,01	0,02
Sn	< 0.001	< 0.001	< 0.001
W	0,29	< 0.001	0,50
Hg	0,02	0,01	< 0.001
Tl	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Pb	0,49	2,01	0,36
Bi	0,01	0,22	< 0.001
U	< 0.001	0,01	0,03

ступке (агат). Химическое разложение проб воздушно-сухого состояния осуществляли кипячением с азотной кислотой в присутствии перекиси водорода (ГОСТ 26929-94, 2002; МУК 4.1.1483-03, 2003). Валовое содержание микроэлементов в пробах установлено в соответствии с ПНДФ 16.1:2.3:3.11–98 методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ICP-MS Elan 9000 в Инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики ДВО РАН им. Ю. А. Косыгина. Определялись химические элементы: бериллий, алюминий, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, мышьяк, селен, стронций, молибден, серебро, кадмий, оло-

во, вольфрам, ртуть, таллий, свинец, висмут и уран. Точность определения 0,001 мг/кг.

Результаты и обсуждения

Микроэлементный состав скорлупы яиц дальневосточной черепахи весьма разнообразен. Он содержит не только биогенные элементы, свойственные живым организмам, но и токсичные металлы, попадающие в организм черепахи по пищевым цепям и из среды обитания, которые затем распределяются в органах в зависимости от их химических свойств и особенностей метаболизма. В ходе работ были обследованы участки размножения черепахи в бассейне нижнего Амура.

Таблица 2
Данные анализа микроэлементного состава скорлупы яиц дальневосточной черепахи,
2016–2023 гг. (мг/кг)

Table 2
Trace element composition of Amur Softshell turtle eggshells, 2016–2023, mg/kg

Элемент	1 — оз. Гасси НП «Аньюский»		2 — р. Амур, прот. Хоринская, с. Иннокентьевка	3 — р. Уссури, ГПЗ «Большехехцирский»
	сред. конц. ± СО 2016–2017 гг., мг/кг; n = 5	сред. конц. ± СО 2023 г., мг/кг; n = 6	сред. конц. ± СО 2019–2021 гг., мг/кг; n = 13	сред. конц. ± СО 2020–2022 гг., мг/кг; n = 5
Be	0,043±0,025	0,014±0,0017	0,014±0,010	0,074±0,063
Al	904,190±632,660	252,043±25,560	694,321±398,673	1144,321±160,329
V	1,431±0,811	0,498±0,150	0,176±0,209	0,892±0,840
Cr	0,402±0,097	6,685±2,023	1,530±1,157	3,041±1,482
Mn	32,427±13,285	10,559±3,653	4,219±1,168	22,711±11,630
Fe	1745,246±318,248	1301,385±40,369	1141,173±262,894	2130,648±828,499
Co	0,920±0,258	0,512±0,008	0,689±0,229	1,069±0,273
Ni	8,212±1,916	11,469±0,334	9,404±1,387	13,916±3,739
Cu	2,924±1,550	3,351±0,850	2,000±1,052	8,140±4,903
Zn	3,756±1,773	5,283±1,467	1,598±1,025	7,623±5,867
As	0,725±0,199	0,289±0,044	0,749±0,651	1,516±0,972
Se	0,164±0,080	0,108±0,030	0,050±0,043	0,021±0,018
Sr	348,024±22,126	481,150±29,884	289,649±80,317	366,980±27,059
Mo	0,034±0,016	0,014±0,005	0,017±0,012	0,058±0,052
Ag	0,110±0,060	0,056±0,052	0,011±0,009	0,115±0,087
Cd	0,015±0,010	0,006±0,003	0,005±0,004	0,009±0,008
Sn	0,109±0,033	0,018±0,013	0,348±0,270	0,420±0,375
W	0,563±0,357	0,026±0,021	0,150±0,104	0,299±0,081
Hg	0,031±0,016	0,010±0,005	0,009±0,008	0,011±0,006
Tl	0,024±0,015	0,007±0,001	0,010±0,008	0,015±0,009
Pb	1,236±0,566	0,117±0,090	0,397±0,274	1,111±0,609
Bi	0,071±0,049	0,001±0,000	0,048±0,040	0,091±0,069
U	0,092±0,022	0,012±0,002	0,038±0,021	0,065±0,031

Примечание: СО — стандартное отклонение.
Note: SD — standard deviation.

