

## ГЕОФАГИЯ КАК СПОСОБ ВЫЖИВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫХ ЖИВОТНЫХ В ЛАНДШАФТАХ С АНОМАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. М. Паничев<sup>1</sup>, Н. В. Барановская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН  
Владивосток, Россия, sikhote@mail.ru*

<sup>2</sup>*Томский политехнический университет  
Томск, Россия, nata@tpu.ru*

## GEOPHAGY AS A MEANS OF SURVIVAL FOR HERBIVORES IN ANOMALOUS RARE-EARTH LANDSCAPES

A. M. Panichev<sup>1</sup>, N. V. Baranovskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences  
Vladivostok, Russia, sikhote@mail.ru*

<sup>2</sup>*Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia, nata@tpu.ru*

The results of studies of the natural water composition, "edible" lands, forage vegetation, and animal tissues in the Sikhote-Alin, Altai Mountains, and the Caucasus, considering the literature data on Africa and Southeast Asia indicate that instinctive form of geophagy in animals (it seems, also in humans) develops in landscapes with an anomalously high and anomalously low concentration of rare earth elements (REE), with the disrupted ratio of LREEs and HREEs. The main reason for geophagy is to regulate the concentration and ratio of REE in the organism with the natural sorbents. The animals prefer sodium-containing analogs when they choose them.

### Введение

К настоящему времени в мировой научной литературе опубликовано более тысячи статей и десятки монографий, посвященных разным аспектам геофагии как у человека, так и у разных групп животных. Геофагию изучают в большинстве крупных университетах мира, по данной тематике защищены десятки диссертаций. Несмотря на длительность времени, потраченного на исследование этого необычного феномена, главную его причину, которая позволила бы объяснить сразу все или хотя бы часть случаев этого феномена пока однозначно установить не удалось.

До настоящего времени причина геофагии в отношении растительноядных млекопитающих практически всеми исследователями определяется лишь с позиции представлений о натриевом голоде, который, как считается, испытывают животные, обитающие в натрийдефицитных ландшафтах. И это несмотря на то, что в значительной доле случаев доступного животным натрия в поедаемых минеральных веществах отмечается не больше, чем в окружающих почвах. Факты поедания животными, как и человеком, земель, вовсе не содержащих натрия, остаются вообще без внятного объяснения.

Проведенный нами в последнюю пятилетку цикл минералого-гидрогеохимических и биогеохимических исследований, а также анализ литературных данных по геофагии, опубликованных зарубежными исследователями, позволяют нам предложить универсальную гипотезу, претендующую на объясне-

ние основной причины практически всех разновидностей инстинктивных форм этого необычного пищевого поведения, характерных для растительноядных млекопитающих и для человека.

