ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2022, том 507, № 1, с. 132–137

ГЕОГРАФИЯ

УДК 574.2/550.42/550.74

ИЗБЫТОК РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ КОРМАХ КАК ПРИЧИНА ГЕОФАГИИ СРЕДИ КОПЫТНЫХ В ГОРНОМ АЛТАЕ

© 2022 г.
А. М. Паничев[1,*], Н. В. Барановская[2], И. Ю. Чекрыжов[3], И. В. Серёдкин[1], Е. А. Вах[4], Е. В. Еловский[1]

Представлено академиком РАН П.Я. Баклановым 08.06.2022 г.
Поступило 08.06.2022 г.
После доработки 01.08.2022 г.
Принято к публикации 04.08.2022 г.

Геолого-гидробиогеохимические исследования, проведенные в двух районах активной геофагии среди растительноядных животных в бассейне Телецкого озера в Горном Алтае, позволяют сделать вывод о том, что потребление животными литогенных веществ характерно для горно-таежных и горно-степных ландшафтов с высокими концентрациями в горных породах растворимых форм редкоземельных элементов (РЗЭ). Высокие концентрации таких форм РЗЭ обнаружены в делювии по некоторым магматическим и метаморфическим породам, а также по сопряженным ледниковым отложениям, в производных почвах и в растительности. Выявленная геохимическая специфика ландшафтов, близкая к той, что обнаружена нами ранее в Сихотэ-Алине, становится причиной разбалансировки состава и концентрации РЗЭ в нейроиммуноэндокринной системе организма. В состоянии гормонального стресса животные стремятся компенсировать возникшую проблему с помощью минеральных сорбентов, которые, как мы выяснили, способны выводить из организма излишки РЗЭ.

Ключевые слова: геофагия, копытные, редкоземельные элементы, биогеохимия, Республика Алтай

DOI: 10.31857/S2686739722700062

Причины распространенного в разных регионах мира феномена поедания некоторыми группами животных, а также людьми литогенных минеральных веществ, обозначаемого термином геофагия, несмотря на почти столетний период его изучения остаются по большому счету неизвестными. В 2020 г. в результате проведенных работ в Сихотэ-Алине мы выяснили, что районы, где распространена геофагия среди животных, являются аномальными по концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) практически во всех ландшафтных компонентах, включая внутренние среды растительноядных животных [1]. Поскольку избыток в кормах РЗЭ нарушает в первую очередь работу нейроиммуноэндокринной системы, основного носителя этой группы элементов в организме [2], то потребление в таких случаях глинистых пород, которые, как мы выяснили, способны сорбировать в пищеварительном тракте избыточные концентрации РЗЭ [1], вполне объяснимо с позиции развиваемой нами редкоземельной гипотезы геофагии.

Летом 2021 г. специалисты из Дальневосточного отделения РАН и Томского политехнического университета продолжили геолого-гидрогеохимические исследования в местах активной геофагии на территории Горного Алтая с целью дальнейшей проверки редкоземельной гипотезы. Для исследований выбрано 2 района в бассейне оз. Телецкое: один на юго-восточном побережье озера и в приустьевой части р. Чулышман (далее Т-район), второй – в верховьях Чулышмана, в районе пос. Язула (далее Я-район).

Выявлено, что все места поедания горных пород животными как в береговой зоне озера, так и по Чулышману находятся в районах развития сильно метаморфизованных преимущественно

[1] *Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*
[2] *Томский политехнический университет, Томск, Россия*
[3] *Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*
[4] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*
**E-mail: sikhote@mail.ru*

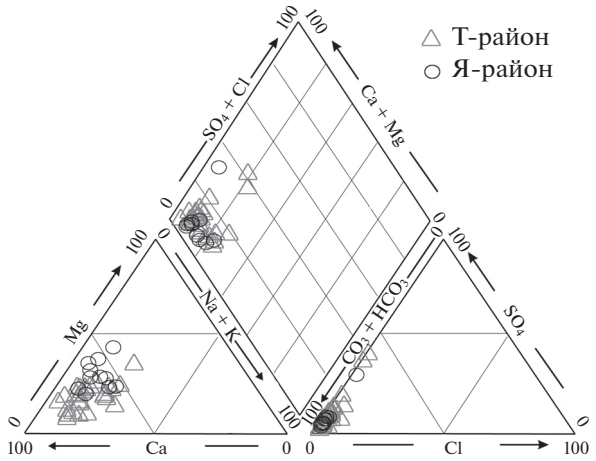

Рис. 1. Макрокомпонентный состав водных проб из Т- и Я-района (диаграмма Пайпера).