Результаты определения содержания 23 химических элементов в скорлупе яиц представлены в таблице 2.

Большинство элементов исследуемого перечня относятся к микроэлементам, концентрации которых в пробах не превышают 10 мг/кг. К макроэлементам в скорлупе яиц черепахи относятся железо, стронций, алюминий и марганец, на долю которых приходится 99 % валового содержания определяемых элементов. Из них преобладающим является железо (58–62 %). Уровень стронция отмечен с вариабельностью, отражающей характер природных водных

источников. Ряд макроэлементов исследуемого перечня по вкладу в скорлупе яиц составляет Fe > Al > Sr > Mn. По сравнению с рядом содержания этих элементов в поверхностных водах (Fe > Al > Mn > Sr), увеличивается роль стронция, который, являясь аналогом кальция по физико-химическим свойствам, может легко депонироваться не только костной тканью, но и входить в состав скорлупы яиц.

Марганец, являясь также маркером природного фона, имеет минимальный уровень концентраций в скорлупе из прот. Хоринская основного русла Амура. В при-

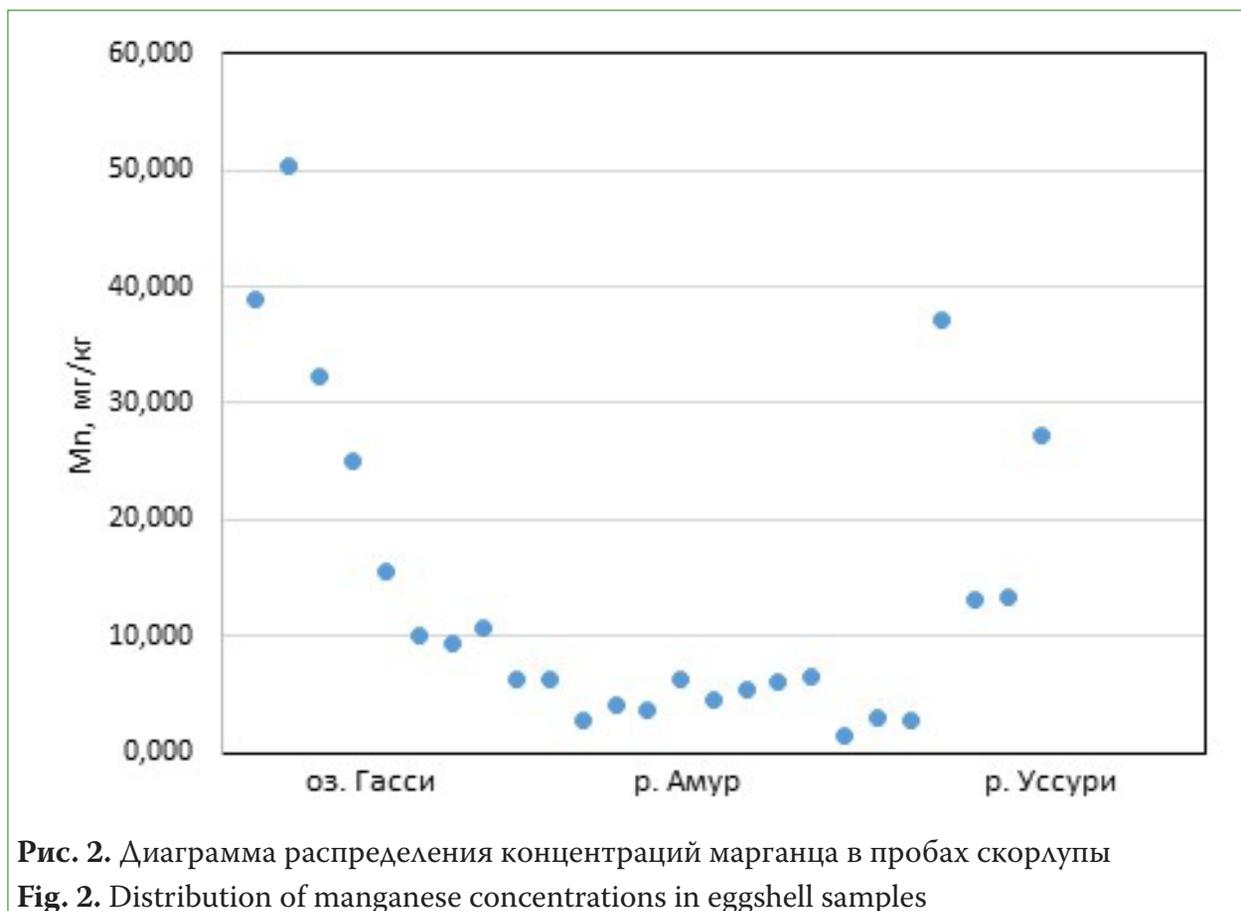


Рис. 2. Диаграмма распределения концентраций марганца в пробах скорлупы
Fig. 2. Distribution of manganese concentrations in eggshell samples

токах с большой долей болотного питания отмечается более высокий уровень марганца в пробах скорлупы (рис. 2).

Все исследуемые металлы в скорлупе яиц могут быть расположены в порядке убывания средних уровней накопления: Fe > Al > Sr > Mn > Ni > Cu > Zn > Cr > Pb > Co > Sn > W > Ag > Bi > U > Hg > Tl.

Последовательность элементов в «цепи металлов» зависит прежде всего от уровня содержания их в природной воде, биодоступности металлов, распределения их в организме черепахи и особенностей метаболизма, а также от других факторов. Известно, что наибольшую опасность для гидробионтов представляют ионные формы металлов, большое значение также имеет содержание в водной среде растворенных органических веществ, которые обладают способностью образовывать с ионами металлов комплексные соединения, снижающие токсичность и их биосуваряемость. Причем способность элементов к комплексообразованию, в процентном отношении от их содержания в поверхностных водах, можно представить сле-

