

УДК 550.42:639.11-037.31/.34

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О МИКРОМИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСЯНОМ ПОКРОВЕ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Ильенок Сергей Сергеевич¹,
ilenokss@tpu.ru

Барановская Наталья Владимировна¹,
nata@tpu.ru

Паничев Александр Михайлович²,
sikhote@mail.ru

Серёдкин Иван Владимирович²,
seryodkinivan@inbox.ru

Беляновская Александра Игоревна³,
alexandra.belyanovskaya@outlook.com

Чекрыжов Игорь Юрьевич⁴,
chekr2004@mail.ru

Макаревич Раиса Алексеевна²,
mak@tigdvo.ru

Соктоев Булат Ринчинович¹,
bulatsoktoev@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7.

³ Тюменский государственный университет,
Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6.

⁴ Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Россия, 690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159.

Актуальность работы состоит в необходимости изучения вариативности химического состава организма млекопитающих в зависимости от геолого-геохимических факторов среды на территориях их обитания в условиях нормального функционирования и при наличии патологических процессов. Выполненные исследования привносят новые знания в понимание процессов миграции обширного набора химических элементов из горных пород в живые организмы.

В рамках выполнения гранта РНФ изучен волосяной покров благородного оленя (*Cervus elaphus*) и дикого кабана (*Sus scrofa*), добытых в Тернейском районе Приморского края, на территории, прилегающей к Сихотэ-Алинскому государственному биосферному заповеднику, а также – домашней свиньи (*Sus scrofa domesticus*) из частного подворья в п. Терней. На некоторых участках территории заповедника развито явление геофагии среди диких копытных, следствием которого является формирование характерных ландшафтных комплексов – кудуров. В последние годы в качестве причины геофагии все чаще рассматриваются редкоземельные элементы, причем возможен как их дефицит в организме, так и избыток. Как следствие у животных может возникать необходимость либо пополнения редкоземельных элементов, либо – избавления от них. Источниками редкоземельных элементов для животных могут быть вода, кормовая растительность, а также коры выветривания горных пород (в Сихотэ-Алине это преимущественно риолиты, их туфы и туффиты). Химические элементы, включая редкоземельные элементы, при поступлении в организм млекопитающих могут накапливаются в тканях организма, в том числе в волосяном покрове. Именно поэтому изучение в волосяном покрове животных состава микроминеральных включений вызывает интерес.

Цель: поиск и определение микроминералов в волосяном покрове животных с территории Тернейского района Приморского края, выявление мест локализации микроминералов.

Методы. Образцы волосяного покрова животных изучались на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром Bruker X@Flash 5010. Полученные результаты интерпретировались с применением современных интернет-баз минералов.

Результаты. Электронно-микроскопические исследования показали, что в волосяном покрове домашней свиньи содержатся алюмосиликаты сложного состава, оксиды меди и железа, ильменит, кварц, галенит, мусковит, кальцит, калиевый полевой шпат, альбит, барит, циркон, пироксен, апатит, фосфаты редких земель. В волосяном покрове благородного оленя выявлены кварц, мусковит, плагиоклаз, оксиды железа, кальцит, титанит и монтмориллонит. В волосяном покрове дикого кабана обнаружены кварц, плагиоклаз, мусковит-иллит, каолинит, силикат титана, кальцит, оксиды железа, хлорит, титанит, рутил, ильменит, никель самородный, сильвин, оксиды церия, Се-Al фазы, фосфаты редкоземельных элементов и комплексные фазы Si-Al-S-Na-O. При этом существенная часть перечисленных минералов обнаружена в толще кутикулы волос у всех животных, что позволяет предполагать их эндогенное происхождение (за счет поступления химических элементов из крови).

Выводы. Изучение внутренних срезов волосяного покрова животных и их поверхности выявило существование как экзогенного, так и эндогенного факторов в накоплении элементов в виде минеральных включений.

Ключевые слова:

микроминералы, электронная микроскопия, шерсть, щетина, волос, кабан, благородный олень, домашняя свинья, Приморский край.

Введение

Электронная микроскопия в современных геоэкологических и геохимических исследованиях приобретает все большую актуальность. Применение методики электронной микроскопии позволяет фиксировать структуру и состав микроминеральных фаз химических элементов в различных объектах: почве, горных породах, а также в биологических материалах. Волосяной покров млекопитающих является информативным объектом геоэкологических исследований, отражающим специфику как экзогенных (состояние окружающей среды), так и эндогенных (включая патологические) процессов [1, 2]. Минеральные вещества в волосы экзогенным путем поступают за счет воздушных аэрозолей, частиц пыли, лекарств, моющих средств, каловых масс и мочи; эндогенный путь их поступления – через кровь и пот. Поскольку отбор волосяного покрова осуществляется, как правило, прижизненно, то получение сведений о его элементном и микроминеральном составе позволяет судить о состоянии и организма, и окружающей среды.

Применение волос людей и шерсти животных в качестве биогеохимических индикаторов известно с середины XX в. При этом основными заказчиками и потребителями данных, получаемых при изучении волос, были патологическая анатомия и токсикология.

В 1972 г. были опубликованы первые результаты исследований, освещающие поведение кадмия в мышах и шерсти животных, а также в волосах людей [3, 4]. Позднее появляются работы, отражающие поведение свинца [5–7], ртути [8] и мышьяка [9] в организме человека, в том числе по данным анализа волос. Сравнительный анализ элементного состава волос людей из различных стран впервые приведен в работе Y. Takagi с коллективом [10]. В начале 1980-х гг. появляются работы, указывающие на связь между состоянием организма и составом волосяного покрова. Среди них выделяется монография, посвященная исследованию взаимосвязи между элементным составом волос людей и заболеваемостью [11]. Автором показана связь химического состава волос с их анатомическими изменениями в процессе роста, оценивается влияние на волосы генетических заболеваний. Изучению волос и шерсти в качестве одного из индикаторов состояния окружающей среды и сопутствующих заболеваний (генетические болезни, микроэлементозы и т. д.) посвящены работы [12–15]. Изучению химического состава волос людей, проживающих в городах России и Казахстана, в том числе вблизи вредных производств, посвящены работы [16–20]. Исследованию волос беременных женщин и их детей, а также детей с различными заболеваниями (синдром Дауна, аутизм, синдромом дефицита внимания), проживающих на территориях вблизи вредных производств, посвящен ряд публикаций А.В. Скального с соавторами [21–27]. Анализу волос детей с аутизмом посвящены также работы польских и китайских ученых [28, 29]. Вопросу связи состояния окружающей среды и состава волосяного покрова животных посвящены работы [30–32]. Особо стоит

упомануть публикацию [33], в которой коллективом авторов с помощью масс-спектрометрического анализа шерсти животных изучалось заболевание диких павианов на территории африканской саванны, связанное с избытком цинка и недостатком меди в сыворотке крови (синдром «белой обезьяны»).

Электронно-микроскопические исследования с целью диагностики болезней у животных и людей начали появляться в 1990-х гг. Большая часть таких работ имеет медицинский характер и направлена на изучение морфологии клеток [34, 35], в том числе кровяных телец (лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов) здоровых и больных людей [36, 37], эмали зубов [38–40], кожи [41, 42], злокачественных новообразований [43], а также различных структур в составе глаза [44, 45].

Работы с животными были менее многочисленными и были нацелены главным образом на увеличение их поголовья [46–49]. Лишь некоторые публикации посвящены морфологии и строению шерсти млекопитающих [50–52].

Целью нашего исследования является получение фактических данных по распределению ряда химических соединений и микроминералов в волосяном покрове диких и домашних животных, обитающих в одном из районов Приморского края. В работе продемонстрированы места их локализации в волосяном покрове благородного оленя (*Cervus elaphus*), дикого кабана (*Sus scrofa*) и домашней свиньи (*Sus scrofa domesticus*) методом сканирующей электронной микроскопии. Дикие животные были добыты в районе, где распространена активная геофагия среди копытных на природных солонцах-кудурах [53–57]. Домашняя свинья выбрана для сравнения, как всеядное животное, питающееся преимущественно растительными кормами и при этом обитающее за пределами района проявления активной геофагии.

Материалы и методика исследования

В июне 2020 г. на территории Тернейского района, в верховьях ручья Петлевочный, за пределами Сихотэ-Алинского государственного биосферного заповедника, были добыты один благородный олень и один дикий кабан, от которых отобрано по 50 проб биологических тканей. Еще 50 проб биологических тканей отобрано от домашней свиньи в п. Терней.

От каждого животного для электронно-микроскопических исследований отбирались образцы волосяного покрова с бедра (остевые волосы или щетина). Отмывки и химической обработки собранного фактического материала не проводилось, чтобы избежать потерь микрочастиц на поверхности волоса. К исследованию готовились как поверхность волоса, так и продольный его срез в средней части волосяного стержня. Продольный срез волоса делался острым скальпелем. Образцы наносились на углеродную ленту, закрепленную на предметном столике, после чего обдувались сжатым воздухом. Всего изучено по 6–10 волос от каждого животного.