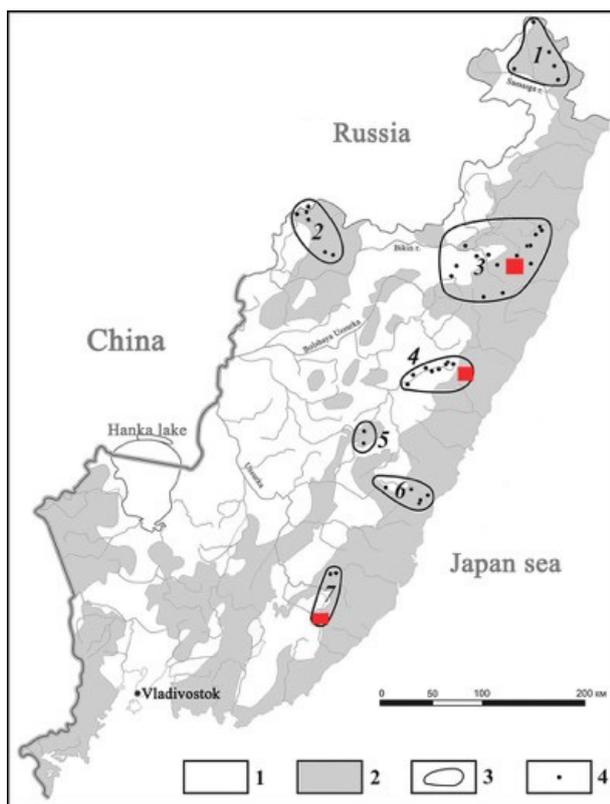
### Материалы и методы

За последнюю пятилетку нами собрано и исследовано: около 300 образцов литогенных веществ, потребляемых копытными; около 200 проб из поверхностных водотоков в районах активной гетофагии, а также из источников вод, потребляемых животными попутно с минеральными грунтами в различных регионах РФ. Пробы отбирались в Сихотэ-Алине, в Горном Алтае и на Кавказе. Собрано и изучено также более 1 тыс. проб тканей от четырех особей благородных оленей и шести диких кабанов, добытых в районах активной геофагии в Сихотэ-Алине и в Горном Алтае. Собранный материал изучался в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток), а также – в Томском политехническом университете, в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии и МИНОЦ «Урановая геология» (г. Томск). Основные методы: ионная хроматография, ИСР-спектроскопия; сканирующая электронная микроскопия; рентгенографический минералогический анализ и петрография с использованием оптического микроскопа. Состав потребляемых животными грунтов изучался также с помощью солянокислых вытяжек с рН близким к среде сычуга жвачных животных. С помощью

специальных экспериментов выполнялись исследования способности различных минералов в дисперсном состоянии к сорбированию редкоземельных элементов из солянокислого раствора (pH-2). Наконец, нами проанализирована значительная часть данных по теме геофагии, опубликованных как российскими, так и зарубежными авторами. Более детально о методиках отбора проб и методах лабораторных исследований изложено в серии наших публикаций [1, 2, 3, 4, 5, 6].

## Результаты и их обсуждение

Изложение результатов начнем с данных, полученных нами при исследовании грунтов и вод, потребляемых копытными животными в Сихотэ-Алине, в Горном Алтае и на Кавказе. Наиболее детальные исследования районов, где характерна активная геофагия, выполнены в Сихотэ-Алине. На территории Приморского края, в частности, нами выявлено 7 районов, где распространена геофагия среди диких копытных (рис. 1).



**Рис. 1.** Местоположение районов активной геофагии среди диких копытных на территории Приморского края, Россия, в том числе участки, детально изученные в 2020 г. (отмечены красным)

1 – осадочные породы; 2 – вулканы; 3 – районы геофагии; 4 – наиболее посещаемые животными минеральные источники и участки активной геофагии.

Как очевидно, все они находятся непосредственно в пределах или в приграничной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Общими петролого-минералого-геохимическими особенностями районов активной геофагии являются: наличие одновозрастных ранне-среднекайнозойских ареалов риолитового вулканизма с характерной сильно выраженной поствулканической цеолитовой минерализацией, а также их редкометалльно-редкоземельная и часто золотосеребряная рудная специализация. Все места геофагии приурочены либо к выходам кальдерных фаций стратовулканов, либо к тектоническим нарушениям среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений, в том числе в пределах впадин, нередко угленосных, образовавшихся на территориях взрывных кальдер обрушения.

Животные в таких районах поедают цеолитизированные и оглиненные (преимущественно со смектитом) туфы риолитов и риодацитов иногда с повышенным содержанием обменного натрия и пьют пресные или слабо минерализованные источниковые гидрокарбонатные (иногда с долей сульфатов) воды, некоторые из которых содержат повышенные концентрации натрия. В составе микроэлементов в потребляемых как твердых, так и жидких минеральных веществах выявлены повышенные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ). Среди элементов, извлекаемых из грунтов солянокислыми (pH-1) растворами, наиболее значимы концентрации РЗЭ легкой подгруппы и иттрия. Особо стоит отметить факт присутствия среди углей в угленосных впадинах металлоносных разновидностей. Концентрация РЗЭ в них иногда достигает ураганных содержаний (килограммы на тонну). Результаты всех этих исследований изложены в работах [1, 2, 3].