дующим образом: Fe (99 %) > Cu (65 %) > Ni (25 %) > Pb, Zn (10 %) > Mn (менее 1 %) > Sr (менее 1 %) (Моисеенко и др. 2006).

Биогенные микроэлементы: кобальт, никель, медь, молибден, участвующие в обмене веществ в организмах, определены в скорлупе в сопоставимых диапазонах концентраций. Только пробы скорлупы из кладок правобережья р. Уссури отличаются повышенными концентрациями от средних значений, что может быть связано с более высоким антропогенным прессом со стороны берега КНР.

Наибольший интерес представляют токсичные элементы, как правило, техногенного происхождения. Ртуть, кадмий, таллий, бериллий 1-го и 2-го класса опасности содержатся в скорлупе в невысоких концентрациях, которые отражают сложившийся геохимический фон территории и водной среды. Концентрации этих элементов близких значений наблюдаются и в мягких тканях брюхоногих моллюсков оз. Гасси. В образцах скорлупы 2023 г. из озера Гасси концентрации этих

элементов ниже результатов прошлого периода наблюдений. Только в одной пробе уровень ртути на 4 % выше показателя 2016–2017 гг., остальные гассинские пробы скорлупы ртуть не содержат.

Концентрации свинца в скорлупе из оз. Гасси в 2023 г. на порядок ниже соответствующего показателя 2016–2017 гг. Свинец показывает обычно высокую степень аккумуляции в биообъектах, поэтому снижение уровня его депонирования в скорлупе яиц черепахи говорит о постепенном уменьшении фона свинца в воде озера. Это подтверждается снижением концентраций свинца в тканях *Carassius gibelio* (в мышцах на 49 %, в почках на 53 %) в 2023 г. по сравнению с прошлым периодом наблюдений (Никитина 2018). Снижение концентраций свинца, ртути и других токсичных элементов в скорлупе яиц отчасти может быть связано с сезонной водностью в годы высоких летне-осенних паводков на р. Амур (2019–2023 гг.). Напротив, концентрации биогенных элементов, таких как медь, цинк, селен, определяются в гассинских пробах за весь период наблюдений в близких значениях. При этом уровень свинца в скорлупе черепах из р. Уссури даже в сезоны повышенной водности остается значительным, что связано с антропогенным влиянием.