Образцы изучались на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S-3400N с энерго-

дисперсионным спектрометром (ЭДС) Bruker X@Flash 5010, который предназначен для проведения рентгеноспектрального анализа, в режиме низкого вакуума (40–60 Па), при ускоряющем напряжении – 20 кВ. Оборудование располагается в МИНОЦ «Урановая геология» при отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ.

Полученные результаты интерпретировались с применением современных интернет-баз минералов [58, 59].

Результаты исследования

В процессе исследования изучалась как поверхность волоса животных, так и продольный срез. Строение волоса у представителей семейств оленых и свиных различное, потому и накопление химических соединений и микроминералов в них происходит разными путями и в разных объемах. Более того, даже у представителей одного семейства (домашней свиньи и дикого кабана) наблюдается значительное различие в объеме накопления химических элементов и соединений, как и мест их локализации.

Волос домашней свиньи внутри цельный. Основные элементы в составе волоса: С, О, N и S. На по-

верхности волоса (на кутикуле) обнаружены: барит, оксиды железа, алюмосиликаты, кварц, рутил, кальцит, альбит. Отдельные участки волоса покрыты алюмосиликатной пленкой.

Внутренняя часть волоса оказалась крайне высоко минерализованной (рис. 1, б). В составе минеральных образований обнаружены в основном силикаты и алюмосиликаты (алюмосиликаты сложного состава, калиевый полевой шпат, альбит, мусковит, циркон, пироксен), а также оксиды кремния (кварц), меди, железа и титана (ильменит), сульфиды (галенит), сульфаты (барит), карбонаты и фосфаты кальция, фосфаты редкоземельных элементов (РЗЭ). Волос оказался буквально заполненным микрочастицами минералов по всей его длине. Возможно, микроминералы внутрь волоса попали механически через луковицу либо образовались на месте из элементов, поступавших непосредственно из крови. Процесс отложения микроминералов в луковице, видимо, постоянный, на что указывает заполненность волоса микрочастицами по всей длине. В качестве источника отложений микроминералов в щетине может рассматриваться пот.

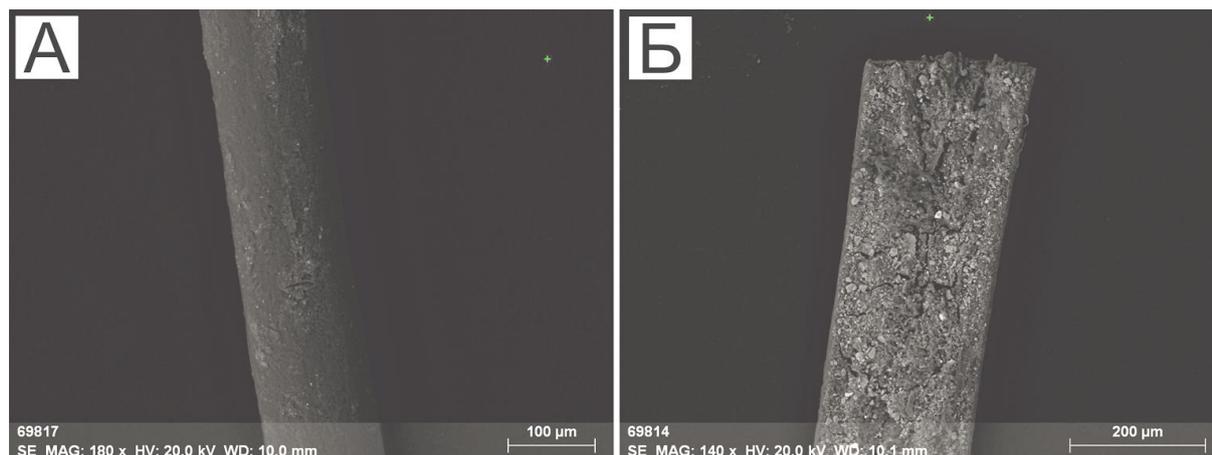


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок в обратно-рассеянных электронах. Волос домашней свиньи *Sus scrofa domestica*: целый (А) и в продольном сечении (Б)

Fig. 1. Electron microscopic image in back-scattered electrons. Domestic pig *Sus scrofa domestica* hair: whole (A) and in longitudinal section (B)

Волос кабана толстый, упругий, цельный внутри. В продольном срезе наблюдаются хорошо выделенные волокнистая структура коры (рис. 2) и сердцевина волоса (медулла) в центре. Основные элементы в составе волоса: С, О, N и S (рис. 2, б).

На кутикуле выявлены микрочастицы следующих минералов: кварц, мусковит-иллит, каолинит, оксиды железа, хлорит, титанит, рутил, ильменит, самородный никель, железистая слюда, а также минералы РЗЭ, среди которых оксиды и фосфаты церия. Обнаружено зерно алюминий-цериевого состава с эмпирической формулой – $\text{CeAl}(\text{O})$ (рис. 3). При расчете формулы из состава зерна исключались матричные элементы (С, О, N и S).

Для подтверждения природного происхождения РЗЭ частиц на поверхности кутикулы и исключения загрязнения при пробоподготовке были изучены несколько препаратов (по 5–6 волос на каждом), в которых также были обнаружены РЗЭ-фазы. При этом отдельные частицы оксида церия были перекрыты чешуйками и пленкой грязи, а некоторые микрочастицы находились внутри волосистой кутикулы в виде включений (рис. 3). Данные факты позволяют исключить загрязнение препарата при пробоподготовке.

Внутри волос кабана сравнительно чистый. В центре наблюдается высохшая сердцевина (~100 мкм); широкий слой коркового вещества (~120 мкм), имеющий волокнистую структуру; слой кутикулы тонкий, мощностью 3–5 мкм (рис. 2).

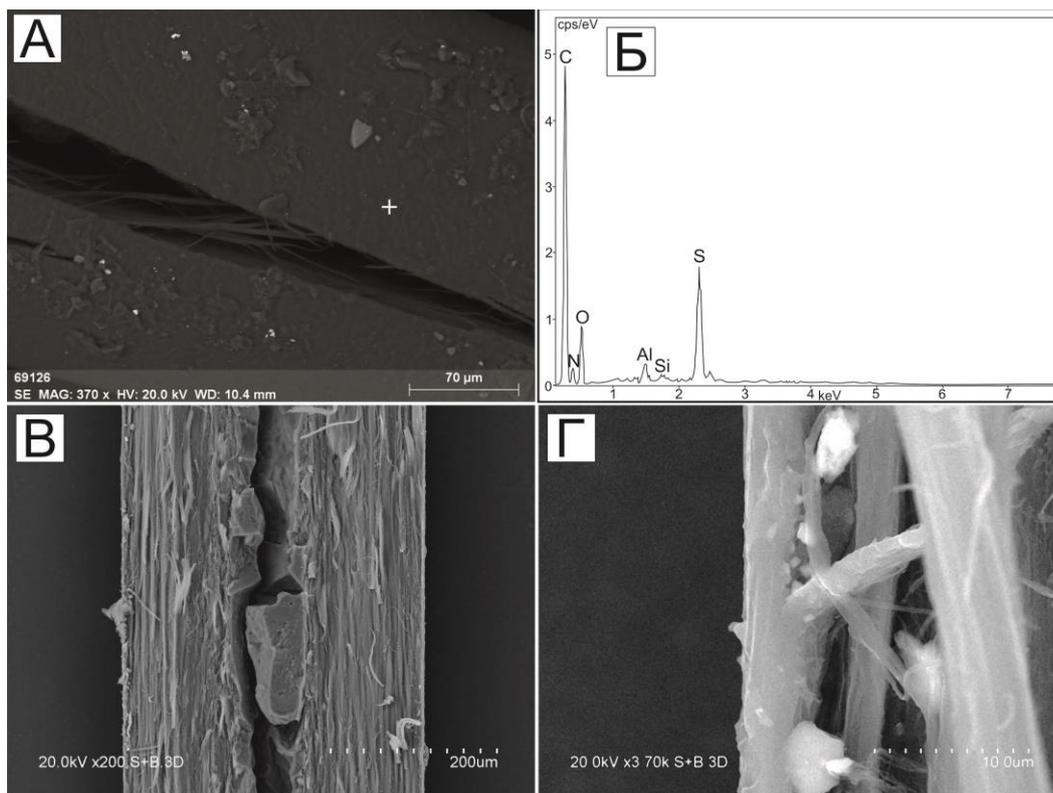


Рис. 2. Снимок в обратно-рассеянных электронах (А) и энергодисперсионный спектр (Б) волоса дикого кабана *Sus scrofa*; шерсть кабана в продольном срезе (В) и минерализация кутикулы (Г)

Fig. 2. Back-scattered electron image (A) and energy-dispersive spectrum (Б) of wild boar *Sus scrofa* hair; wild boar hair in a longitudinal section (B) and cuticle mineralization (Г)

