

УДК 574.24:591.53:550.4(571.151)
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4562
Шифр специальности ВАК: 1.6.21

Элементный состав организма диких и домашних животных в районе с проявлениями активной геофагии в Горном Алтае

Н.В. Барановская¹, А.М. Паничев², Д.А. Стрепетов¹✉, И.В. Серёдкин², Б.Р. Соктоев¹,
С.С. Ильенок¹, Р.А. Макаревич², В.В. Куровская¹, М.А. Рулик¹

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, г. Владивосток

✉ das57@tpu.ru

Аннотация. *Актуальность* исследования заключается в необходимости изучения элементного состава организма диких и домашних животных в природных средах с разным уровнем содержания химических элементов. **Цель:** выявить особенности элементного состава организма алтайского марала (*Cervus elaphus sibiricus* Severtzov, 1873), дикого кабана (*Sus scrofa scrofa* Linnaeus, 1758) и домашней свиньи (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) на территории Онгудайского района Республики Алтай, в том числе в районе с проявлениями активной геофагии. **Объекты:** органы и ткани диких и домашних животных. **Методы:** масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой; атомно-эмиссионная спектрометрия; ионная хроматография, аналитический электронный микроскоп с энергодисперсионным спектрометром. **Результаты.** Определены медианные значения концентраций химических элементов в органах алтайского марала, дикого кабана и домашней свиньи. Наибольшие значения в составе макроэлементов у всех животных показали Cl, S и K, среди редкоземельных элементов – La, Ce, Nd, Pr, Sc и Y. Среди особенностей элементного состава изученных животных выявлены повышенная аккумуляция Ba, I, Hg и Pb в организме алтайского марала; редких щелочей, а также редкоземельных элементов легкой подгруппы – в организме кабана; Sn, Au, Ir и редкоземельных элементов тяжелой подгруппы – в организме свиньи домашней. Относительно результатов зарубежных авторов, зафиксированы существенно повышенные концентрации Hg в почках марала и W в бронхах алтайского кабана, в сравнении с аналогичными животными в странах Европы, а также аномальные содержания Pb в головном мозге домашней свиньи. Сделаны предположения о факторах, влияющих на формирование элементного состава организма животных. Для марала и кабана это факторы питания (в том числе геофагия) и особенности накопления элементов в костной ткани; для домашней свиньи – фактор кормов и особенности местной металлотории, включая состав природных вод.

Ключевые слова: химические элементы, органы и ткани млекопитающих, геофагия, элемент-содержащие частицы, Республика Алтай

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РНФ № 20-67-47005 и № 20-64-47021.

Для цитирования: Элементный состав организма диких и домашних животных в районе с проявлениями активной геофагии в Горном Алтае / Н.В. Барановская, А.М. Паничев, Д.А. Стрепетов, И.В. Серёдкин, Б.Р. Соктоев, С.С. Ильенок, Р.А. Макаревич, В.В. Куровская, М.А. Рулик // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 98–109. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4562

UDC 574.24:591.53:550.4(571.151)
DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4562

Chemical composition of wild and domestic animals' organism in areas of geophagy distribution in Altai Republic

N.V. Baranovskaya¹, A.M. Panichev², D.A. Strepetov¹✉, I.V. Seryodkin², B.R. Soktoev¹,
S.S. Ilenok¹, R.A. Makarevich², V.V. Kurovskaya¹, M.A. Rulik¹

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

✉ das57@tpu.ru

Abstract. Relevance. The need to study the elemental composition of the organism of wild and domestic animals in natural environments with different levels of chemical elements. **Aim.** To reveal features of the elemental composition of the organism of the Altai red deer (*Cervus elaphus sibiricus* Severtzov, 1873), wild boar (*Sus scrofa scrofa* Linnaeus, 1758) and domestic pig (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777) in Ongudai district, Altai Republic, including the area with signs of active geophagy. **Objects.** Organs and tissues of wild and domestic animals. **Methods.** Mass spectrometry with inductively coupled plasma; atomic-emission spectrometry; ion chromatography, analytical electron microscope with energy dispersion spectrometer. **Results.** The median values of chemical elements concentrations in the organisms of the Altai red deer, the wild boar and the domestic pig have been determined. S, Cl and K showed the highest values in the composition of macroelements and La, Ce, Nd and Th among rare-earth and radioactive elements. Among the elemental composition features of the studied animals, an increased accumulation of Hg and Pb in the Altai red deer; metals of the Fe-group, W, as well as rare-earth and radioactive elements – in the boar; platinoids – in the domestic pig. In comparison with the results of previous studies, increased concentrations of Hg in red deer kidneys, W in boar bronchi and Pb in the brain of domestic pigs were recorded. Assumptions were made about the factors influencing the formation of the elemental composition of the body of animals. For red deer and wild boar these are the factors of nutrition (including geophagy) and features of accumulation of elements in bone tissue; for domestic pigs – features of forage and local metallogeny, including composition of natural waters.

Keywords: chemical elements, mammalian organs and tissues, geophagy, element-containing particles, Altai Republic

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation (Projects no. 20-67-47005, 20-64-47021).

For citation: Baranovskaya N.V., Panichev A.M., Strepetov D.A., Seryodkin I.V., Soktoev B.R., Ilenok S.S., Makarevich R.A., Kurovskaya V.V., Rulik M.A. Chemical composition of wild and domestic animals' organism in areas of geophagy distribution in Altai Republic. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 6, pp. 98–109. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4562

Введение

Тема концентрирования химических элементов в органах и тканях млекопитающих животных и у человека в зависимости от геохимических особенностей природных ландшафтов пока остается слабо разработанной. В России этой темой традиционно занимались и продолжают заниматься в институте геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН. Последняя крупная работа по данной тематике была опубликована специалистами этого учреждения в 2008 г. [1]. Как в России, так и за рубежом подобные работы продолжают ограничиваться сравнительно небольшим набором определяемых химических элементов, среди которых либо элементы из группы эссенциальных, либо из группы токсичных.

Наш интерес к данной теме связан с исследованием феномена геофагии – явления внутреннего потребления землестых веществ, которое присуще животным (преимущественно растительноядным) во многих регионах мира [2]. Это явление было характерно и для людей, причем в массовом виде с древних времен и до середины XX в. [3].

Регулярно-периодическое посещение животными одних и тех же мест с целью поедания минеральных веществ приводит к формированию особых ландшафтных комплексов, которые в зарубежной литературе принято называть «salt licks» [4], «natural licks» [5] или «mineral licks» [6], что по-русски дословно означает: «солевые, естественные и минеральные лизунцы» соответственно. В 2013 г. мы предложили и с тех пор используем термин

«кудуры», который заимствован нами из лексикона тюркских пастухов [7]. Термин «лизунцы» мы также употребляем для обозначения конкретных мест выедания и вылизывания горных пород на кудурах, как ландшафтных комплексах, иногда весьма обширных, сформированных при участии животных.

Несмотря на широкую распространенность геофагии и давнюю историю изучения этого феномена, причины стремления животных поедать грунты остаются до конца не известными. Существует несколько гипотез, объясняющих этот феномен, среди которых наиболее популярны «натриевая» [8], «детоксикационная» [9] и сравнительно недавно разрабатываемая нами «редкоземельная» [10, 11]. «Редкоземельная» гипотеза представляется нам наиболее актуальной. Основана она на участии редкоземельных элементов (РЗЭ) в нервной, эндокринной и иммунной системах организмов, при этом стабильная работа таких систем определяется сохранением в них необходимого уровня концентрации элементов из подгруппы легких лантаноидов при содержании представителей из подгруппы тяжелых лантаноидов ниже предела обнаружения, которые в норме не входят в эти важнейшие системы организма (или входят в крайне незначительном количестве).