Содержание ванадия в скорлупе яиц черепахи стабильно во всех пробах 2023 г. из оз. Гасси, причем ниже показателей 2016–2017 гг. почти в 3 раза. В период работ по прокладке труб газопровода по дну озера вблизи границ национального парка концентрации ванадия в природной воде превышали во всех пробах предельно допустимые (ПДК в. р.). Максимумы наблюдались в устье ручья безымянного (в 6,4 раза выше ПДК), в непосредственной близости от участка базирования техники строителей газопровода. Вероятнее всего, загрязнение носило локальный характер и было связано с сжиганием дизельного топлива и мазута. Можно отметить, что после прекращения техногенного воздействия экологическое состояние оз. Гасси

для обитания дальневосточной черепахи становится более благополучным. Уровень ванадия в пробах скорлупы из р. Уссури в 2020–2022 гг. по-прежнему отмечался более высоким, чем на других участках размножения черепах.

Ряды накопления элементов для гидробионтов оз. Гасси по результатам средних концентраций в пробах за период 2016–2017 гг. (Никитина, 2018) составляют:

- для ванадия: вода (0,002 мг/дм³) > моллюски (0,081 мг/кг) > рыбы (0,166 мг/кг) > скорлупа яиц черепахи (1,431 мг/кг);
- для никеля: вода (0,002 мг/дм³) > моллюски (0,496 мг/кг) > рыбы (0,755 мг/кг) > скорлупа (8,212 мг/кг);
- для свинца: вода (0,0005 мг/дм³) > моллюски (0,027 мг/кг) > рыбы (0,273 мг/кг) > скорлупа (1,236 мг/кг);
- для стронция: вода (0,057 мг/дм³) > моллюски (16,899 мг/кг) > рыбы (83,582 мг/кг) > скорлупа (348,024 мг/кг).

Каждое последующее значение концентраций накопления элементов по пищевым цепям гидробионтов отличается от предыдущего в 2–10 раз. Коэффициенты содержания элементов в скорлупе яиц черепахи по отношению к уровню их в водной среде возрастают до огромных значений, от 715 до 6105 (для стронция). По результатам исследований 2023 г. для оз. Гасси показатель накопления в скорлупе токсичных элементов, ванадия и свинца, снизился до 250. Напротив, биогенные элементы никель и стронций сохраняли высокую степень депонирования, с коэффициентами 5700–6500.

Заключение

Определение уровней концентраций элементов в скорлупе яиц дальневосточной черепахи позволило выяснить особенности формирования ее микрокомпонентного состава. Ведущими элементами по уровню содержания в скорлупе яиц являются железо, алюминий, стронций и марганец.

Используя бесконтактный метод отбора проб биологических производных

дальневосточной черепахи — скорлупы яиц из разоренных кладок, можно отследить накопление микроэлементов в организмах редкого вида. Результаты определения уровней содержания элементов в образцах скорлупы применяются для оценки загрязнения и состояния водных объектов при проведении экологического мониторинга (Никитина, Андропова 2024).

Исследованием подтверждается направленный характер аккумуляции тяжелых металлов в скорлупе яиц дальневосточной черепахи. Полученные результаты содержания микроэлементов в образцах 2019–2021 гг. из прот. Хоринская р. Амур определяют фоновые значения большинства элементов. Снижение уровня депонирования свинца и ванадия в скорлупе яиц черепахи оз. Гасси говорит

о постепенном снижении техногенной нагрузки и уменьшении фона свинца, являющегося глобальным загрязнителем, на ключевой участок размножения. Более высокие концентрации тяжелых металлов, а также мышьяка, показаны для образцов скорлупы из кладок на р. Уссури. Информацию о содержании токсичных элементов в скорлупе яиц черепах из районов, испытывающих различную антропогенную нагрузку, можно применять для оценки и прогноза изменения качества природных вод.