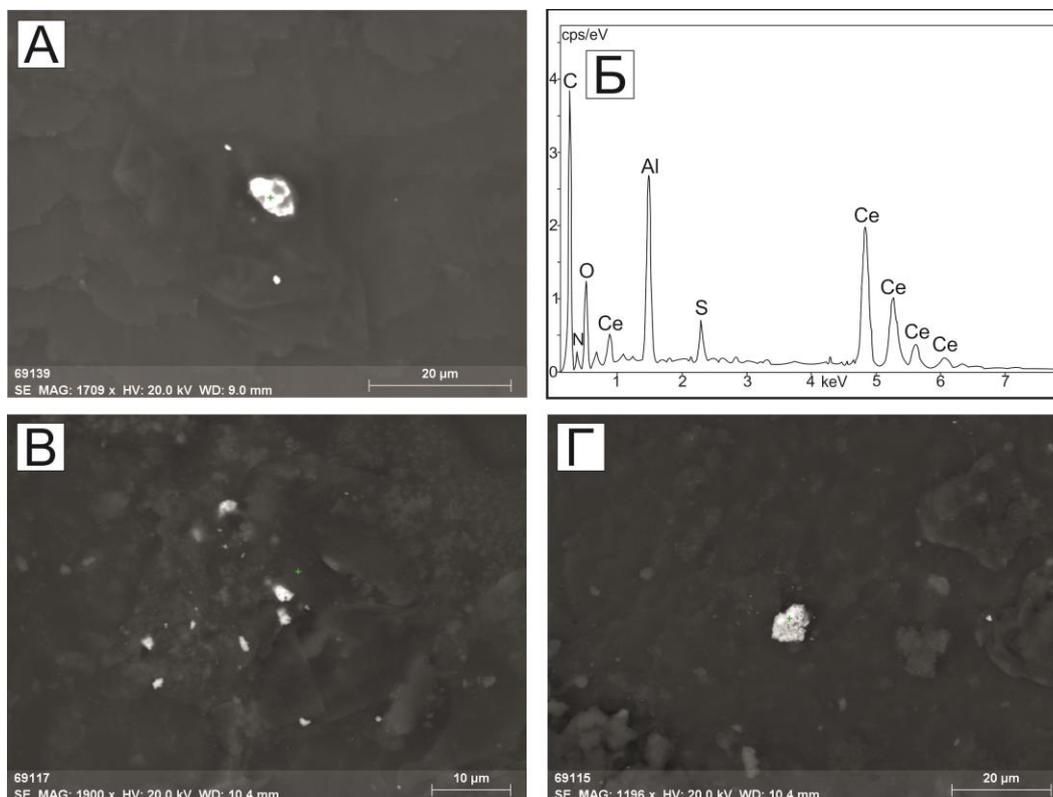


Рис. 3. Снимок в обратно-рассеянных электронах (А) и энергодисперсионный спектр (Б) Ce-Al-O зерна в кутикуле волоса дикого кабана *Sus scrofa*; оксиды церия в кутикуле дикого кабана *Sus scrofa* (В, Г)

Fig. 3. Back-scattered electron image (A) and energy-dispersive spectrum (Б) of Ce-Al-O grain in wild boar *Sus scrofa* hair cuticle; cerium oxides in wild boar hair cuticle (B, Г)

Основными элементами сердцевинки волоса являются все те же С, S, N и O. Встречаются также включения кальциевых фаз. Их морфология указывает на то, что минералы образовались на месте, при высыхании мозгового вещества. В корковом веществе минеральные фазы довольно редки, обнаружены: кальцит, кварц, каолинит, оксид церия. В срезе кутикулы наблюдается большой спектр минералов: кальцит, кварц, сильвин, Si-Al-S-Na-O, плагиоклаз, каолинит, силикат титана.

Волос благородного оленя полый внутри (рис. 4), структура кутикулы чешуйчатая, сердцевина ячеистая/сотовая. Сердцевина занимает до 95 % стержня, корковое вещество не выявлено. Толщина кутикул составляет ~5 мкм. Чешуйки кутикулы не нарастают друг на друга, а плотно прилегают друг к другу, что снижает вероятность попадания микрочастиц между чешуйками за счет экзогенных факторов. Ячейки в центре сердцевинки имеют неправильную форму, вытянутую в

направлении периферии волоса. На периферии ячейки более структурированы, их мощность составляет ~20 мкм. Отдельные участки образца характеризуются практически отсутствующей сердцевинкой, она наблюдается только на периферии (рис. 4, з). Основные элементы в составе волоса: С, O, N и S. На поверхности препарата выявлены следующие минералы: кварц, мусковит, плагиоклаз, оксиды железа и кальцит. Частицы, как правило, не просто лежат на поверхности, а перекрываются посторонними пленками.

Большое количество микроминералов находится в отмерших кутикулах, визуально напоминающих корки, перекрывающих шерсть на некоторых участках (рис. 5). Состав их незначительно отличается от шерсти. Помимо ранее упомянутых минералов, в них обнаружены титанит и монтмориллонит. Под отмершими кутикулами наблюдается чистая шерсть, без следов загрязнения.

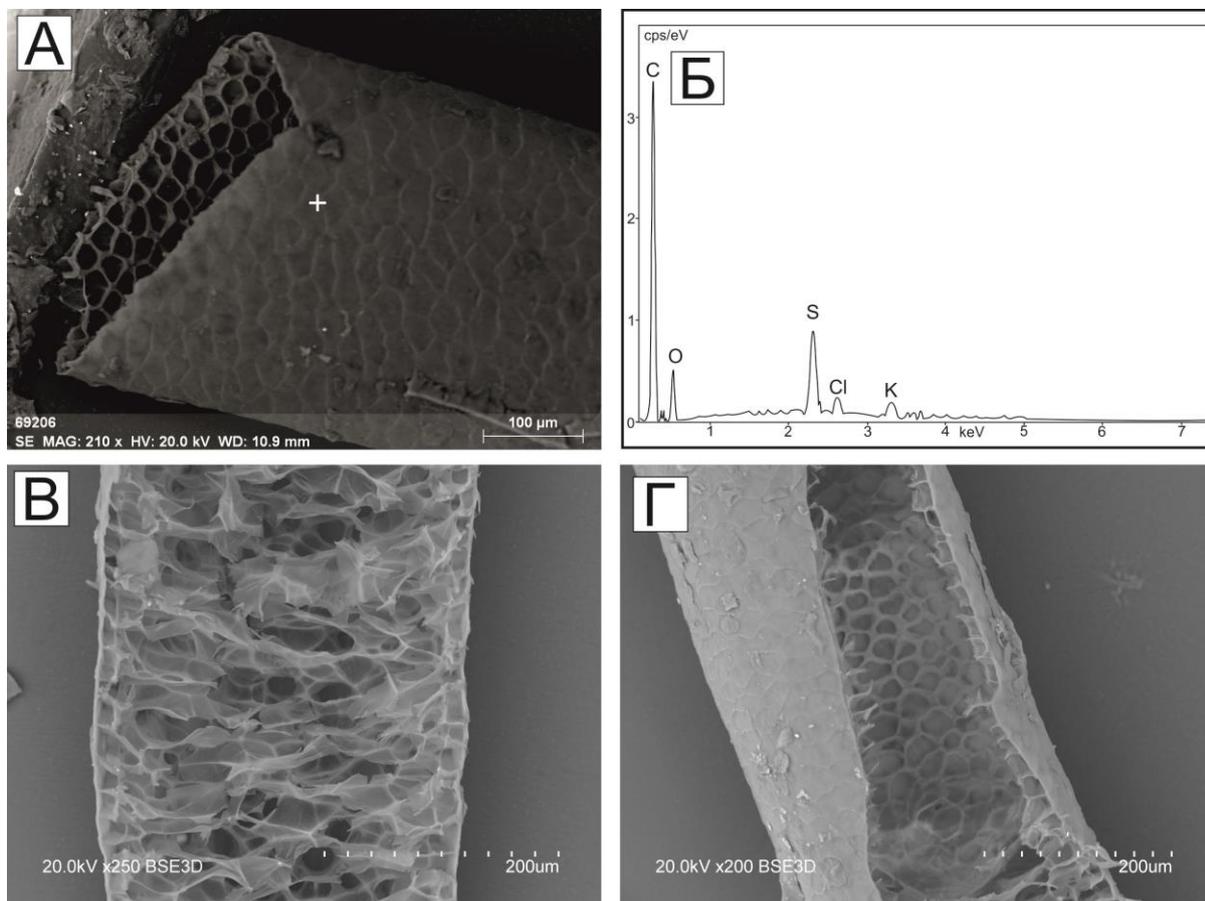


Рис. 4. Снимки в обратно-рассеянных электронах (А) и энергодисперсионный спектр (Б) волоса благородного оленя *Cervus elaphus*; В, Г – продольный срез волоса благородного оленя

Fig. 4. Back-scattered electron images (A) and the energy-dispersive spectrum (B) of red deer *Cervus elaphus* hair; В, Г – longitudinal section of a deer's hair

Внутри образца микроминеральные фазы встречаются крайне редко. В петельчато-ячеистых структурах в центре волоса выявлены кальциевые и

алюмосиликатные фазы; в сотах на периферии обнаружены металлические фазы восстановленных форм железа, никеля и меди.