Цель данной статьи – оценить самые общие особенности содержания как можно более широкого набора химических элементов с акцентом на РЗЭ в организмах диких и домашних животных на территории Горного Алтая (Онгудайский район Республики Алтай, бассейн р. Малой Сумульты). В качестве модельных объектов выбраны алтайский марал (*Cervus elaphus sibiricus* Severtzov, 1873) и дикий кабан (*Sus scrofa scrofa* Linnaeus, 1758), которые были добыты по охотничьим лицензиям в одном из районов активной геофагии в бассейне р. Малой Сумульты (рис. 1), а также домашняя свинья (*Sus scrofa domesticus* Erxleben, 1777), выкупленная у частного владельца в селе Купчегень, которое находится приблизительно в 40 км от места добычи диких животных (рис. 1).

Краткая ландшафтная и геологическая характеристика районов исследования

Рельеф в бассейне р. М. Сумульты сильно расчлененный с колебанием абсолютных высот от 500 до 2620 м. Большая часть территории покрыта густыми елово-кедровыми и лиственничными лесами с участками елово-березовых и осиновых лесов на месте старых гарей. На безлесных участках к середине лета отрастает густой и высокий травяной покров.

Для данной территории характерны суровая и снежная зима и сравнительно жаркое короткое ле-

то. Средние температуры января около -16°C , июля – $+18^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет около 450 мм. Продолжительность периода со снежным покровом в долинах основных рек до 150 дней и до 200 дней на высокогорных склонах.

В нижней и средней частях речной долины, там, где сосредоточены практически все кудуры, на одном из которых были добыты марал и дикий кабан, развиты метаморфизованные мелководно-морские (песчано-илистые) отложения верхнекембрийско-нижнеордовикского возраста. В верхней части речного бассейна значительные площади занимают выходы щелочных гранитов пермского возраста с высокими содержаниями минералов РЗЭ (преимущественно монацит). Монацитсодержащие пески, согласно материалам государственной геологической съемки (масштаб 1:200000, карта М-45-IX, В.М. Сенников, 1958), отмечены геологами в песчаном аллювии во многих местах речной поймы в среднем и нижнем течении Малой Сумульты. Таким образом, большинство кудуров по р. М. Сумульте сосредоточено в относительной близости от гранитного массива, на расстоянии от края гранитов не далее 6 км. Места их расположения приурочены к крутым склонам и вершинам гор южных и юго-западных экспозиций по левому борту р. М. Сумульты там, где на поверхность выходят сильно выветрелые сланцы гидрослюдисто-хлоритового или кварц-гидрослюдисто-хлоритового состава.

Животные, среди которых преобладают маралы, поедают тонкодисперсные продукты выветривания сланцев с размерностью частиц от глинистой до песчаной фракции, причем отыскивая их как на коренных обнажениях, так и среди склоновых делювиально-пролювиальных отложений. Внешне местные кудуры выражены сравнительно слабо (если сравнивать их с кудурами в береговой зоне Телецкого озера). Отличительными их признаками являются наличие характерных осветленных в результате выедания и вылизывания мелкозема обнажений горных пород, а также ведущие к ним торные звериные тропы.

Село Купчегень, где была выращена опробованная нами домашняя свинья, расположено в речной пойме на слиянии рек Большой Ильгумень и Купчегень, недалеко от впадения р. Большой Ильгумень в Катунь (рис. 1). Основная часть села отстроена на аллювиальных террасах четвертичного возраста, меньшая часть – на склонах речных долин, сложенных гранитами и гранодиоритами девонского возраста (данные государственной геологической съемки, масштаб 1:200000, лист М-45-XV, В.И. Зиновьев, 2001).

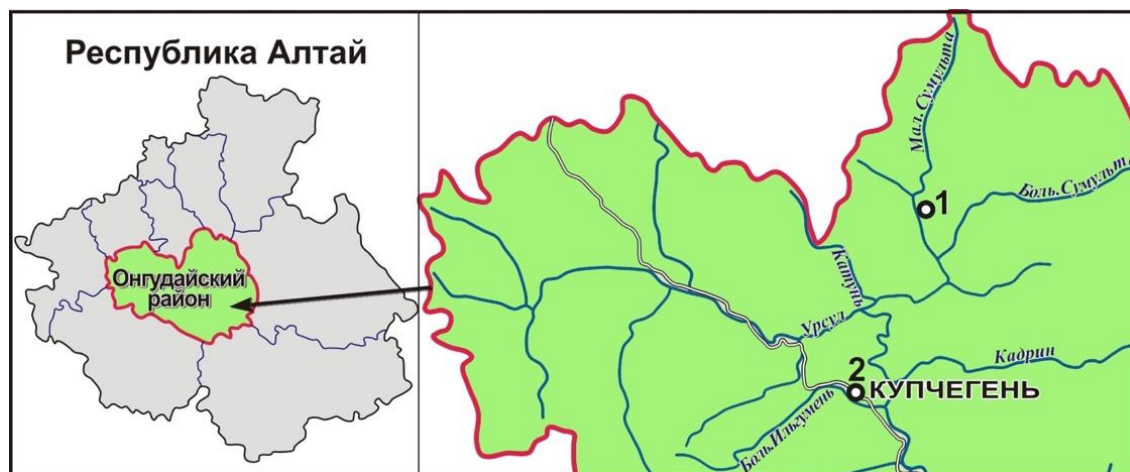


Рис. 1. Места добычи диких и домашних животных на территории Онгудайского района Республики Алтай с целью отбора проб органов и тканей: 1 – место добычи марала и дикого кабана; 2 – место отбора проб от домашней свиньи

Fig. 1. Sites of capture of wild and domestic animals on the territory of Ongudai district of the Altai Republic for sampling organs and tissues: 1 – capture place of red deer and wild boar; 2 – sampling place of domestic pig

Материалы и методы исследования

Отбор биогеохимических проб от животных на территории Онгудайского района проводился нами дважды. Первый раз в ноябре 2020 г. проведен отбор проб от домашней свиньи (взрослая самка) в селе Купчегень (рис. 1). Отбор выполнен сотрудниками отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета Н.В. Барановской и А.И. Белянской. Второй отбор проведен сотрудником Тихоокеанского института географии ДВО РАН (г. Владивосток) И.В. Серёдкиным в конце апреля 2021 г. в бассейне р. М. Сумульта (рис. 1). На Малой Сумульте недалеко от одного из кудуров были добыты и опробованы алтайский марал (самец годовалый) и дикий кабан (самец взрослый). Следует заметить, что в пищеварительном тракте и марала, и кабана было обнаружено значительное количество (килограммы) минерального вещества хлорит-гидрослюдистого состава, потребленного на кудуре.

Отобранные пробы органов и тканей животных замораживались в автомобильном холодильнике при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и транспортировались в лабораторию Томского политехнического университета. Подготовка проб к анализу предусматривала предварительное их просушивание в сушильном шкафу при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем от просушенных проб отбирались фрагменты массой 200 мг, которые измельчались в агатовой ступке до фракции пудры. Измельченная проба помещалась в закрывающийся фторопластовый цилиндр с добавлением 0,2–1,0 мл концентрированной азотной кислоты, после чего цилиндр помещался в термощкаф, разогретый до температуры $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, где выдержи-

вался от 0,5 до 1,0 ч. После полного растворения проба перемещалась в мерную полипропиленовую пробирку, где ее объем доводится деионизованной водой до 10 мл, после чего раствор отправлялся на анализ методом ИСП-МС (масс-спектрометр NexION 300D). Контроль точности анализа ИСП-МС проводился с применением мульти элементных калибровочных стандартных растворов № 1–5 (Multi-Element Calibration Standart) (PerkinElmer, США). Все анализы биологических материалов, кроме хвостовых желез маралов, выполнялись в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НИ ТПУ (заведующая лабораторией канд. геол.-минерал. наук А.А. Хвощевская).