Финансирование

Исследования проведены в рамках научной темы № 2-25-34-1 «Редкая биота экосистем Нижнего Приамурья (на примере ООПТ)» за счет бюджетного финансирования (госзадание).

Литература

- Аднагулов, Э. В. (2012) Материалы по биологии размножения дальневосточной черепахи *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann, 1834) в Приамурье. В кн.: *Вопросы герпетологии: Материалы V съезда Герпетологического общества им. А. М. Никольского*. Минск: Право и экономика, с. 7–10.
- Богатов, В. В. (1994) *Экология речных сообществ российского Дальнего Востока*. Владивосток: Дальнаука, 218 с.
- Бобровский, В. В. (2021) К распространению дальневосточной черепахи *Pelodiscus maackii* на нижнем Амуре. В кн.: *Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АмГПГУ, с. 12–18.
- Кришкевич, Д. Д., Тагилова, В. Т. (2022) Особенности размножения дальневосточной черепахи на Нижнем Амуре в 2022 г. *Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география*, № 3, с. 21–32.
- Моисеенко, Т. И., Кудрявцева, Л. П., Гашкина, Н. А. (2006) *Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция, экотоксикология*. М: Наука, 260 с.
- Никитина, И. А. (2018) Биогеохимические параметры озера Гасси. В кн. В. Т. Тагилова, Р. С. Андропова (ред.). *Дальневосточная черепаха озера Гасси*. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, с. 113–142.
- Никитина, И. А., Андропова, Р. С. (2024) Использование линных перьев и скорлупы яиц для мониторинга популяций редких видов птиц (на примере ООПТ). *Амурский зоологический журнал*, т. XVI, № 1, с. 117–127. <https://doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-1-117-127>
- Тагилова, В. Т. (1997) *Пресмыкающиеся Хабаровского края*. Хабаровск: Хабаровский государственный педагогический университет, 84 с.
- Тагилова, В. Т., Андропова, Р. С. (ред.). (2018) *Дальневосточная черепаха озера Гасси*. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 173 с.
- Adnagulov, E. V., Oleinikov, A. Y. (2006) *On the distribution and ecology of amphibians and reptiles in the South of the Russian Far East. Russian Journal of Herpetology*, vol. 13, no. 2, pp. 101–116.
- Packard, G. C., Packard, M. J., Boardman, T. J. (1982) An experimental analysis of the water relations of eggs of Blandings turtles (*Emydoidea blandingii*). *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 75, no. 1, pp. 23–34. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1982.tb01940.x>
- Du, W.-G., Thompson, M.B., Shine, R. (2010) Facultative cardiac responses to regional hypoxia in lizard embryos. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 156, no. 4, pp. 491–494. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.005>