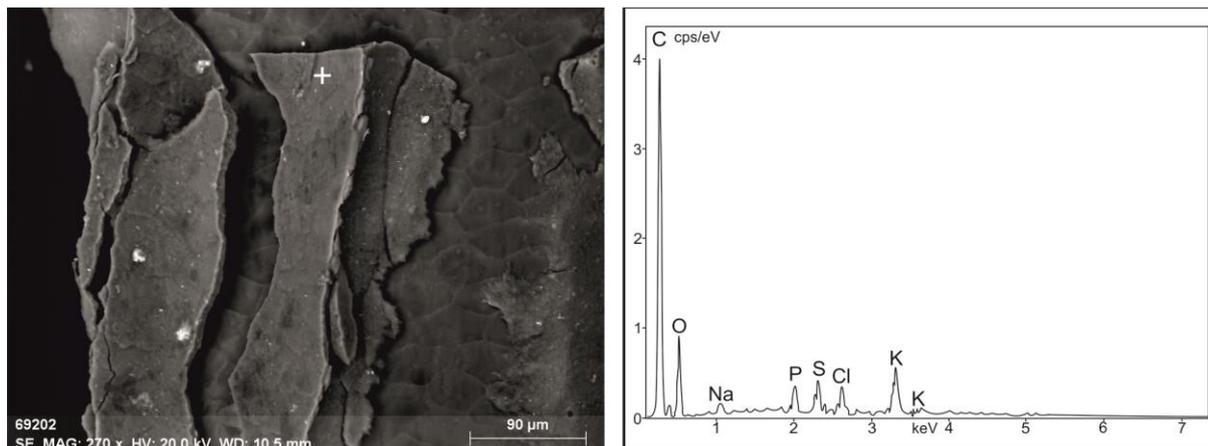


Рис. 5. Снимок в обратно-рассеянных электронах и энергодисперсионный спектр чешуек на волосе благородного оленя
Fig. 5. Back-scattered electron image and energy-dispersive spectrum of scale on red deer hair

Обсуждение результатов исследования

Строение волосяного покрова изученных животных различно. Волосяной покров оленя в значительной степени отличается от такового у кабана и свиньи. За счет своего трубчатого строения и сетчатой сердцевины волос благородного оленя не накапливает элементы эндогенным путем в таком объеме, как волос животных семейства свиных. Кутикулярные чешуйки в шерсти благородного оленя не нарастают друг на друга, а соприкасаются. Это отражается на невысокой депонирующей способности такого волоса в отношении минеральных загрязнителей за счет экзогенных факторов. Минеральные частицы просто не имеют возможности попасть между чешуйками кутикулы и задержаться там. В то же время на волосах оленя обнаружено большое количество отмерших кутикул, грязь, высохшие соки растений, смола, которые служат средой для отложения микроминералов. Все найденные в отмерших кутикулах частицы микроминералов, по всей видимости, образовались эндогенным путем, из чего следует, что обновление шерсти способствует ее периодической очистке. В петельчато-пленочных структурах сердцевины волоса благородного оленя выявлены только самородные элементы (Fe, Cu и Ni), которые, вероятно, образовались за счет эндогенных процессов и сохранились в неокисленном состоянии, находясь в герметичных ячейках.

Волос дикого кабана по толщине достигает 400 мкм, очень плотный, жесткий. Внутренняя часть волоса довольно чистая, из чего можно предположить, что изученное животное было здоровым. В противном случае дисбаланс в работе организма отразился бы на волосяном покрове. Важно отметить, что образцы шерсти отбирались в июне, в это время у самцов дикого кабана заканчивается линька и начинает расти новый волосяной покров [60]. Концентратом основных минеральных микровключений в волосяном покрове оказалась кутикула, на поверхности и внутри которой отложилось большое количество силикатов, алюмосиликатов, карбонатов и солей. Коровое вещество кутикулы довольно чистое, микро-

элементы в нём находились в гораздо меньших концентрациях, что и отразилось в низком количестве микроминеральных образований.

Обращает на себя внимание большое количество оксидов и фосфатов церия, а также соединения Ce-Al-O, обнаруженных внутри коркового вещества кутикулы, а также единственная находка зерна оксида церия размером 6 мкм. Судя по тому, что большая часть обнаруженных микроминералов находится внутри кутикулы или прорывает ее, очень похоже, что все изобилие минералов церия, найденное на поверхности стержня, может также иметь эндогенное происхождение.

Волосяной покров домашней свиньи оказался самым загрязненным из трёх изученных животных. Видимо, питание, образ жизни, особенности организма (метаболизм) и иные факторы [61] привели к тому, что в организме свиньи накопился большой избыток микроэлементов, отразившийся на состоянии волосяного покрова. Волос свиньи внутри настолько минерализованный, что трудно увидеть его строение, различить сердцевину и корковое вещество. Все обнаруженные в волосяном покрове свиньи фазы были образованы постепенно, в процессе жизни животного.

Заключение

Электронно-микроскопическое изучение поверхности и продольных срезов волос животных позволило оценить вклад эндогенных факторов в накоплении химических элементов в волосяном покрове животных.

Обнаруженные микроминеральные образования в волосяном покрове животных не являются свидетельством того, что отложенные химические элементы в живом организме находились в минеральной форме, однако это не исключается. Судя по высокой концентрации микроминералов, отложенных во внутренней части волос, рацион свиньи был перенасыщен такими элементами, как Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Ba, Sr, Cu, Pb, Zr, Y, PЗЭ. За счет факторов окружающей среды волосяной покров свиньи обогатился баритом, оксидами железа, алюмосиликатами, кварцем, рутилом, кальцитом и альбитом.

Внутренняя часть волоса дикого кабана оказалась менее обогащенной породообразующими элементами, особо следует отметить обнаружение в ней моноцериевой фазы. На поверхности кутикулы встречаются кварц, мусковит-иллит, каолинит, оксиды железа, хлорит, титанит, рутил, ильменит, никель, железо, оксиды церия, Се-Al-O фазы, фосфаты РЗЭ. Факт обнаружения моно-цериевых фаз в кутикуле волоса позволяет предполагать, что отложение этого элемента происходило эндогенным путем.

Шерсть благородного оленя внутри оказалась довольно чистой, в корковом веществе кутикулы встречаются кальциевые и алюмосиликатные минералы, а также редкие фазы самородных элементов железа, никеля и меди. На поверхности шерсти выявлены

кварц, мусковит, плагиоклаз, оксиды железа, кальцит, титанит и монтмориллонит.

Шерсть благородного оленя и дикого кабана обновляется в начале лета, из-за чего влияние как эндогенных, так и экзогенных факторов на состояние волос в полном объеме оценено не было. Однако даже за малый промежуток времени в шерсти успели накопиться элементы и отложиться микроминералы, характеризующие образ жизни млекопитающих и состояние окружающей среды.