Всего было проанализировано 33 пробы органов и тканей алтайского марала, 28 проб дикого кабана и 38 проб свиньи домашней.

Из части высушенных проб были сделаны препараты для исследования на аналитическом электронном микроскопе (SEM-Tescan Lyra 3 XMN) с энергодисперсионным спектрометром (AZtec X-Max 80 Standart). Этот вид работ выполнен в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток).

По полученным аналитическим данным по 28 пробам от каждого животного были рассчитаны медианные значения содержаний химических элементов для организма в целом. Перечень органов от каждого животного, на основе которых рассчитывались медианные содержания, приведен в табл. 2. Также был выполнен многофакторный анализ, позволивший выделить основные факторы, влияющие на формирование элементного состава организма опробованных животных.

Результаты исследования и их обсуждение

Медианные содержания химических элементов в организмах исследуемых животных представлены в табл. 1 (в порядке уменьшения значений). В графической форме они приведены на рис. 2, 3.

Таблица 1. Медианные содержания химических элементов в организмах опробованных животных в порядке уменьшения значений (мг/кг, сухое вещество)

Table 1. Median concentrations of chemical elements in the bodies of sampled animals in order of decreasing values (mg/kg, dry matter)

Элемент (Element)	Марал (deer)	Кабан (boar)	Свинья (pig)	Элемент (Element)	Марал (deer)	Кабан (boar)	Свинья (pig)
Cl	23675	11678	12652	Ce	0,02	0,06	0,07
S	21701	18371	19774	Zr	0,02	0,04	0,01
K	12231	9026	11641	La	0,01	0,05	0,02
P	8351	6887	8316	Cs	0,01	0,04	0,02
Na	4966	4911	5890	Cd	0,02	0,03	0,01
Mg	550	719	1072	Ga	0,005	0,01	0,01
Ca	852	417	579	Nb	0,004	0,01	0,002
Fe	193	176	87,7	Nd	0,004	0,01	0,01
Si	111	107	133	Ta	0,004	0,01	0,01
Br	96,4	42,2	20,4	Th	0,004	0,01	0,01
Zn	58,4	64	62,6	Y	0,003	0,01	0,004
Al	6,16	6,77	39,1	Sn	0,003	0,003	0,01
Mn	5,81	8,15	1,67	Sb	0,003	0,001	0,01
Ti	6,42	5,6	4,62	Hf	0,003	0,005	0,002
Rb	4,93	5,3	12,6	Pr	0,001	0,003	0,002
Cu	3,7	6,16	4,35	Ag	0,002	0,002	0,001
Ba	2,81	0,19	0,15	W	0,0002	0,003	0,002
Sr	1,71	1,03	0,48	Gd	0,0001	0,002	0,001
B	1,26	0,93	0,44	Rb	0,0002	0,0002	0,0001
I	1,11	0,54	0,39	Bi	0,0001	0,0002	0,001
Se	0,57	0,71	0,5	U	0,00005	0,001	0,001
Cr	0,29	0,35	0,31	Au	0,00005	0,00005	0,01
Ni	0,1	0,28	0,12	Dy	0,00005	0,0005	0,001
Li	0,14	0,24	0,02	Sm	0,00005	0,0004	0,001
Pb	0,22	0,05	0,05	Tl	0,00005	0,0002	0,001
Sc	0,07	0,11	0,07	Ir	0,00005	0,00005	0,001
Mo	0,07	0,07	0,12	Tb	0,00005	0,00005	0,0002
V	0,09	0,09	0,04	Er	0,00005	0,00005	0,0002
As	0,06	0,03	0,02	Eu	0,00005	0,00005	0,0001
Co	0,05	0,05	0,01	Ho	0,00005	0,00005	0,0001
Hg	0,06	0,004	0,01	Lu	0,00005	0,00005	0,0001

Примечание. Красным выделены значения ниже предела обнаружения. В таблице не приведены данные по Be, Ge, Re, Pd, In, Te, Re, Os, Pt, Tm и Yb – результаты по ним во всех организмах были ниже предела обнаружения.

Note. Values below the detection limit are highlighted in red. The table does not include data for Be, Ge, Re, Pd, In, Te, Re, Os, Pt, Tm and Yb, as the results for these were below the detection limit in all organisms.

Как очевидно из табл. 1 и рис. 2, к макроэлементам в составе организма (к элементам, содержание которых свыше 1 г/кг) относятся все первые элементы в таблице от хлора до магния. При этом в

организме марала, по сравнению с организмами свиней, существенно (почти вдвое) выше содержание Cl, заметно выше содержание S. Содержание остальных макроэлементов сопоставимо у всех животных. У свиньи домашней заметно выше, по сравнению с другими животными, содержание Mg.

В табл. 2 приведены содержания хлора в пробах по 28 органам от каждого животного. Каждый орган представлен единичной пробой. По полученным данным проводился расчет медианного содержания хлора (подобным образом рассчитывались и медианные содержания остальных химических элементов) во всем организме.

Таблица 2. Содержания хлора в органах опробованных животных (мг/кг, сухое вещество)

Table 2. Chlorine concentrations in the organs of sampled animals (mg/kg, dry matter)

Орган/ткань Organ/tissue	Cl		
	Марал (deer)	Кабан (boar)	Свинья (pig)
Сердце (Heart)	20481	8688	10385
Костный мозг (Bone marrow)	1221	515	160
Селезенка (Spleen)	23912	19719	7292
Головной мозг (Brain)	13491	5369	13487
Спинной мозг (Spinal cord)	11997	1670	8621
Трахея (Trachea)	10424	16378	14385
Бронх (Bronchi)	12214	19739	20251
Легкое (Lung)	37449	27031	28602
Зуб (Tooth)	5263	1674	4903
Бедренная мышца (Femur muscle)	10440	5968	6646
Диафрагма (Diaphragm)	14399	6114	2680
Глаз (Eye)	23570	29112	18263
Ухо (Ear)	26804	6505	17009
Кожа (Skin)	22280	13742	2163
Язык (Tongue)	34316	11445	11355
Пищевод (Esophagus)	39588	11911	12673
Желудок (Stomach)	20701	12602	20848
Тонкая кишка начало (Small bowel beginning)	54093	15286	24049
Тонкая кишка середина (Small bowel middle)	36535	18411	16761
Тонкая кишка конец (Small bowel end)	34861	22549	19973
Слепая кишка (Blind gut)	23779	5424	7393
Ободочная кишка начало (Large bowel beginning)	24729	5206	9829
Ободочная кишка середина (Large bowel middle)	17453	5721	8694
Ободочная кишка конец (Large bowel end)	10492	7165	12631
Прямая кишка (Straight bowel)	27189	6885	11597
Почка (Kidney)	40301	18990	49686
Мочевой пузырь (Urinary bladder)	32802	16886	33832
Семенник/яичник (Testicle/ovarium)	30386	33499	32564
МЕДИАНА (MEDIAN)	23675	11678	12652

Далее вернемся к рассмотрению данных по микроэлементам в табл. 1. Из этих данных следует, что в организме диких животных (у марала и кабана) явно выше, чем у свиньи домашней, содержание Ca, Fe, Br, Mn, B, и Li. У марала, в отличие от

свиней, наиболее высоки концентрации Br, Ba, Sr, B, I, Pb, As и Hg и заметно ниже содержание Ga, Nb, Nd, Ta, Th, Sb, W, U, Tl. В организме свиной домашней, в свою очередь, заметно выше, чем у диких животных, содержание Al, Rb, Mo, Sn, Sb, Bi, Ir и Au.