References

- Adnagulov, E. V. (2012) Materialy po biologii razmnozheniya dal'nevostochnoj cherepakhi *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann, 1834) v Priamur'e [Materials on the breeding biology of the Amur Softshell Turtle *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann, 1834) in the Amur region]. In: *Voprosy gerpetologii: Materialy V sezda Gerpetologicheskogo obshchestva im. A.M. Nikol'skogo [Issues of herpetology. Materials of the V Congress of the Herpetological Society named after A.M. Nikolsky]*. Minsk: "Pravo i Ekonomika" Publ., pp. 7–10. (In Russian)
- Adnagulov, E. V., Oleinikov, A. Y. (2006) On the distribution and ecology of amphibians and reptiles in the South of the Russian Far East. *Russian Journal of Herpetology*, vol. 13, no. 2, pp. 101–116. (In English)
- Bogatov, V. V. (1994) *Ekologiya rechnykh soobshchestv rossijskogo Dal'nego Vostoka [Ecology of river communities of the Russian Far East]*. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 218 p. (In Russian)
- Bobrovskij, V. V. (2021) K rasprostraneniu dal'nevostochnoj cherepakhi *Pelodiscus maackii* na nizhnem Amure [To the spread of the Amur Softshell Turtle *Pelodiscus maackii* on the lower Amur]. In: *Bioraznობრძე, sostoyanie i dinamika prirodnykh i antropogennykh ekosistem Rossii: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Biodiversity, state and dynamics of natural and anthropogenic ecosystems of Russia: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]*. Komsomolsk-on-Amur: AmGPGU Publ., pp. 12–18. (In Russian)
- Du, W.-G., Thompson, M.B., Shine, R. (2010) Facultative cardiac responses to regional hypoxia in lizard embryos. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, vol. 156, no. 4, pp. 491–494. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.04.005> (In English)
- Krishkevich, D. D., Tagirova, V. T. (2022) Osobennosti razmnozheniya dal'nevostochnoj cherepakhi na Nizhnem Amure v 2022 g. [Breeding features of the Amur Softshell Turtle on the Lower Amur in 2022]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, geografiya*, no. 3, pp. 21–32. (In Russian)
- Moiseenko, T. I., Kudryavceva, L. P., Gashkina, N. A. (2006) *Rasseyannye elementy v poverhnostnykh vodakh sushy: tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya, ekotoksikologiya [Scattered elements in land surface waters: technophilicity, bioaccumulation, ecotoxicology]*. Moscow: Nauka Publ., 260 p. (In Russian)
- Nikitina, I.A. (2018) Biogeohimicheskie parametry ozera Gassi [Biogeohimicheskie parametry ozera Gassi]. In: V. T. Tagirova, R. S. Andronova, (eds.). *Dal'nevostochnaya cherepakha ozera Gassi [Amur Softshell Turtle Gassie Lake]*. Khabarovsk: Khabarovsk regional printing house Publ., pp. 113–142. (In Russian)
- Nikitina, I. A., Andronova, R. S. (2024) Ispol'zovanie linylyh per'ev i skorlupy yaits dlya monitoringa populyatsij redkih vidov ptits (na primere OOPT) [Molting feathers and eggshells in monitoring rare bird species populations: Evidence from special protected natural territories]. *Amurskij zoologicheskij zhurnal – Amurian Zoological Journal*, vol. XVI, no 1, pp. 117–127. <https://doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-1-117-127> (In Russian)
- Packard, G. C., Packard, M. J., Boardman, T. J. (1982) An experimental analysis of the water relations of eggs of Blandings turtles (*Emydoidea blandingii*). *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 75, no. 1, pp. 23–34. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1982.tb01940.x> (In English)
- Tagirova, V. T. (1997) *Presmykayushchiesya Khabarovskogo kraja [Reptiles of the Khabarovsk Territory]*. Khabarovsk: Khabarovsk State Pedagogical University Publ., 84 p. (In Russian)
- Tagirova, V. T., Andronova, R. S. (ed.). (2018) *Dal'nevostochnaya cherepakha ozera Gassi [Amur Softshell Turtle Gassie Lake]*. Khabarovsk: Khabarovsk Regional Printing House Publ., 173 p. (In Russian)

Для цитирования: Никитина, И. А., Андропова, Р. С., Кришкевич, Д. Д. (2025) Накопление микроэлементов в скорлупе яиц дальневосточной черепахи *Pelodiscus maackii* (Brandt, 1858). *Амурский зоологический журнал*, т. XVII, № 4, с. 807–815. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-4-807-815>

Получена 29 июля 2025; прошла рецензирование 11 ноября 2025; принята 30 ноября 2025.

For citation: Nikitina, I. A., Andronova, R. S., Krishkevich, D. D. (2025) Accumulation of trace elements in the shell of eggs of Amur Softshell turtle *Pelodiscus maackii* (Brandt, 1858). *Amurian Zoological Journal*, vol. XVII, no. 4, pp. 807–815. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2025-17-4-807-815>

Received 29 July 2025; reviewed 11 November 2025; accepted 30 November 2025.