На Кавказе изученные нами «съедобные» минеральные грунты приурочены к корам выветривания метаморфических сланцев, иногда гранитоидов раннемезозойского, палеозойского, а также протерозойского возраста. В составе макрокатионов, извлекаемых кислотными вытяжками, содержания Na в них на порядок ниже, чем в Сихотэ-Алине; в составе микроэлементов наиболее значимы содержания все тех же легких лантаноидов и Y. Активно посещаемые источниковые воды, как правило, с повышенной минерализацией гидрокарбонатно-натриево-кальциевые и с повышенным содержанием РЗЭ [4, 5].

В Горном Алтае большинство исследованных нами районов с проявлениями активной геофагии среди копытных тяготеют к полям однотипных зеленосланцевых пород преимущественно раннепалеозойского возраста с выходами гранитных батолитов преимущественно среднепалеозойского возраста, отличающихся, судя по данным геологосъемочных работ, повышенными концентрациями редких и все тех же РЗЭ. Животные обычно поедают тонкодисперсные водно-ледниковые, чаще озерные, отложения четвертичного возраста. Поедаемые грунты пред-

ставлены преимущественно иллит-гидрослюдистыми глинами, суглинками и супесями с существенной долей дисперсного кварца и полевых шпатов. Все потребляемые животными в Горном Алтае литогенные вещества содержат, как правило, очень незначительные, иногда ничтожные, количества извлекаемого кислотными вытяжками натрия, в то же время РЗЭ высвобождаются в количествах существенно превосходящих таковые в вытяжках из поедаемых пород Сихотэ-Алиня. В водах немногочисленных слабоминерализованных гидрокарбонатных источников, поедаемых животными, повышены содержания Na, часто повышены концентрации РЗЭ [6].

Анализ зарубежных работ на предмет минерального и химического состава потребляемых животными и людьми грунтов возможен пока лишь на основе очень небольшого числа публикаций, в которых приводятся данные анализов с участием РЗЭ. В то же время все без исключения такие работы (их анализ представлен в работе [1]) показывают картины близкие, но еще более контрастные тем, что описаны нами выше. Так, например, в Африке в химическом составе сильно выветрелых вулканических пород, потребляемых животными на склонах г. Вирунга (давно потухший вулкан в пределах западной ветви Большого африканского рифта) валовые и извлекаемые концентрации натрия ничтожны, а содержания РЗЭ на порядки превосходят таковые в съедобных породах Сихотэ-Алиня (рис. 2).

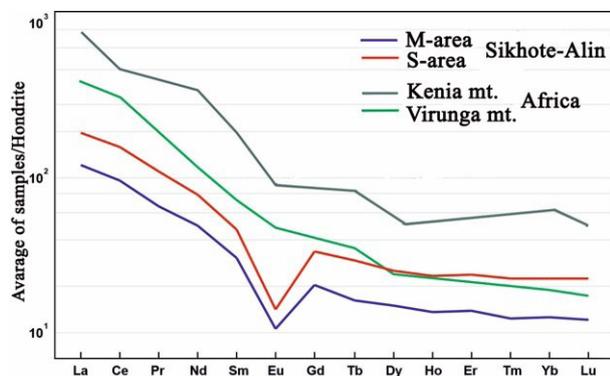


Рис. 2. Профили хондрит-нормированных средних концентраций REE в поедаемых породах Сихотэ-Алиня, в горах Вирунга [7] и на г. Кения [8]

Аналогичная картина наблюдается на склонах г. Кения (фрагмент вулкана в пределах восточной ветви Большого африканского рифта). Животные там поедают выходы красных каолиновых глин в подпочвенных горизонтах на глубинах до 1 м от поверхности, возникших в результате длительного выветривания вулканических пород. Содержания натрия в них ничтожны и также резко повышены концентрации железа, алюминия и РЗЭ, особенно из подгруппы легких [1].