Концентрация РЗЭ в организме свиней (как у дикого кабана, так и у свиной домашней) оказалась

заметно выше, чем в организме молодого оленя. Это относится к Sc, Y и легким лантаноидам (рис. 2), а также к тяжелым лантаноидам. При этом наибольшее содержание ТРЗЭ выявлено у свиной домашней (табл. 1).

РЗЭ с наибольшими медианными концентрациями в организме изучаемых животных приведены (в порядке уменьшения) на рис. 3.

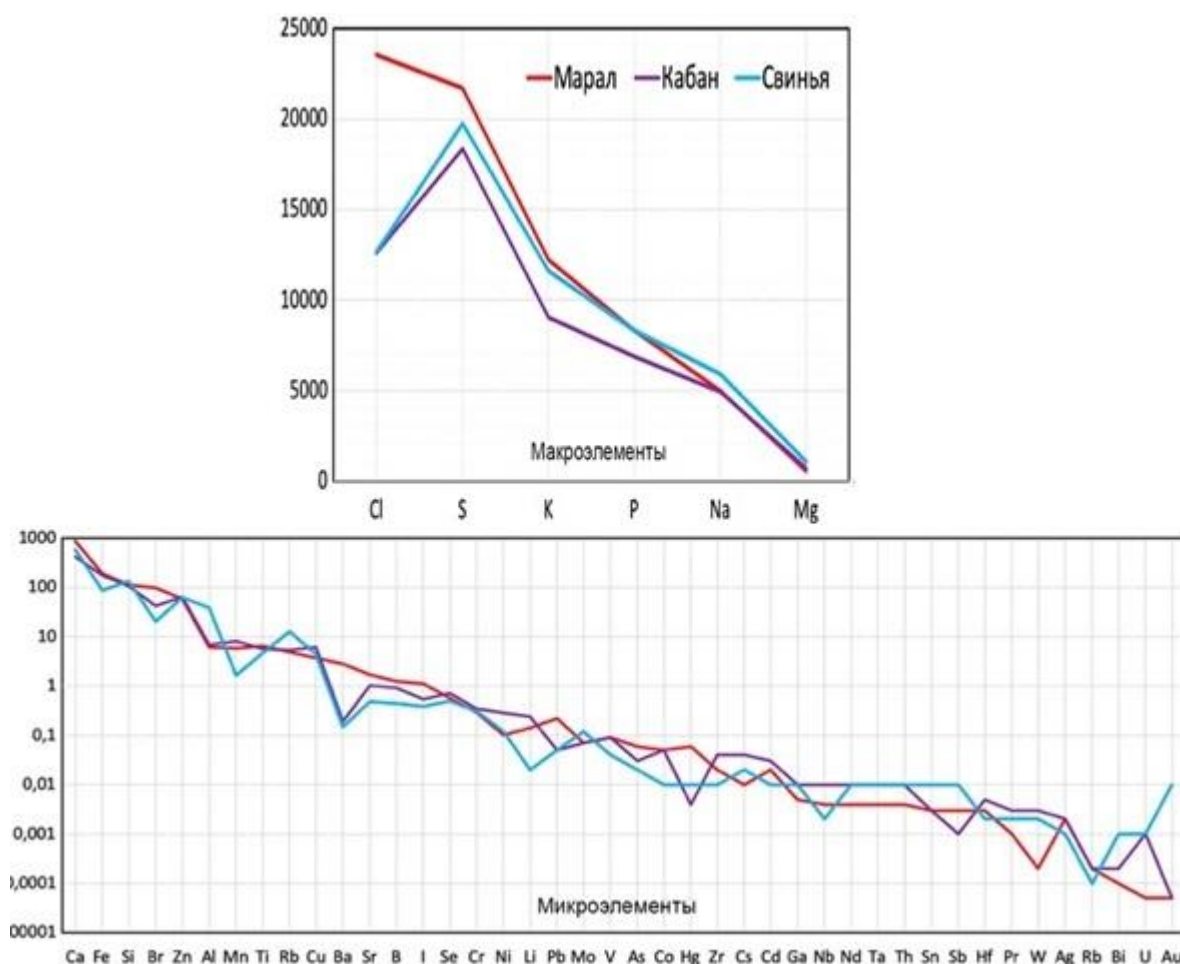


Рис. 2. Медианные содержания макро- и микроэлементов в организмах опробованных животных в порядке уменьшения значений (мг/кг, сухое вещество)

Fig. 2. Median concentrations of macro- and microelements in the organisms of the sampled animals in order of decreasing values (mg/kg, dry matter)

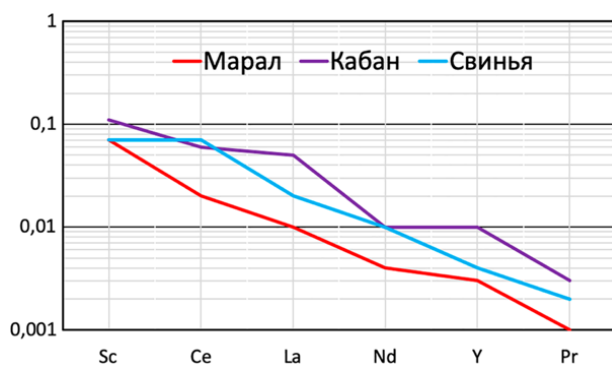


Рис. 3. Медианные содержания РЗЭ в организмах опробованных животных в порядке уменьшения значений (мг/кг, сухое вещество)

Fig. 3. Median rare earth elements (REE) concentrations in organisms of tested animals in order of decreasing values (mg/kg, dry matter)

Вероятнее всего, это и есть тот набор РЗЭ, который востребован в организме млекопитающих. Все остальные элементы из группы РЗЭ, похоже, не входят в норму в состав органов и тканей млекопитающих, и их наличие, тем более в повышенных концентрациях, может свидетельствовать об отклонении от нормы.

Интересно было бы сравнить полученные нами данные медианных содержаний химических элементов в организме животных с аналогичными данными по животным из других регионов. К сожалению, такие данные зачастую получены устаревшими методами анализа, поэтому сравнение с ними можно проводить лишь условно. В связи с чем далее перейдем к рассмотрению особенностей концентрации химических элементов в отдельных органах в сравнении с данными, полученными разными авторами по аналогичным животным в других регионах мира.

Сравнение наших данных по печени алтайского марала с данными химического состава печени благородных оленей на территории ряда стран Европы (табл. 3) показало, что у марала существенно выше содержания Fe, Cu, Se, Cd и Hg. Причем по Hg превышение на 3 порядка. Лишь по некоторым регионам наблюдается превышение содержаний элементов в печени оленей по Zn, Pb, Se и Cd.