Выявленные особенности накопления элементов в волосяном покрове животных требуют более углубленного их изучения с расширением объектов и методов исследования.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Exogenous and endogenous influences on the trace element content of hair and feathers shown at the example of molybdenum / M. Anke, B. Groppel, H. Kroneman, E. Riedel // The hair as an indicator of macro and trace element supply: Proc. of Intern. Conf. of Feed Additives. – Budapest, 1981. – V. 3. – P. 1–9.
2. Monitoring of environmental persistent organic pollutants in hair samples collected from wild terrestrial mammals of Primorsky Krai, Russia / E.I. Iatrou, V. Tsygankov, I. Seryodkin, M.N. Tzatzarakis, E. Vakonaki, E. Barbounis, A.M. Zakharenko, V.V. Chaika, A.A. Sergievich, A.M. Tsatsakis, K. Golokhvast // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – V. 26 (8). – P. 7640–7650.
3. Nishiyama K., Nordberg G.F. Adsorption and elution of cadmium on hair // Arch Environ Health. – 1972. – V. 25. – P. 92–96.
4. Nordberg G.F., Nishiyama K. Whole-body and hair retention of cadmium in mice including an autoradiographic study on organ distribution // Arch Environ Health. – 1972. – V. 24. – P. 209–214.
5. Rabinowitz M., Wetherill G., Kopple J. Lead metabolism in the normal man: Stable isotope studies // Science (Wash. D.C.). – 1973. – V. 182. – P. 725–727.
6. Rabinowitz M., Wetherill J., Kopple J. Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans // J Clin Invest. – 1976. – V. 58. – P. 260–270.
7. Rabinowitz M.B. Toxicokinetics of bone lead // Environmental health perspectives. – 1991. – V. 91. – P. 33–37.
8. Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury / R.W. Phelps, T.W. Clarkson, T.G. Kershaw, B. Wheatley // Arch Environ Health. – 1980. – V. 35. – P. 161–168.
9. Kollmer W.E. Arsenic in induced hair of the rat and its relation to the content in various organs during chronic exposure // J Trace Elem Electrolytes Health Dis. – 1992. – V. 6. – P. 11–14.
10. Trace elements in human hair: an international comparison / Y. Takagi, S. Matsuda, S. Imai, Y. Ohmori, T. Masuda, J.A. Vinson, M.C. Mehra, B.K. Puri, A. Kaniewski // Bull Environ Contam Toxicol. – 1986. – V. 36. – P. 793–800.
11. Brown A.C., Crouse R.G. Hair, trace elements, and human illness. – New York: Praeger, 1980. – 350 p.
12. Ryabukhin Yu.S. Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants. – Vienna: IAEA, 1978. – 134 p.
13. Kist A.A., Zhuk L.I. Human hair composition and the problems of global ecology. – Tashkent, USSR: Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991. – 60 p.
14. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных / отв. ред. В.Т. Самохин. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
15. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафионов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов / отв. ред. Т.И. Моисеенко. – М.: РАН, 2018. – 386 с.
16. Влияние техногенеза на формирование элементного состава волос детского населения / Д.В. Наркович, Н.В. Барановская, Е.В. Коваль, Н.П. Корогод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 8. – С. 116–128.
17. Очерки геохимии человека = The human geochemistry essays: монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова, Д.В. Наркович, О.А. Денисова. – Томск: Дельтаплан, 2015. – 377 с.
18. Экологические и биомониторинговые исследования руги в Крымском регионе / Е.В. Евстафьева, Н.В. Барановская, С.Л. Тымченко, А.М. Богданова, Г.П. Нараев, Н.А. Сологуб, Д.В. Наркович // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 3. – С. 96–106.
19. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области / Н.В. Барановская, Е.В. Агеева, Б.Р. Соктоев, Д.В. Наркович, О.А. Денисова, Т.В. Матковская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 17–28.
20. Индикаторные показатели состояния экосистем в элементном составе волос жителей районов Северного Казахстана / Г.Е. Байкенова, Н.В. Барановская, А.А. Какабаев, Р.И. Берсимбаев, Н.П. Корогод, Д.В. Наркович, В.В. Куровская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 7. – С. 148–158.
21. Hair mineral and trace element content in children with Down's syndrome / A.R. Grabeklis, A.V. Skalny, A.A. Skalnaya, I.V. Zhegalova, S.V. Notova, A.L. Mazaletskaya, M.G. Skalnaya, A.A. Tinkov // Biol Trace Elem Res. – 2019. – V. 188. – P. 230–238.
22. The impact of maternal overweight on hair essential trace element and mineral content in pregnant women and their children / A.V. Skalny, A.A. Tinkov, T.G. Bohan, M.B. Shabalovskaya, O. Terekhina, S.B. Leshchinskaya, L.A. Agarkova, S.V. Notova, M.G. Skalnaya, Y. Kovas // Biol Trace Elem Res. – 2020. – V. 193. – P. 64–72.
23. Trace element biomonitoring in hair and blood of occupationally unexposed population residing in polluted areas of East Kazakhstan and Pavlodar regions / Y. Semenova, Y. Zhunussov, L. Pivina, A. Abisheva, A. Tinkov, T. Belikhina, A. Skalny, M. Zhanaspayev, T. Bulegenov, N. Glushkova, A. Lipikhina, M. Dauletyarova, T. Zhunussova, G. Bjorklund // J Trace Elem Med Biol. – 2019. – V. 56. – P. 31–37.
24. Geographic variation of environmental, food, and human hair selenium content in an industrial region of Russia / A.V. Skalny, T.I. Burtseva, E.V. Salnikova, O.P. Ajsuvakova // Environ. Res. – 2019. – V. 171. – P. 293–301.
25. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein breed / S.A. Miroshnikov, A.V. Skalny, O.A. Zavyalov, A.N. Frolov, A.R. Grabeklis // Biol Trace Elem Res. – 2020. – V. 194. – P. 145–151.
26. Hair trace element concentrations in autism spectrum disorder (ASD) and attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) / A.V. Skalny, A.L. Mazaletskaya, O.P. Ajsuvakova, G. Bjorklund, M.G. Skalnaya, S.V. Notova, L.N. Chernova, A.A. Skalny, T.I. Burtseva, A.A. Tinkov // J. Trace Elem. Med. Biol. – 2020. – V. 61. – Article 126539.
27. Selenium, zinc, chromium, and vanadium levels in serum, hair, and urine samples of obese adults assessed by inductively coupled