Во многих районах Африки исследователями давно подмечено, что растительоядные животные стремятся иногда поедать минеральные вещества термитных построек. Сопоставление химического состава грунтов из термитников и окружающих грунтов указывает на обогащенность термитников легкими РЗЭ [1].

Далее пара примеров в отношении грунтов, потребляемых человеком. На острове Ява (Индонезия) поедаемые людьми породы представлены галлуазитом и каолинитом. Простое сравнение данных химического состава показывает необычайно высокие содержания в них легких лантаноидов [1]. Образцы почв, поглощаемые людьми, изучались также в одном из районов Конго. Породы по размерности частиц глинистые, глинисто-илистые или суглинистые. В минеральном составе преобладает каолинит. В составе породообразующих оксидов очень низки концентрации натрия и кальция, много алюминия, иногда железа. Среди микроэлементов повышены содержания легких РЗЭ [1].

Оценив результаты проведенных исследований, у нас возникло вполне закономерное предположение о том, что поедание пород как животными, так и людьми не случайно связано с высокими содержаниями в них легкорастворимых форм РЗЭ. Предпринятое нами изучение литературных данных о биологических свойствах РЗЭ [9] указывало на то, что легкие РЗЭ могут в значительной мере определять деятельность гормональной сферы организма, в частности, влиять на работу щитовидной железы и гипофиза. Получается, по сути, что они определяют устойчивость работы иммунной системы. В итоге мы сделали вывод, что избыток этой группы элементов, как и их дефицит в воде и почвах должен сильно сказываться на здоровье людей и животных.

Первые сведения о возможном существовании эндемических заболеваний, связанных напрямую с РЗЭ, появились в начале 1990-х гг. в Индии. Наличие повышенного уровня в диете церия при недостатке магния в южной части Индии были определены в качестве потенциальных экологических сомножителей в этиологии эндомикардиального фиброза Леффлера. Это заболевание наиболее распространено в тропических и субтропических районах по всему миру. Признаки хронического заболевания проявляются в виде хакексии, укороченных пальцах рук и ног, задержки роста. У большинства пациентов отмечается сердечная недостаточность, аритмии и тромбоемболии [9].

Упомянув работу, в которой усматривается связь патологий сердечной мышцы с нарушением в ней обмена церия и магния, стоит отметить также еще две работы, разбираемых нами в [6]. Одна из них показывает, что означенные патологии распространены у людей в Индии, в том числе в штате Керала, где в горных породах, почвах, а также в выращенных на таких почвах продуктах питания выявлены высо-

кие концентрации РЗЭ. Вторая работа посвящена исследованию многочисленных мест геофагии среди животных в природном парке Чиннар, на территории того же штата Керала. Из нее следует, что геофагия среди диких животных распространена в верхней части того же речного бассейна, в котором ниже по течению распространены эндеми у людей, связанные с избытком РЗЭ в монацитоносных песках. При этом дикие животные издавна потребляют землистые вещества, формируемые среди сланцевых пород сходных с теми, что потребляются животными в горном Алтае.

Летом 2020 г. при поддержке гранта от РНФ наша команда специалистов из Дальневосточного отделения РАН и Томского политехнического университета (ТПУ) провела детальные геолого-гидрогеохимические исследования в местах активной геофагии животных в Приморском крае (Россия), что позволило существенно продвинуться в проверке справедливости РЗЭ-гипотезы.

Для детальных исследований были выбраны три района из семи ранее исследованных: один в верховьях р. Милоградовка, на территории национального парка «Зов тигра», второй в окрестности г. Солонцовая на территории Сихотэ-Алинского биосферного заповедника и третий – в приводораздельной части рек Бикина и Максимовки (рис. 1).