Таблица 3. Сравнение элементного состава некоторых органов у марала с р. Малой Сумульты и у оленей из ряда других стран (мг/кг, сухое вещество)

Table 3. Comparison of the elemental composition of some organs of red deer from river M. Sumulta and deer from several other countries (mg/kg, dry matter)

Орган/ткань Organ/tissue	Элемент Element	Регион, источник (Region, source)						
		Горный Алтай Gorny Altai	Хорватия Croatia [12]	Норвегия Norway [13]	Польша Poland [14]	Нидерланды Netherlands [15]	Казахстан Kazakhstan [16]	Канада Canada [17]
Печень Liver	Fe	503	68,5	-	-	394	-	-
	Cu	146	14,7	15	16	86	-	122
	Zn	64,3	30	33	31	115	-	79,7
	Se	0,76	0,24	0,2	-	-	-	1,40
	Cd	0,72	0,18	0,04	0,19	-	-	1,10
	Hg	0,63	0,009	0,005	-	-	-	-
	Pb	0,44	0,95	0,07	0,26	0,49	-	<0,05
Мышца Muscle	Cu	6,94	3,48	-	3,3	-	1,40	-
	Zn	159	43,4	-	39	-	30,0	-
	Cd	<0,0001	0,12	-	0,1	-	<0,05	-
	Pb	0,01	0,15	-	0,22	-	<0,008	-
Почка Kidney	Fe	3940	101	-	-	284	-	-
	Cu	14,2	4,84	-	5,2	14	-	-
	Zn	72,9	49,2	-	30	144	-	-
	Cd	7,69	2,65	-	2,2	-	-	-
	Pb	1,88	0,09	-	0,31	1,258	-	-

Сопоставление химического состава мышц у марала и оленей из ряда европейских стран показало существенно более высокие значения у марала по Cu и Zn и значительно ниже показатели по Cd и Pb.

В почках сравниваемых животных у марала несопоставимо больше Fe, несколько больше Cu, Cd и Pb.

Наиболее сильные различия в химическом составе органов марала и оленей из других регионов мира выявлены по Hg в печени (у марала превышение в 100 раз) и по Fe в почках (у марала превышение в 100–300 раз).

Таблица 4. Сравнение элементного состава некоторых органов у дикого кабана с р. Малой Сумульты и у кабанов из ряда других стран (мг/кг, сухое вещество)

Table 4. Comparison of the elemental composition of some organs of wild boar from river M. Sumulta and boars from several other countries (mg/kg, dry matter)

Орган/ткань Organ/tissue	Элемент Element	Регион, источник (Region, source)					
		Горный Алтай Gorny Altai	Нидерланды Netherlands [15]	Италия Italy [18]	Польша Poland [19]	Швеция Sweden [20]	Турция Turkey [21]
Печень Liver	Mg	862	-	-	-	197	-
	Cr	0,34	-	0,14	-	-	1,3
	Mn	18,1	-	-	-	1,66	3,89
	Fe	4100	995	-	-	129	-
	Cu	30,9	15	46,1	-	6,67	0,71
	Zn	211	136	49,8	-	25,1	38,9
	As	0,002	-	-	-	0,02	-
	Se	1,08	-	-	-	2,3	0,42
	Cd	1,25	-	0,09	-	4,16	0,61
	Pb	0,25	0,92	0,32	-	0,14	0,75
Мышца Muscle	Na	1827	-	-	157 2	-	-
	Mg	818	-	-	557	-	-
	Cr	0,29	-	0,14	-	-	1,35
	Mn	1,1	-	-	1,91	-	1,0
	Fe	133	-	-	82,4	-	-
	Cu	5,6	-	12,2	5,82	-	0,45
	Zn	68,6	-	53,2	117	-	45,7
	Cd	<0,0001	-	0,08	-	-	0,51
	Pb	0,002	-	0,13	-	-	0,44
	Cr	0,33	-	0,1	-	-	1,82
Почка Kidney	Fe	252	525	-	-	-	-
	Cu	14,4	17	5,64	-	-	1,25
	Zn	59,7	140	32,5	-	-	32,2
	Cd	6,74	-	1,05	-	-	3,05
	Pb	0,08	1,33	0,3	-	-	0,52

Сопоставление данных содержания химических элементов в печени и почках у дикого кабана с р. М. Сумульты и аналогичных животных на территории некоторых стран Европы и Турции (табл. 4) показывает существенно повышенные содержания Mg, Mn, Fe и Zn в печени алтайского кабана, при этом содержания Cr, Cu, As, Se, Cd и Pb

сопоставимы. В мышцах у сравниваемых животных концентрации большинства элементов сопоставимы. Разница лишь в более высоком накоплении у кабанов из Италии и Турции Cd и Pb. В почках у кабана с Алтая выше содержание Cd и местами Cu, но меньше Fe, редко Cr, Zn и Pb.

Для организма свиньи домашней сравнение сделано только по мышцам и почкам. Выявлено, что в пробе бедренной мышцы домашней свиньи с Алтая по большинству элементов показатели либо сопоставимы, либо меньше показателей по мясу свиней из ряда стран Европы, Африки и США, а в почках, наоборот, все показатели по элементам (кроме As) выше у изучаемого животного (табл. 5).

Таблица 5. Сравнение элементного состава некоторых органов у свиньи домашней из села Купчегень (Горный Алтай) и ряда других стран (мг/кг, сухое вещество)

Table 5. Comparison of the elemental composition of some organs of domestic pig from Kupchegen and pigs from several other countries (mg/kg, dry matter)

Орган/ткань Organ/tissue	Элемент Element	Регион, источник (Region, source)					
		Горный Алтай Gorny Altai	Польша Poland [19]	Испания Spain [22]	Греция Greece [23]	Нигерия Nigeria [24]	США USA [25]
Мышца Muscle	Cr	0,22	-	0,13	<0,006	-	0,70
	Mn	0,19	1,92	1,01	-	-	-
	Fe	15,5	34,9	26,5	-	3,78	-
	Cu	1,44	3,05	6,85	-	0,05	9,87
	Zn	31,2	61,3	42,5	-	-	86,4
	As	0,02	-	0,003	-	-	-
	Cd	0,004	-	0,01	<0,02	0,03	-
	Pb	0,02	-	0,003	<0,02	0,09	-
Почка Kidney	Hg	0,01	-	0,001	-	-	0,14
	Cr	0,28	-	0,08	<0,006	-	-
	Fe	376	-	51,6	-	0,94	-
	Cu	28,3	-	5,63	-	0,26	-
	Zn	93,1	-	28,9	-	-	-
	As	0,04	-	0,01	-	-	-
	Cd	0,49	-	0,31	<0,02	0,02	-
	Pb	0,15	-	0,008	<0,02	0,08	-

Характерной особенностью элементного состава организма домашней свиньи из села Купчегень является высокое содержание Pb в головном мозге (14,1 мг/кг), что в несколько раз превышает эталонное содержание элемента в бычьей печени, используемой в качестве стандартного показателя для мяса, пригодного к потреблению человеком [26]. И это при том, что максимальное медианное содержание Pb выявлено в организме марала. Аномально высокое содержание свинца в головном мозге купчегеньской свиньи подтверждено методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным спектрометром. В пробе го-

ловного мозга была обнаружена Pb-содержащая частица (рис. 4).

Столь высокая степень накопления Pb в головном мозге не может быть объяснена на данном этапе работы, этот вопрос требует дальнейших исследований.

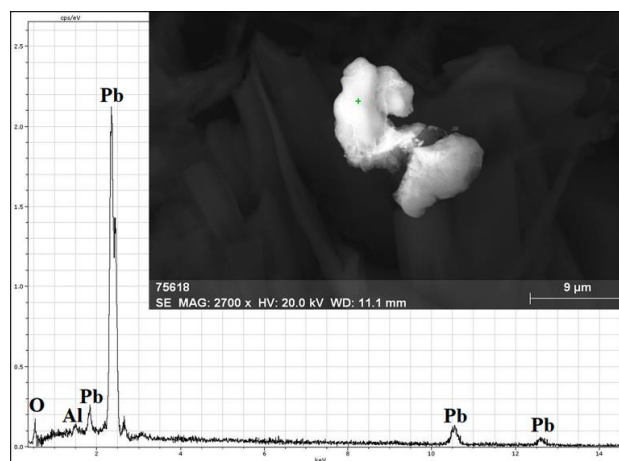


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение в обратно рассеянных электронах и энергодисперсионный спектр Pb-содержащей частицы в головном мозге домашней свиньи из села Купчегень

Fig. 4. Electron microscopic image in backscattered electrons and energy dispersive spectrum of a Pb-containing particle in the brain of a domestic pig from Kupchegen

С целью выявления основных факторов, влияющих на накопление химических элементов в организме исследованных животных, был выполнен многофакторный анализ всей совокупности данных. Полученные результаты представлены в табл. 6.