- plasma mass spectrometry / A.A. Tinkov, M.G. Skalnaya, O.P. Ajsuvakova, E.P. Serebryansky, J.C. Chao, M. Aschner, A.V. Skalny // *Biol Trace Elem Res.* – 2021. – V. 199. – P. 490–499.
28. Filon J., Ustymowicz-Farbiszewska J., Krajewska-Kulak E. Analysis of lead, arsenic and calcium content in the hair of children with autism spectrum disorder // *BMC Public Health.* – 2020. – 20:383.
29. Hair levels of heavy metals and essential elements in Chinese children with autism spectrum disorder / Q. Zhou, D. Huang, C. Xu, J. Wang, Y. Jin // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* – 2021. – V. 66. – 126748.
30. Metal toxicity and trace element deficiency in some wild animal species from north-east India, as revealed by cellular, bioinorganic and behavioural studies / S. Dey, R. Stafford, M.K.D. Roy, C.R. Bhattacharjee, D.T. Khathing, P.C. Bhattacharjee, P.S. Dkhar // *Current Science.* – 1999. – V. 77. – P. 276–280.
31. The application of wool as a biosubstrate to assess the impact of various strontium levels on the biological characteristics and productive qualities of dairy cattle under conditions of increased technogenic load / O.A. Zavyalov, S.A. Miroshnikov, A.N. Frolov, M.Ya. Kurilkina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – Omsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – V. 624. – P. 012188.
32. Oropesa A.L., Ramos A., Gómez L.J. Toxic and essential metal levels in the hair of red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*) for monitoring the contamination in protected areas of South-Western Spain // *Environ Sci Pollut Res.* – 2022. – V. 29. – P. 27430–27442.
33. White Monkey syndrome and presumptive copper deficiency in Wild Savannah Baboons / A.C. Markham, L.R. Gesquiere, J.-P. Bellenger, S.C. Alberts, J. Altmann // *Am. J. Primatol.* – 2011. – V. 73. – P. 1160–1168.
34. In situ fiducial markers for 3D correlative cryo-fluorescence and FIB-SEM imaging / N. Scher, K. Rechav, P. Paul-Gilloteaux, O. Avinoam // *iScience.* – 2021. – V. 24. – 102714.
35. Microscopic visualization of cell-cell adhesion complexes at micro and nanoscale / B. Vanslebrouck, J. Chen, C. Larabell, J. Hengel // *Front. Cell Dev. Biol.* – 2022. – V. 10. – 819534.
36. Stability of erythrocyte-derived nanovesicles assessed by light scattering and electron microscopy / D. Božič, M. Hočvar, M. Kisovec, M. Pajnič, L. Pađen, M. Jeran, A.B. Zavec, M. Podobnik, K. Kogej, A. Igljič, V. Kralj-Igljič // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – V. 22. – 12772.
37. Cytotoxicity of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf fractions, essential oil, citral, and geraniol in human leukocytes and erythrocytes / A.C. Mendes Hacke, F.D. Silva, D. Lima, J.C.R. Velloso, J.B.T. Rocha, J.A. Marques, R.P. Pereira // *Journal of Ethnopharmacology.* – 2022. – V. 291. – 115147.
38. Evaluation of enamel loss by scanning electron microscopy after debonding brackets place with four different adhesives / J. Rodríguez Chávez, J. Arenas-Alatorre, H. Flores-Ruiz, A. Flores-Ledesma, F. Aguilar-Perez // *Microscopy Research and Technique.* – 2021. – V. 84. – P. 912–920.
39. Chitosan–Agarose polysaccharide-based hydrogel for biomimetic remineralization of dental enamel / V. Musat, E.M. Anghel, A. Zaharia, I. Atkinson, O.C. Mocioiu, M. Busila, P. A. Alexandru // *Biomolecules.* – 2021. – V. 11. – 1137.
40. Nano-structured hydroxyapatite and titanium dioxide enriching PENTA/UDMA adhesive as aesthetic coating for tooth enamel / A. Nevarez-Rascón, A. Hurtado-Macias, H.E. Esparza-Ponce, M.M. Nevarez-Rascón, J. González-Hernández, M.J. Yacamán // *Dent. Mater.* – 2021. – V. 37. – P. 290–299.
41. Molecular reorganization during the formation of the human skin barrier studied in situ / A. Narangifard, C.L. Wennberg, L. Hollander, I. Iwai, H. Han, M. Lundborg, S. Masich, E. Lindahl, B. Daneholt, L. Norlén // *J Invest Dermatol.* – 2021. – V. 141. – P. 1243–1253.
42. Sharova A.A., Chekmareva I.A., Agapova M.A. Effect of platelet-rich plasma on skin quality in patients with involution of the neck area // *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine.* – 2022. – V. 1. – P. 56–67.
43. The anticancer effect of extract of medicinal mushroom *Sanguangproun vaninii* against human cervical cancer cell via endoplasmic reticulum stress-mitochondrial apoptotic pathway / P.-Y. He, Y.-H. Hou, Y. Yang, N. Li // *Journal of Ethnopharmacology.* – 2021. – V. 279. – 114345.
44. Accumulation of sulfur and phosphorus in the eye's drainage system in primary open-angle glaucoma / M.V. Kravchik, I.A. Novikov, A.M. Subbot, A.A. Antonov, S.Yu. Petrov, N.A. Pakhomova // *Vestnik Oftalmologii.* – 2020. – V. 136. – P. 5–14.
45. Yavuzer K., Akinay Y. Microstructure and chemical analysis in Pseudoexfoliation syndrome // *Current Eye Research.* – 2020. – V. 46. – P. 490–495.
46. Expression pattern of seminal plasma extracellular vesicle small RNAs in boar semen / Z. Xu, Y. Xie, C. Zhou, Q. Hu, T. Gu, J. Yang, E. Zheng, S. Huang, Z. Xu, G. Cai, D. Liu, Z. Wu, L. Hong // *Front. Vet. Sci.* – 2020. – V. 7. – 585276.
47. Antimicrobial activity of silver-carbon nanoparticles on the bacterial flora of bull semen / M.S. Yousef, H.N. Abdelhamid, M. Hidalgo, R. Fathy, L. Gómez-Gascón, J. Dorado // *Theriogenology.* – 2021. – V. 161. – P. 219–227.
48. Banaszewska D., Andrasz K. Assessment of the morphometry of heads of normal sperm and sperm with the dag defect in the semen of duroc boars // *Journal of Veterinary Research.* – 2021. – V. 65. – P. 239–244.
49. Impact of lighting regimes on reproductive performance and sperm ultrastructure in rabbit bucks under very severe heat stress conditions / S.F. Fouda, A.A. El-Raghi, A.-K.E. Abdel-Khalek, M.A. Hassan, I.T. El-Ratel // *Livestock Science.* – 2022. – V. 255. – 104780.
50. Hormones and hair growth: variations in androgen receptor content of dermal papilla cells cultured from human and red deer (*Cervus elaphus*) hair follicles / V.A. Randall, M.J. Thornton, A.G. Messenger, N.A. Hibberts, A.S. Loudon, B.R. Brinklow // *J Invest Dermatol.* – 1993. – V. 101. – P. 114–120.
51. Рожнов В.В., Чернова О.Ф., Перфилова Т.В. Видовая диагностика оленей – пищевых объектов амурского тигра (по микроструктуре остевых волос из экскрементов хищника). – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 47 с.
52. Особенности структуры оленьей шерсти как текстильного сырья / А.В. Чешкова, П.Н. Рудовский, М.В. Киселев, С.В. Смирнова, В.В. Жариков // *Технология текстильной промышленности* – 2014. – № 3. – С. 58–62.
53. Кудуры Солонцовского палеовулкана в бассейне реки Таежная, Восточный Сихотэ-Алинь / А.М. Паничев, В.К. Попов, И.Ю. Чекрызов, К.С. Голохваст, И.В. Середкин // *Achievements in the life sciences.* – 2012. – № 5. – С. 7–28.
54. Results of geological and geochemical investigations of Kaplanov kudurs in Sikhote-Alin, Russian Far East / A.M. Panichev, I.V. Seryodkin, O.Yu. Zaumyslova, E.A. Wach, T.A. Stolyarova, A.A. Sergievich, V.K. Popov, I.Yu. Chekryzhov, M.G. Blokhin, P.P. Khoroshikh // *Arabian J. Geosciences.* – 2018. – 11:493.
55. Rare earth elements upon assessment of reasons of the geophagy in Sikhote-Alin region (Russian Federation), Africa and other world regions / A.M. Panichev, V.K. Popov, I.Yu. Chekryzhov, I.V. Seryodkin, T.A. Stolyarova, S.V. Zakusin, A.A. Sergievich, P.P. Khoroshikh // *Environ. Geochem. Health.* – 2016. – V. 38. – P. 1255–1270.
56. Geological nature of mineral licks and the reasons for geophagy among animals / A.M. Panichev, V.K. Popov, I.Yu. Chekryzhov, I.V. Seryodkin, A.A. Sergievich, K.S. Golokhvast // *Biogeosciences.* – 2017. – V. 14. – P. 2767–2779.
57. Редкоземельные элементы как причинный фактор геофагии среди растительноядных животных / А.М. Паничев, Н.В. Барановская, И.Ю. Чекрызов, И.В. Середкин, Е.А. Вах, А.И. Белянская // *Доклад российской академии наук. Науки о Земле.* – 2021. – Т. 499. – № 1. – С. 82–86.
58. Mindat.org. 1993. Mineralogy Database. Available at: <https://www.mindat.org> (accessed 12 December 2022).
59. Mineralogy Database. 1997. Mineral Website. Available at: <https://webmineral.com/> (accessed 12 December 2022).
60. Козло П.Г. Дикий кабан. – Минск: Ураджай, 1975. – 223 с.
61. Combs D.K., Goodrich R.D., Meiske J.C. Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: a review // *J Anim Sci.* – 1982. – V. 54. – P. 391–398.

Поступила: 13.12.2022 г.
Дата рецензирования: 07.01.2023 г.

Информация об авторах

Ильенок С.С., кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Барановская Н.В., доктор биологических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Паничев А.М., доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Серёдкин И.В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и охраны животных Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Беляновская А.И., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского государственного университета.

Чекрыжов И.Ю., научный сотрудник лаборатории геохимии Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Макаревич Р.А., научный сотрудник лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Соктоев Б.Р., кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 550.42:639.11-037.31/34

THE FIRST DATA ON MICROMINERAL MODES OF ELEMENTS IN THE HAIR OF MAMMALS IN PRIMORSKY KRAI

Sergey S. Ilenok¹,
ilenokss@tpu.ru

Natalya V. Baranovskaya¹,
nata@tpu.ru

Alexander M. Panichev²,
sikhote@mail.ru

Ivan V. Seryodkin²,
seryodkinivan@inbox.ru

Aleksandra I. Belyanovskaya³,
alexandra.belyanovskaya@outlook.com

Igor Yu. Chekryzhov⁴,
chekr2004@mail.ru

Raisa A. Makarevich²,
mak@tigdvo.ru

Bulat R. Soktoev¹,
bulatsoktoev@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
7, Radio street, Vladivostok, 690041, Russia.

³ Tyumen State University,
6, Volodarsky street, Tyumen, 625003, Russia.

⁴ Far East Geological Institute Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch,
159, Stoletiy Vladivostoka avenue, Vladivostok, 690022, Russia.

The relevance of the work lies in the need to comprehend the variability of the chemical composition of mammalian organisms depending on the geological and geochemical environmental factors in their habitats under normal functioning conditions and in the presence of pathological processes. The performed studies bring new knowledge to understanding migration of a wide range of chemical elements from rocks into living organisms. As part of the implementation of the RSF grant the authors have studied the hair cover of red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*), caught in the Terney district of Primorsky Krai, on the territory adjacent to the Sikhote-Alin State Biosphere Reserve; as well as the domestic pig (*Sus scrofa domesticus*) from a private farmstead in the village of Terney. In some areas of the reserve, the phenomenon of geophagy among wild ungulates is developed which results in the formation of characteristic landscape complexes – kudur. In recent years, rare earth elements are increasingly considered as the cause of geophagy: moreover, both their deficiency in the body and their excess are possible. As a consequence, animals may need to either replenish of rare earth elements or get rid of them. Rare earth elements sources for animals can be water, fodder vegetation, and weathered rocks of the crusts (in Sikhote-Alin, these are mainly rhyolites, their tuffs, and tuffites). Chemical elements, including rare earth elements, upon entering the body of mammals, can be accumulated in body tissues, including hair. That is why the study of the composition of micromineral inclusions in animal hair is of interest.

Aim of the research is to search and determine microminerals in the hairline of animals from the territory of the Termeisky district of Primorsky Krai; to identify the localization sites of microminerals.

Methods. Animal hair samples were studied using a Hitachi S-3400N scanning electron microscope with a Bruker X@Flash 5010 energy-dispersive spectrometer. The results were interpreted using modern Internet databases of minerals.