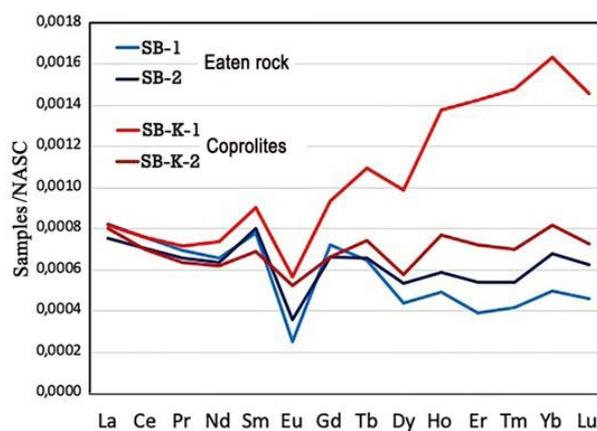
Во всех трех районах отбирались водные пробы, пробы горных пород, в том числе поедаемых животными, а также пробы кормовой растительности (в каждом районе отобрано в среднем по 40 шт каждой разновидности проб). Кроме того, в каждом районе добыто по 2 благородных оленя, от которых взяты биохимические пробы.

В подавляющем большинстве все исследованные поверхностные воды оказались ультрапресные гидрокарбонатно-натриево-кальциевые, в незначительном количестве – сульфатно-натриево-кальциевые с малой долей хлорид-ионов. Минерализация их колеблется в среднем от 20 до 100 мг/л; pH гидрокарбонатных вод – от 6,00 до 7,00, сульфатных – от 3,50 до 5,00. Средние содержания сумм РЗЭ в водах изученных районов оказались резко повышенными, превышающими средние показатели по речным водотокам Приморья и Мира в десятки и сотни раз. Особенно большой разрыв в показателях наблюдается по РЗЭ тяжелой подгруппы.

Согласно данным электронной микроскопии, во всех образцах исследованных пород обнаружены фазы РЗЭ, представленные фосфатами (монацит, рабдофан, крандаллит, ксенотим), встречаются также карбонаты (бастнезит, паризит), силикаты (ортит) и труднодиагностируемые минеральные фазы сложного состава. Кроме того, обнаружены легкорастворимые вторичные минералы РЗЭ близкие по составу рабдофану, а также вторичный бастнезит.

На высокий фон РЗЭ в ландшафтных компонентах в пределах исследованных территорий указывает также факт накопления данных элементов в растительности. Показано, что максимальные концентрации РЗЭ обнаруживаются в папоротниках (в среднем в 10–30 раз больше, чем в прочих травах). Однако в наиболее поедаемых видах трав, в лабазнике и осоках, относительно больше накапливается РЗЭ тяжелой подгруппы, особенно европия. Картина накопления европия в кормовой растительности оказалась хорошо коррелируемой с концентрированием европия в головном мозге и крови оленей, добытых в районах исследований. У оленей, которые добыты на удалении от районов исследований, пика европия в мозге не выявлено.

Сопоставление химического состава поедаемых пород и копролитов оленей показало, что породы, взаимодействуя в пищеварительном тракте с биологическими электролитами, отдают в организм существенные количества натрия (от 3 до 4 г/кг), а калий, кальций, магний и фосфор активно сорбируют. В составе микроэлементов наиболее активно сорбируются РЗЭ тяжелой подгруппы (рис. 3).



**Рис. 3.** Профили NASC-нормированных валовых содержаний REE в поедаемых глинисто-цеолитовых породах (SB-1 и SB-2) и минералогически идентичных копролитах благородного оленя (SB-K-1 и SB-K-2)

Выявленные факты, частично уже опубликованные [10], явно указывают на то, что проживание животных в условиях ландшафтных РЗЭ-аномалий создает избыточное «давление» неблагоприятного геохимического фактора на организм, что может проявляться при достижении в организме критического порога концентрации в мозге РЗЭ тяжелой подгруппы в виде специфической поведенческой реакции – геофагии. Аналогичные стресс-реакции с геофагией наблюдались в эксперименте на мышах с нарушениями минерального обмена [11].