По результатам анализа для каждого животного было выявлено три значимых фактора, влияющих на особенности концентрации химических элементов в организме. Для алтайского марала ведущий фактор отвечает за особенности концентрации и распределения широкого спектра химических элементов, в том числе РЗЭ и радиоактивных элементов (РАЭ). Вероятнее всего, это фактор питания животного с учетом геофагии. Вторым фактором, вероятно, является способность химических элементов к накоплению в костной ткани. На это указывает наличие среди этой группы элементов Са, Р – основных компонентов гидроксилapatита и других остеотропных элементов. Третий фактор, по-видимому, отражает особенности металлогении места обитания изучаемого животного. Все химические элементы в данном случае являются халькофильными. Как известно, район Горного Алтая богат месторождениями и проявлениями полиметаллических руд [27].

Таблица 6. Результаты многофакторного анализа элементного состава органов и тканей изученных животных

Table 6. Results of multifactorial analysis of elemental composition of organs and tissues of the studied animals

Алтайский марал (Altai red deer)		
Фактор 1 (Factor 1)	Фактор 2 (Factor 2)	Фактор 3 (Factor 3)
Al, Si, V, Mn, Ga, Y, Zr, In, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, W, Th, U	Li, P, Ca, Ti, Sr, Rh, Ba	As, Se, Cd, Te, Hg, Tl
Кабан (Wild boar)		
Фактор 1 (Factor 1)	Фактор 2 (Factor 2)	Фактор 3 (Factor 3)
Li, Be, B, Al, Si, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, As, Y, Zr, In, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Pb, Th, U	P, Ca, Ti, Rh	Ag, Pt, Au
Домашняя свинья (Domestic pig)		
Фактор 1 (Factor 1)	Фактор 2 (Factor 2)	Фактор 3 (Factor 3)
Li, Al, Si, V, Mn, Co, Ni, Ga, As, Y, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U	Mg, P, Ca, Sr	Cl, Cu, Se, Br, Mo, Cs, Hf, Ir

Для организма кабана первый фактор, как и в случае с маралом, имеет наибольшую долю влияния на химические элементы и, скорее всего, является фактором потребляемой пищи и геофагии. Второй фактор, как и в первом случае, вклад костной ткани в элементный состав организма. Третий фактор, влияющий на распределение элементов из группы благородных металлов, связан с особенностями местной металлогении.

В организме домашней свиньи первый фактор, аналогично с предыдущими животными, имеет наибольшую долю влияния и, скорее всего, также обусловлен химическим составом пищи. На это указывает схожий спектр химических элементов, связанных с влиянием данного фактора, причем для всех трех исследованных животных с этим фактором связано поступление в организм редких, редкоземельных и радиоактивных элементов. Второй фактор связан с остеотропными химическими элементами. Третий фактор у свиньи домашней, возможно, связан с участием в диете искусственных кормов. Согласно литературным данным, в различных типах комбикормов содержатся значительные концентрации Cu, Se, Mo [28]. Помимо влияния комбикормов к третьему фактору также следует отнести возможное влияние местной геохимии, в том числе гидрогеохимии природных вод.

Заключение

В организме алтайского марала, кабана и домашней свиньи наивысшими медианными значениями обладают среди макроэлементов – S, Cl и K; среди неметаллов – Br и I; среди тяжелых металлов – Pb и Hg; среди радиоактивных – Th; среди редкоземельных – Sc, Ce, La, Nd, Y и Pr. При этом

концентрация РЗЭ в организме свиней оказалась выше, чем в организме марала, а максимальные содержания РЗЭ тяжелой подгруппы выявлены в организме свиньи домашней из села, расположенного в пределах гранитного массива, причем на реке, в бассейне которой значительные площади заняты кислыми магматическими породами, в том числе щелочными гранитами.

Интересный и пока необъяснимый факт, выявленный нами в отношении макроэлементов, состоит в том, что в организме марала концентрация Cl почти вдвое выше, чем в организмах свиней.

В организмах изученных животных выявлены значительные превышения концентраций некоторых химических элементов в ряде органов и тканей относительно опубликованных данных по аналогичным видам животных из других регионов мира. Так, в мышце, печени и почке алтайского марала выявлены значительно более высокие содержания Fe, Cd и особенно Hg, содержание которой в печени на 2 порядка выше, чем у оленей из других регионов. В печени дикого кабана из Горного Алтая также выявлено резко повышенное содержание Fe и необычайно высокое содержание W в бронхах (1,08 мг/кг). У домашней свиньи из села Купчегень выявлено аномальное содержание Pb в головном мозге (14,4 мг/кг).

С помощью электронной микроскопии с ЭД анализатором на препаратах из проб свиньи домашней выявлено, что непосредственно в тканях головного мозга имеются стяжения (возможно, минеральные агрегаты), состоящие преимущественно из свинца.

Выявлено также, что каждое изученное животное имеет присущие только ему особенности накопления некоторых химических элементов: благородные металлы активнее аккумулируются в органах и тканях свиньи домашней; Hg и зачастую Pb накапливаются в большинстве органов в организме алтайского марала; покровные и дыхательные органы дикого кабана являются в большей степени, чем у других животных, концентраторами РЗЭ, РАЭ, металлов группы железа и W.