Results. Electron microscopic studies have shown that the hairline of a domestic pig contains aluminosilicates of complex composition, copper and iron oxides, ilmenite, quartz, galena, muscovite, calcite, potassium feldspar, albite, barite, zircon, pyroxene, apatite, rare earth phosphates. In red deer hair: quartz, muscovite, plagioclase, iron oxides, calcite, titanite, and montmorillonite were found. Quartz, plagioclase, muscovite-illite, kaolinite, titanium silicate, calcite, iron oxides, chlorite, titanite, rutile, ilmenite, native nickel, sylvan, cerium oxides, Ce-Al phases, rare earth elements phosphates and complex phases Si-Al-S-Na-O were found in the wild boar hairline. At the same time, a significant part of these minerals were found in the thickness of the hair cuticle in all animals, which suggests their endogenous origin (due to the intake of chemical elements from the blood).

Conclusions. The study of the internal sections of animal hair and their surface revealed the existence of both exogenous and endogenous factors in the accumulation of elements in the form of mineral inclusions.

Key words:

microminerals, electron microscopy, wool, bristle, hair, wild boar, red deer, domestic pig, Primorsky Krai.

The research was supported by the RSF grants no. 20-67-47005 and 20-64-47021.

REFERENCES

1. Anke M., Groppe B., Kroneman H., Riedel E. Exogenous and endogenous influences on the trace element content of hair and feathers shown at the example of molybdenum. *Proc. of Intern. Conf. of Feed Additives. The hair as an indicator of macro and trace element supply.* Budapest, 1981. Vol. 3, pp. 1–9.
2. Iatrou E.I., Tsygankov V., Seryodkin I., Tzatzarakis M.N., Vakonaki E., Barbounis E., Zakharenko A.M., Chaika V.V., Sergievich A.A., Tsatsakis A.M., Golokhvast K. Monitoring of environmental persistent organic pollutants in hair samples collected from wild terrestrial mammals of Primorsky Krai, Russia. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26 (8), pp. 7640–7650.

3. Nishiyama K., Nordberg G.F. Adsorption and elution of cadmium on hair. *Arch Environ Health*, 1972, vol. 25, pp. 92–96.
4. Nordberg G.F., Nishiyama K. Whole-body and hair retention of cadmium in mice including an autoradiographic study on organ distribution. *Arch Environ Health*, 1972, vol. 24, pp. 209–214.
5. Rabinowitz M., Wetherill G., Kopple J. Lead metabolism in the normal man: stable isotope studies. *Science (Wash. D.C.)*, 1973, vol. 182, pp. 725–727.
6. Rabinowitz M., Wetherill G., Kopple J. Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. *J. Clin. Invest.*, 1976, vol. 58, pp. 260–270.
7. Rabinowitz M. Toxicokinetics of bone lead. *Environmental health perspectives*, 1991, vol. 91, pp. 33–37.
8. Phelps R.W., Clarkson T.W., Kershaw T.G., Wheatley B. Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury. *Arch Environ Health*, 1980, vol. 35, pp. 161–168.
9. Kollmer W.E. Arsenic in induced hair of the rat and its relation to the content in various organs during chronic exposure. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis.*, 1992, vol. 6, pp. 11–14.
10. Takagi Y., Matsuda S., Imai S., Ohmori Y., Masuda T., Vinson J.A., Mehra M.C., Puri B.K., Kaniewski A. Trace elements in human hair: an international comparison. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1986, vol. 36, pp. 793–800.
11. Brown A.C., Crouse R.G. *Hair, trace elements, and human illness*. New York, Praeger, 1980. 350 p.
12. Ryabukhin Yu.S. *Activation analysis of hair as an indicator of contamination of man by environmental trace element pollutants*. Vienna, IAEA, 1978. 134 p.
13. Kist A.A., Zhuk L.I. *Human hair composition and the problems of global ecology*. Tashkent, USSR, Institute of Nuclear Physics of the Uzbek Academy of Sciences, 1991. 60 p.
14. Ermakov V.V., Tyutikov S.F. *Geokhimicheskaya ekologiya zhivotnykh* [Geochemical ecology of animals]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 315 p.
15. Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safonov V.A. *Biogeokhimicheskaya indikatsiya mikroelementov* [Biogeochemical indication of microelementoses]. Moscow, RAN Publ., 2018. 386 p.
16. Narkovich D.V., Baranovskaya N.V., Koval E.V., Korogod N.P. Influence of technogenesis on forming element composition of children's hair. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 8, pp. 116–128. In Rus.
17. Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P., Ignatova T.N., Narkovich D.V., Denisova O.A. *Ocherki geokhimii cheloveka = The human geochemistry essays: monografiya* [The human geochemistry essays = The human geochemistry essays: monograph]. Tomsk, Deltaplan Publ., 2015. 377 p.
18. Evstafeva E.V., Baranovskaya N.V., Tymchenko S.L., Bogdanova A.M., Naraev G.P., Sologub N.A., Narkovich D.V. Environmental and biomonitoring mercury research in the Crimean region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 3, pp. 96–106. In Rus.
19. Baranovskaya N.V., Ageeva E.V., Soktoev B.R., Narkovich D.V., Denisova O.A., Matkovskaya T.V. Rare earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the environment on the territory of Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 2, pp. 17–28. In Rus.
20. Baykenova G.E., Baranovskaya N.V., Kakabaev A.A., Bersimbaev R.I., Korogod N.P., Narkovich D.V., Kurovskaya V.V. Indicators of the state of the ecosystems based on the hair compositions of the Northern Kazakhstan residents. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no 7, pp. 148–158. In Rus.
21. Grabeklis A.R., Skalny A.V., Skalnaya A.A., Zhegalova I.V., Notova S.V., Mazaletskaia A.L., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. Hair mineral and trace element content in children with Down's syndrome. *Biol Trace Elem Res*, 2019, vol. 188, pp. 230–238.
22. Skalny A.V., Tinkov A.A., Bohan T.G., Shabalovskaya M.B., Terekhina O., Leshchinskaya S.B., Agarkova L.A., Notova S.V., Skalnaya M.G., Kovas Y. The impact of maternal overweight on hair essential trace element and mineral content in pregnant women and their children. *Biol Trace Elem Res*, 2020, vol. 193, pp. 64–72.
23. Semenova Y., Zhunussov Y., Pivina L., Abisheva A., Tinkov A., Belikhina T., Skalny A., Zhanaspayev M., Bulegenov T., Glushkova N., Lipikhina A., Dauletyarova M., Zhunussova T., Bjørklund G. Trace element biomonitoring in hair and blood of occupationally unexposed population residing in polluted areas of East Kazakhstan and Pavlodar regions. *J Trace Elem Med Biol*, 2019, vol. 56, pp. 31–37.
24. Skalny A.V., Burtseva T.I., Salmikova E.V., Ajsuvakova O.P. Geographic variation of environmental, food, and human hair selenium content in an industrial region of Russia. *Environ. Res.*, 2019, vol. 171, pp. 293–301.
25. Miroshnikov S.A., Skalny A.V., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Grabeklis A.R. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein breed. *Biol Trace Elem Res.*, 2020, vol. 194, pp. 145–151.
26. Skalny A.V., Mazaletskaia A.L., Ajsuvakova O.P., Bjørklund G., Skalnaya M.G., Notova S.V., Chernova L.N., Skalny A.A., Burtseva T.I., Tinkov A.A. Hair trace element concentrations in autism spectrum disorder (ASD) and attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 2020, vol. 61, Article 126539.
27. Tinkov A.A., Skalnaya M.G., Ajsuvakova O.P., Serebryansky E.P., Chao J.C., Aschner M., Skalny A.V. Selenium, zinc, chromium, and vanadium levels in serum, hair, and urine samples of obese adults assessed by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Biol Trace Elem Res.*, 2021, vol. 199, pp. 490–499.
28. Filon J., Ustymowicz-Farbiszewska J., Krajewska-Kulak E. Analysis of lead, arsenic and calcium content in the hair of children with autism spectrum disorder. *BMC Public Health*, 2020, 20:383.
29. Zhou Q., Huang D., Xu C., Wang J., Jin Y. Hair levels of heavy metals and essential elements in Chinese children with autism spectrum disorder. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2021, vol. 66, 126748.
30. Dey S., Stafford R., Roy M.K.D., Bhattacharjee C.R., Khathing D.T., Bhattacharjee P.C., Dkhar P.S. Metal toxicity and trace element deficiency in some wild animal species from north-east India, as revealed by cellular, bio-inorganic and behavioural studies. *Current Science*, 1999, vol. 77, pp. 276–280.
31. Zavyalov O.A., Miroshnikov S.A., Frolov A.N., Kurilina M.Ya. The application of wool as a biosubstrate to assess the impact of various strontium levels on the biological characteristics and productive qualities of dairy cattle under conditions of increased technogenic load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Omsk, IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 624, pp. 012188.
32. Oropesa A.L., Ramos A., Gómez L.J. Toxic and essential metal levels in the hair of red deer (*Cervus elaphus*) and wild boar (*Sus scrofa*) for monitoring the contamination in protected areas of South-Western Spain. *Environ Sci Pollut Res.*, 2022, vol. 29, pp. 27430–27442.
33. Markham A.C., Gesquiere L.R., Bellenger J.-P., Alberts S.C., Altmann J. White Monkey syndrome and presumptive copper deficiency in Wild Savannah Baboons. *Am. J. Primatol.*, 2011, vol. 73, pp. 1160–1168.
34. Scher N., Rechav K., Paul-Gilloteaux P., Avinoam O. In situ fiducial markers for 3D correlative cryo-fluorescence and FIB-SEM imaging. *iScience*, 2021, vol. 24, pp. 102714.
35. Vanslebrouck B., Chen J., Larabell C., Hengel J. Microscopic visualization of cell-cell adhesion complexes at micro and nanoscale. *Front. Cell Dev. Biol.*, 2022, vol. 10, pp. 819534.
36. Božič D., Hočevar M., Kisovec M., Pajnič M., Pađen L., Jeran M., Zavec A.B., Podobnik M., Kogej K., Igljič A., Kralj-Igljič V. Stability of erythrocyte-derived nanovesicles assessed by light scattering and electron microscopy. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, pp. 12772.
37. Mendes Hacke A.C., Silva F.D., Lima D., Velloso J.C.R., Rocha J.B.T., Marques J.A., Pereira R.P. Cytotoxicity of Cymbopogon citratus (DC) Stapf fractions, essential oil, citral, and geraniol in human leukocytes and erythrocytes. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, vol. 291, pp. 115147.
38. Rodríguez Chávez J., Arenas-Alatorre J., Flores-Ruiz H., Flores-Ledesma A., Aguilar-Perez F. Evaluation of enamel loss by scanning electron microscopy after debonding brackets place with four different adhesives. *Microscopy Research and Technique*, 2021, vol. 84, pp. 912–920.
39. Musat V., Anghel E.M., Zaharia A., Atkinson I., Mocioiu O.C., Busila M., Alexandru P.A. Chitosan–agarose polysaccharide-based hydrogel for biomimetic remineralization of dental enamel. *Biomolecules*, 2021, vol. 11, 1137.