## Заключение

Главный вывод, вытекающий из результатов выполненных исследований, тот, что причин инстинктивного потребления животными глинистых пород может быть, как минимум, две. Во-первых, это стремление получить дефицитный в большинстве природных ландшафтов Na для восстановления в организме нарушенного электролитного баланса. Здесь пока можно отметить, что многие натрийсодержащие минеральные источники и все искусственные солонцы посещаются животными именно по этой

причине. Вторая причина (нам она представляется наиболее распространенной, причем в равной мере имеющей отношение как к животным, так и к человеку) обусловлена стремлением растительноядных организмов, обитающих в ландшафтах с аномально низкими или аномально высокими концентрациями REE, или с сильно искаженным соотношением между LREE и HREE, восстановить нарушенный их баланс в организме.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-67-47005 и 20-64-47021.

## Литература

1. Panichev A. M., Popov V. K., Chekryzhov I. Yu., Seryodkin I. V., Stolyarova T. A., Zakusin S. V., Sergievich A. A., Khoroshikh P. 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. – P.1255–1270. DOI 10.1007/s10653-015-9788-7.
2. Panichev A. M., Popov, 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. – P. 2767–2779. <https://doi.org/10.5194/bg-14-2767-2017>.
3. 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. – Vol. 11. – Is.17. – P. 493. DOI: 10.1007/s12517-018-3820-z 4.
4. Panichev A. M., Chekryzhov I. Yu., Stolyarova T. A., Mitina E. I., Trepets S. A., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P. Results of mineralogical–geochemical researches of two high-mountain kudurs within territory of Caucasus // *Environ. Earth. Sci.*, 2017. – Vol. 76. – P. 749. DOI 10.1007/s12665-017-7012
5. Panichev A. M., Trepets S. A., Chekryzhov I. Yu. et al. A study of kudurs used by wild animals located on the water sources high in REE content in the Caucasus Nature Reserve // *Environ Geochem Health*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00670-8>.
6. Panichev A. M., Seryodkin I. V., Kalinkin Y. N., Makarevich R. A., Stolyarova T. A., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P. Development of the «rare-earth» hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye Lake are kudurs (Gorny Altai, Russia) // *Environ. Geochem. Health*, 2018. – Vol. 40. – P.1299–1316. DOI 10.1007/s10653-017-0056-x.
7. Mahaney W. C., Watts D. P., Hancock R. G. V. Geophagia by mountain gorillas (*Gorilla gorilla beringei*) in the Virunga Mountains, Rwanda // *Primates*, 1990. – Vol. 31. – № 1. – P. 113–120. DOI:10.1007/BF02381034.
8. Mahaney W. C., Hancock R. G. V. Geochemical analysis of African buffalo geophagic sites and dung on Mount Kenya, East Africa // *Mammalia*, 1990. – Vol. 54. – № 1. DOI: 1515/mamm.1990.54.1.25.
9. Panichev A. M. Rare Earth Elements: Review of Medical and Biological Properties and Their Abundance in the Rock Materials and Mineralized Spring Waters in the Context of Animal and Human Geophagia Reasons Evaluation // *Achievements in the Life Sciences*, 2015. – Vol. 9. – P. 95–103.
10. Паничев А. М., Барановская Н. В., Чекрызов И. Ю., Серёдкин И. В., Вах Е. А., Беляновская А. И. Редкоземельные элементы как причинный фактор геофагии среди растительноядных животных // *Доклады российской академии наук. Науки о Земле*, 2021. – Т. 499. – № 1. – С. 82–86.
11. Burchfield S. R., Elich M. S., Woods S. C. Geophagia in response to stress and arthritis // *Physiol. Behav*, 1977. – Vol. 19. – № 2. – P. 265–267. DOI: 10.1016/0031-9384(77)90337-7.