Основными факторами, влияющими на формирование элементного состава организма животных, обитающих непосредственно в районе активной геофагии, предположительно, являются фактор питания (в том числе геофагия), а также способность элементов накапливаться в костной ткани. Основными факторами формирования элементного состава организма свиньи в селе Купчегень, наиболее вероятно, являются применяемые при откорме привозные кормовые смеси и особенности местной металлогении, обусловленные расположением села в пределах гранитного массива и проявляемые через химические составы местных кормов и природных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
2. Паничев А.М. Литофагия в мире животных и человека. – М.: Наука, 1990. – 224 с.
3. Laufer B. Geophagy // Publications of the Field Museum of Natural History. Anthropological Series. – 1930. – Vol. 18. – № 2. – P. 99–198.
4. Tawa Y., Sah S.A.M., Kohshima S. Salt-lick use in Malaysian tropical rainforests reveals behavioral differences by food habit in medium and large-sized mammals // European Journal of Wildlife Research. – 2022. – Vol. 68. – № 5. – P. 57–69.
5. Klaus G., Schmid B. Geophagy at natural licks and mammal ecology: a review // Mammalia. – 1998. – Vol. 62 – № 4. – P. 482–497.
6. Mineral lick use by a community of large herbivores in northern Iran / F. Salmanpour, Z. Shakoory, M. Kia, R. Eshaghi, M. Ghaderi, S. Ghomi, R. Kaveh, K. Rabie, B.H. Kiabi, M.S. Farhadinia // Ecology and Evolution. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 1–7.
7. Geophagy and geology of mineral licks (kudurs): a review of Russian publications / A.M. Panichev, K.S. Golokhvast, A.N. Gulkov, I.Yu. Chekryzhov // Environmental Geochemistry and Health. – 2013. – № 1. – P. 133–152.
8. Stockstad D.S., Morris M.S., Lory E.C. Chemical characteristics of natural licks used by big game animals in western Montana // Trans. N. Amer. Wild-life Conf. – 1953. – Vol. 18. – P. 247–257.
9. Houston D.C., Gilardi J.D., Hall A.J. Soil consumption by elephants might help to minimize the toxic effects of plant secondary compounds in forest browse // Mammal. Review. – 2001. – Vol. 31. – № 3–4. – P. 249–254.
10. Landscape REE anomalies and the cause of geophagy in wild animals at kudurs (mineral salt licks) in the Sikhote-Alin (Primorsky Krai, Russia) / A.M. Panichev, N.V. Baranovskaya, I.V. Seryodkin, I.Yu. Chekryzhov, E.A. Vakh, B.R. Soktoev, A.I. Belyanovskaya, R.A. Makarevich, T.N. Lutsenko, N.Yu. Popov, A.V. Ruslan, D.S. Ostapenko, A.V. Vetoshkina, V.V. Aramilev, A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast // Environmental Geochemistry and Health. – 2022. – Vol. 44. – № 3. – P. 1137–1160.
11. Excess of REE in plant foods as a cause of geophagy in animals in the Teletskoye Lake basin, Altai Republic, Russia / A. Panichev, N. Baranovskaya, I. Seryodkin, I. Chekryzhov, E. Vakh, Yu. Kalinkin, T. Lutsenko, N. Popov, A. Ruslan, D. Ostapenko, E. Elovskiy, A. Vetoshkina, O. Patrusheva, R. Makarevich, Yu. Manakov, A. Kholodov, D. Spandidos, A. Tsatsakis, K. Golokhvast // World Academy of Sciences Journal. – 2023. – Vol. 5. – № 1. – P. 1–22.
12. Toxic and essential metal concentrations in four tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Baranja, Croatia / M. Lazarus, T. Orct, M. Blanuša, I. Vicković, B. Šoštarić // Food additives and contaminants. – 2008. – Vol. 25. – № 3. – P. 270–283.
13. Levels of trace elements in liver from Norwegian moose, reindeer and red deer in relation to atmospheric deposition / A. Frøslie, G. Norheim, J.P. Rambtek, E. Steinnes // Acta Veterinaria Scandinavica. – 1984. – Vol. 25. – № 3. – P. 333–345.
14. Concentrations of heavy metals in the tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from the region of Warmia and Mazury, Poland / J. Falandysz, K. Szymczyk-Kobrzyńska, A. Brzostowski, K. Zalewski, A. Zasadowski // Food additives and contaminants. – 2005. – Vol. 22. – № 2. – P. 141–149.
15. Wolkers H., Wensing T., Bruinderink G.W.G. Heavy metal contamination in organs of red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*) and the effect on some trace elements // Science of the total environment. – 1994. – Vol. 144. – № 1–3. – P. 191–199.
16. Макро- и микроэлементный состав мяса марала / Э.К. Окусханова, Б.К. Асенова, С.Т. Дюсембаев, Ж.С. Есимбеков, М.Б. Ребезов // Молодой ученый. – 2014. – № 11. – С. 90–93.
17. Pollock B. Trace elements status of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) and moose (*Alces alces*) in Nova Scotia. – Canada: Canadian Cooperative Wildlife Health Centre: Newsletters & Publications, 2005. – 28 p.
18. Concentrations of some toxic and trace elements in wild boar (*Sus scrofa*) organs and tissues in different areas of the Province of Viterbo, Central Italy / A. Amici, P.P. Danieli, C. Russo, R. Primi, B. Ronchi // Italian Journal of Animal Science. – 2012. – Vol. 11. – P. 354–362.
19. Babicz M., Kasprzyk A. Comparative analysis of the mineral composition in the meat of wild boar and domestic pig // Italian Journal of Animal Science. – 2019. – Vol. 18. – № 1. – P. 1013–1020.
20. Concentrations of cadmium, lead, arsenic, and some essential metals in wild boar from Sweden / A. Malmsten, A.M. Dalin, J. Pettersson, S. Persson // European Journal of Wildlife Research. – 2021. – Vol. 2. – P. 1–8.
21. Demirbas Y., Erduran N. Concentration of selected heavy metals in brown hare (*Lepus europaeus*) and wild boar (*Sus scrofa*) from central Turkey // Balkan Journal of Wildlife Research. – 2017. – Vol. 4. – P. 26–33.
22. Toxic and essential metals in liver, kidney and muscle of pigs at slaughter in Galicia, north-west Spain / M. López-Alonso, M. Miranda, C. Castillo, J. Hernandez, M. Garcia-Vaquero, J. Benedito // Food Additives and Contaminants. – 2007. – Vol. 24. – № 9. – P. 943–954.
23. Heavy metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits / S. Leontopoulos, N. Gougoulis, D. Kantas, L. Roka // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2015. – Vol. 21. – № 3. – P. 693–697.
24. Buba Z.M., Abbas E.A., Ahmed U. Determination of some heavy metals in kidney, liver and muscle of domestic pig (*Sus scrofa domestica*) in Guyuk Metropolis, Adamawa state, Nigeria // International Journal of Research and Scientific Innovation. – 2020. – Vol. 7. – № 10. – P. 250–255.
25. Trace elements and radiocesium in game species near contaminated sites / R.E. Oldenkamp, A.B.J. Bryan, R.A. Kenamer, J.C. Leaphart, S.C. Webster, J.C. Beasley // The Journal of Wildlife Management. – 2017. – Vol. 81. – № 8. – P. 1338–1350.
26. NAA characterization of the new bovine liver SRM / R. Zeisler, W. James, E. Mackey, R. Spatz, R. Greenberg // Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. – 2008. – Vol. 278. – № 3. – P. 783–787.
27. Гусев А.И. Полиметаллическое оруденение Горного Алтая: перспективы и прогнозная оценка // Природные ресурсы Горного Алтая. Геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 3–10.
28. Хоченков А.А. Сбалансированность рассыпных комбикормов для свиноматок // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2010. – № 13 (1). – С. 3–9.

Информация об авторах

Наталья Владимировна Барановская, доктор биологических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. nata@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3729-800X>

Александр Михайлович Паничев, доктор биологических наук, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7. sikhote@mail.ru

Дмитрий Александрович Стрепетов, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. das57@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1041-4747>

Иван Владимирович Серёдкин, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7. seryodkinivan@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4054-9236>

Булат Ринчинович Соктоев, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. bulatsoktoev@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4102-4282>

Сергей Сергеевич Ильенок, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. ilenokss@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0216-4485>

Раиса Алексеевна Макаревич, научный сотрудник лаборатории геохимии, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7. mak@tigdvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6787-6870>

Влада Владиславовна Куровская, инженер отделения нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. kurovskaya@tpu.ru

Мария Алексеевна Рулик, магистрант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. mar15@tpu.ru