40. Nevarez-Rascón A., Hurtado-Macías A., Esparza-Ponce H.E., Nevarez-Rascón M.M., González-Hernández J., Yacamán M.J. Nanostructured hydroxyapatite and titanium dioxide enriching PENTA/UDMA adhesive as aesthetic coating for tooth enamel. *Dent. Mater.*, 2021, vol. 37, pp. 290–299.
41. Narangifard A., Wennberg C.L., Hollander L., Iwai I., Han H., Lundborg M., Masich S., Lindahl E., Daneholt B., Norlén L. Molecular reorganization during the formation of the human skin barrier studied in situ. *J Invest Dermatol*, 2021, vol. 141, pp. 1243–1253.
42. Sharova A.A., Chekmareva I.A., Agapova M.A. Effect of platelet-rich plasma on skin quality in patients with involution of the neck area. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*, 2022, vol. 1, pp. 56–67.
43. He P.-Y., Hou Y.-H., Yang Y., Li N. The anticancer effect of extract of medicinal mushroom *Sanguangprou* vaninii against human cervical cancer cell via endoplasmic reticulum stress-mitochondrial apoptotic pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 279, pp. 114345.
44. Kravchik M.V., Novikov I.A., Subbot A.M., Antonov A.A., Petrov S.Yu., Pakhomova N.A. Accumulation of sulfur and phosphorus in the eye's drainage system in primary open-angle glaucoma. *Vestnik Oftalmologii*, 2020, vol. 136, pp. 5–14.
45. Yavuzer K., Akinay Y. Microstructure and chemical analysis in Pseudoexfoliation syndrome. *Current Eye Research*, 2020, vol. 46, pp. 490–495.
46. Xu Z., Xie Y., Zhou C., Hu Q., Gu T., Yang J., Zheng E., Huang S., Xu Z., Cai G., Liu D., Wu Z., Hong L. Expression pattern of seminal plasma extracellular vesicle small RNAs in boar semen. *Front. Vet. Sci.*, 2020, vol. 7, pp. 585276.
47. Yousef M.S., Abdelhamid H.N., Hidalgo M., Fathy R., Gómez-Gascón L., Dorado J. Antimicrobial activity of silver-carbon nanoparticles on the bacterial flora of bull semen. *Theriogenology*, 2021, vol. 161, pp. 219–227.
48. Banaszewska D., Andraszek K. Assessment of the morphometry of heads of normal sperm and sperm with the dag defect in the semen of duroc boars. *Journal of Veterinary Research*, 2021, vol. 65, pp. 239–244.
49. Fouda S.F., El-Raghi A.A., Abdel-Khalek A.-K.E., Hassan M.A., El-Ratel I.T. Impact of lighting regimes on reproductive performance and sperm ultrastructure in rabbit bucks under very severe heat stress conditions. *Livestock Science*, 2022, vol. 255, pp. 104780.
50. Randall V.A., Thornton M.J., Messenger A.G., Hibberts N.A., Loudon A.S., Brinklow B.R. Hormones and hair growth: variations in androgen receptor content of dermal papilla cells cultured from human and red deer (*Cervus elaphus*) hair follicles. *J Invest Dermatol.*, 1993, vol. 101, pp. 114–120.
51. Rozhnov V.V., Chernova O.F., Perfilova T.V. *Vidovaya diagnostika oleney – pishchevykh obektov amurskogo tigra (po mikrostrukture ostevykh volos iz ekskrementov khishchnika)* [Species diagnostics of deer – food objects of the Amur tiger (according to the microstructure of guard hairs from the excrement of a predator)]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2011. 47 p.
52. Cheshkova A.V., Rudovskiy P.N., Kiselev M.V., Smirnova S.V., Zharikov V.V. Osobnosti struktury oleney shersti kak tekstilnogo syrya [Features of the structure of reindeer wool as a textile raw material]. *Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*, 2014, no. 3, pp. 58–62.
53. Panichev A.M., Popov V.K., Chekryzhov I.Yu., Golokhvast K.S., Serezhkin I.V. Kudury Solontsovskogo paleovulkana v bassejne reki Taezhnaya, Vostochny Sihote-Alin [Kudury of the Solontsovsky paleovolcano in the basin of the Taiga River, Vostochny Sihote-Alin]. *Achievements in the life sciences*, 2012, no. 5, pp. 7–28.
54. Panichev A.M., Seryodkin I.V., Zaumyslova O.Yu., Wach E.A., Stolyarova T.A., Sergievich A.A., Popov V.K., Chekryzhov I.Yu., Blokhin M.G., Khoroshikh P.P. Results of geological and geochemical investigations of Kaplanov kudurs in Sikhote-Alin, Russian Far East. *Arabian J. Geosciences*, 2018, 11:493.
55. Panichev A.M., Popov V.K., Chekryzhov I.Yu., Seryodkin I.V., Stolyarova T.A., Zakusin S.V., Sergievich A.A., Khoroshikh P. Rare earth elements upon assessment of reasons of the geophagy in Sikhote-Alin region (Russian Federation), Africa and other world regions. *Environ. Geochem. Health*, 2016, vol. 38, pp. 1255–1270.
56. Panichev A.M., Popov V.K., Chekryzhov I.Yu., Seryodkin I.V., Sergievich A.A., Golokhvast K.S. Geological nature of mineral licks and the reasons for geophagy among animals. *Biogeosciences*, 2017, vol. 14, pp. 2767–2779.
57. Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Chekryzhov I.Yu., Seryodkin I.V., Vah E.A., Belyanovskaya A.I. Rare earth elements as a causal factor of geophagy among herbivorous animals. *DOKLADY EARTH SCIENCES*, 2021, vol. 499, no. 1, pp. 82–86. In Rus.
58. *Mindat.org. 1993. Mineralogy Database.* Available at: <https://www.mindat.org> (accessed 12 December 2022).
59. *Mineralogy Database. 1997. Mineral Website.* Available at: <https://webmineral.com/> (accessed 12 December 2022).
60. Kozlo P.G. *Dikiy kaban* [A wild boar]. Minsk, Uradzhay Publ., 1975. 223 p.
61. Combs D.K., Goodrich R.D., Meiske J.C. Mineral concentrations in hair as indicators of mineral status: a review. *J Anim Sci*, 1982, vol. 54, pp. 391–398.

Received: 13 December 2022.

Reviewed: 7 January 2023.

Information about the authors

Sergey S. Ilenok, Cand. Sc., senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.

Natalya V. Baranovskaya, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Alexander M. Panichev, Dr. Sc., leading researcher, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

Ivan V. Seryodkin, Cand. Sc., leading researcher, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

Aleksandra I. Belyanovskaya, Cand. Sc., senior researcher, Tyumen State University.

Igor Yu. Chekryzhov, researcher, Far East Geological Institute Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch.

Raisa A. Makarevich, researcher, Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

Bulat R. Soktoev, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.