Поступила в редакцию: 05.02.2024

Поступила после рецензирования: 25.02.2024

Принята к публикации: 26.04.2024

REFERENCES

1. Ermakov V.V., Tyutikov S.F. *Geochemical ecology of animals*. Moscow, Nauka Publ., 2008. 315 p. (In Russ.)
2. Panichev A.M. *Lithophagy in the animal and human world*. Moscow, Nauka Publ., 1990. 224 p. (In Russ.)
3. Laufer B. Geophagy. Publications of the field museum of natural history. *Anthropological Series*, 1930, vol. 18, no. 2, pp. 99–198.
4. Tawa Y., Sah S.A.M., Kohshima S. Salt-lick use in Malaysian tropical rainforests reveals behavioral differences by food habit in medium and large-sized mammals. *European Journal of Wildlife Research*, 2022, vol. 68, no. 5, pp. 57–69.
5. Klaus G., Schmid B. Geophagy at natural licks and mammal ecology: a review. *Mammalia*, 1998, vol. 62, no. 4, pp. 482–497.
6. Salmanpour F., Shakoori Z., Kia M., Eshaghi R., Ghaderi M., Ghomi S., Kaveh R., Rabie K., Kiabi B.H., Farhadinia M.S. Mineral lick use by a community of large herbivores in northern Iran. *Ecology and Evolution*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 1–7.
7. Panichev A.M., Golokhvast K.S., Gulkov A.N., Chekryzhov I.Yu. Geophagy and geology of mineral licks (kudurs): a review of Russian publications. *Environmental Geochemistry and Health*, 2013, no. 1, pp. 133–152.
8. Stockstad D.S., Morris M.S., Lory E.C. Chemical characteristics of natural licks used by big game animals in western Montana. *Trans. N. Amer. Wild-life Conf.*, 1953, vol. 18, pp. 247–257.
9. Houston D.C., Gilardi J.D., Hall A.J. Soil consumption by elephants might help to minimize the toxic effects of plant secondary compounds in forest browse. *Mammal Review*, 2001, vol. 31, no. 3–4, pp. 249–254.
10. Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Seryodkin I.V., Chekryzhov I.Yu., Vakh E.A., Soktoev B.R., Belyanovskaya A.I., Makarevich R.A., Lutsenko T.N., Popov N.Yu., Ruslan A.V., Ostapenko D.S., Vetoshkina A.V., Aramilev V.V., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Landscape REE anomalies and the cause of geophagy in wild animals at kudurs (mineral salt licks) in the Sikhote-Alin (Primorsky Krai, Russia). *Environmental Geochemistry and Health*, 2022, vol. 44, no. 3, pp. 1137–1160.
11. Panichev A., Baranovskaya N., Seryodkin I., Chekryzhov I., Vakh E., Kalinkin Yu., Lutsenko T., Popov N., Ruslan A., Ostapenko D., Elovskiy E., Vetoshkina A., Patrusheva O., Makarevich R., Manakov Yu., Kholodov A., Spandidos D., Tsatsakis A., Golokhvast K. Excess of REE in plant foods as a cause of geophagy in animals in the Teletskoye Lake basin, Altai Republic, Russia. *World Academy of Sciences Journal*, 2023, vol. 5, no. 1, pp. 1–22.

12. Lazarus M., Orcet T., Blanuša M., Vicković I., Šošćarić B. Toxic and essential metal concentrations in four tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Baranja, Croatia. *Food additives and contaminants*, 2008, vol. 25, no. 3, pp. 270–283.
13. Frøslie A., Norheim G., Rambtek J.P., Steinnes E. Levels of trace elements in liver from Norwegian moose, reindeer and red deer in relation to atmospheric deposition. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 1984, vol. 25, no. 3, pp. 333–345.
14. Falandysz J., Szymczyk-Kobrzyńska K., Brzostowski A., Zalewski K., Zasadowski A. Concentrations of heavy metals in the tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from the region of Warmia and Mazury, Poland. *Food additives and contaminants*, 2005, vol. 22, no. 2, pp. 141–149.
15. Wolkers H., Wensing T., Bruinderink G.W.G. Heavy metal contamination in organs of red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*) and the effect on some trace elements. *Science of the total environment*, 1994, vol. 144, no. 1–3, pp. 191–199.
16. Okuskhanova E.K., Asenova B.K., Dusembaev S.T., Esimbekov Zh.C., Rebezov M.B. Macro- and microelement composition of red deer meat. *Young scientist*, 2014, no. 11, pp. 90–93. (In Russ.)
17. Pollock B. *Trace elements status of white-tailed deer (Odocoileus virginianus) and moose (Alces alces) in Nova Scotia*. Canada, Canadian Cooperative Wildlife Health Centre, Newsletters & Publications, 2005. 28 p.
18. Amici A., Danieli P.P., Russo C., Primi R., Ronchi B. Concentrations of some toxic and trace elements in wild boar (*Sus scrofa*) organs and tissues in different areas of the Province of Viterbo, Central Italy. *Italian Journal of Animal Science*, 2012, vol. 11, pp. 354–362.
19. Babicz M., Kasprzyk A. Comparative analysis of the mineral composition in the meat of wild boar and domestic pig. *Italian Journal of Animal Science*, 2019, vol. 18, no. 1, pp. 1013–1020.
20. Malmsten A., Dalin A.M., Pettersson J., Persson S. Concentrations of cadmium, lead, arsenic, and some essential metals in wild boar from Sweden. *European Journal of Wildlife Research*, 2021, vol. 2, pp. 1–8.
21. Demirbas Y., Erduran N. Concentration of selected heavy metals in brown hare (*Lepus europaeus*) and wild boar (*Sus scrofa*) from central Turkey. *Balkan Journal of Wildlife Research*, 2017, vol. 4, pp. 26–33.
22. López-Alonso M., Miranda M., Castillo C., Hernandez J., Garcia-Vaquero M., Benedito J. Toxic and essential metals in liver, kidney and muscle of pigs at slaughter in Galicia, north-west Spain. *Food Additives and Contaminants*, 2007, vol. 24, no. 9, pp. 943–954.
23. Leontopoulos S., Gougoulas N., Kantas D., Roka L. Heavy metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 693–697.
24. Buba Z.M., Abbas E.A., Ahmed U. Determination of Some Heavy Metals in Kidney, Liver and Muscle of Domestic pig (*Sus scrofa domestica*) in Guyuk Metropolis, Adamawa state, Nigeria. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 2020, vol. 7, no. 10, pp. 250–255.
25. Oldenkamp R.E., Bryan A.B.J., Kennamer R.A., Leaphart J.C., Webster S.C., Beasley J.C. Trace elements and radiocesium in game species near contaminated sites. *The Journal of Wildlife Management*, 2017, vol. 81, no. 8, pp. 1338–1350.
26. Zeisler R., James W., Mackey E., Spatz R., Greenberg R. NAA characterization of the new bovine liver SRM. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 2008, vol. 278, no. 3, pp. 783–787.
27. Gusev A.I. Polymetallic mineralization in the Altai Mountains: prospects and prognosis. *Natural resources of the Altai Mountains. Geology, geophysics, hydrogeology, geoecology, mineral and water resources*, 2007, no. 3, pp. 3–10. (In Russ.)
28. Khochenkov A.A. Balance of placer mixed fodder for sows. *Current problems of intensive development of animal husbandry*, 2010, vol. 13, no. 1, pp. 3–9. (In Russ.)

Information about the authors

Natalia V. Baranovskaya, Dr. Sc., Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. nata@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3729-800X>

Alexander M. Panichev, Dr. Sc., Cand. Sc., Leading Researcher, Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7, Radio street, Vladivostok, 690041, Russian Federation. sikhote@mail.ru

Dmitry A. Strepetov, Postgraduate Student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. das57@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1041-4747>

Ivan V. Seryodkin, Cand. Sc., Leading Researcher, Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7, Radio street, Vladivostok, 690041, Russian Federation. seryodkinivan@inbox.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4054-9236>

Bulat R. Soktoev, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. bulatsoktoev@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4102-4282>

Sergey S. Ilenok, Cand. Sc., Senior Lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. ilenokss@tpu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0216-4485>

Raisa A. Makarevich, Researcher, Pacific Geographical Institute FEB RAS, 7, Radio street, Vladivostok, 690041, Russian Federation. mak@tigdvo.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6787-6870>

Vlada V. Kurovskaya, Engineer, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. kurovskaya@tpu.ru

Mariya A. Rulik, Master's Student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. mar15@tpu.ru

Received: 05.02.2024

Revised: 25.02.2024

Accepted: 26.04.2024