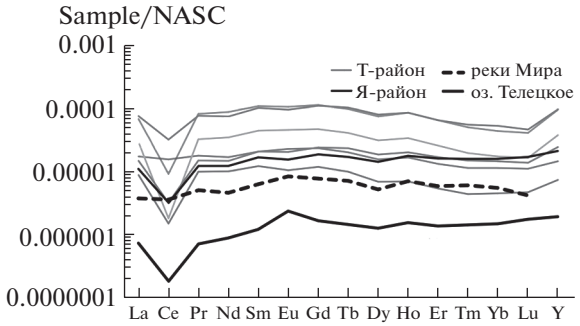

Рис. 2. Профили NASC-нормированных концентраций РЗЭ в пробах вод с максимальным их содержанием в Т- и Я-районах; реки Мира – среднемировые значения по [3], оз. Телецкое по [4].

первично осадочных пород протерозойского возраста, представленных, главным образом, кварц-хлорит-серицитовыми сланцами, иногда измененными до кварц-полевошпат-биотитовых гнейсов, рядом с выходами интрузий гранитоидов средне-палеозойского возраста.

Все пробы вод, отобранных в исследованных районах (28 в Т-районе и 20 – в Я-районе), оказались ультрапресные, их минерализация не превышает 0.3 г/л. Показатели pH вод по Т-району колеблются от 5.64 до 7.76 (в среднем – 6.67), по Я-району – от 6.25 до 8.20 (7.50). По основному солевому составу в подавляющем большинстве воды гидрокарбонатно-кальциевые, лишь единицы проб с существенной долей сульфат-иона (рис. 1). Содержания Na+ в пробах вод по обоим районам ничтожные, в том числе по Т-району колеблются от 0.81 до 8.15 ppm, среднее – 2.29, по Я-району – от 1.43 до 12.4 (6.03). По содержанию большинства микроэлементов воды характеризуются существенными содержаниями (в ppb) только Al (в среднем – 53.2), Sr (52), Mo (3.50), U (1.17) и РЗЭ. Суммарная концентрация растворенных форм РЗЭ по Т-району изменяется (с учетом Sc и Y) от 1.11 до 12.98 ppb; по Я-району – от 0.11 до 2.21. Разброс суммарной доли легких РЗЭ по обоим районам близок, попадая в интервал от 62 до 82%.

На рис. 2 представлены профили NASC-нормированных концентраций лантаноидов и Y в 6 наиболее насыщенных ими пробах вод Т-района и одной пробы из Я-района, в сравнении со средними показателями по рекам мира и концентрацией в воде Телецкого озера. Как очевидно, в пробах обоих районов превышение концентраций РЗЭ, по сравнению со среднемировыми, достигает в максимуме до 10 раз.

Существенно меньшие концентрации РЗЭ в водах из районов геофагии в Горном Алтае, в сравнении с водами из аналогичных районов в Сихотэ-Алине [1], объяснимы более высокими в алтайских водах показателями pH, что связано с распространенностью в породах карбонатов кальция и магния. Определенное значение также имеет климат, который в горах Алтая более сухой и менее теплый.

Среди диких животных, потребляющих породы, как и в Сихотэ-Алине, исключительно растительноядные и всеядные виды. В районе поселков Коо и Язула горные породы не менее активно потребляют домашние животные (овцы и КРС). При опросе жителей в пос. Язула три человека указали то, что случаи внутреннего потребления горных пород встречаются также и среди местного населения.

Все места потребления горных пород в изученных районах Алтая как внешне, так и по месту возникновения очень похожи. На бортах речных долин они часто приурочены к останцам ледниковых морен, а в бортах и на поверхности речных террас – к обнажениям озерно-ледниковых супесей и суглинков. Однотипны “съедобные” породы и по минеральному составу. По данным количественного рентгенофазового определения, в них повсеместно преобладают тонкодисперсные обломки кристаллов кварца и полевых шпатов (в сумме от 41 до 73%). Среди остальных минералов резко преобладают слюды и хлориты – в сумме от 8 до 48%. В качестве минералов-примесей могут присутствовать (не превышая в сумме 5%) каолинит, смектит, кальцит, гипс, анкерит, цеолиты, амфиболы и рутил. Такой минеральный состав принципиально отличается от минерального состава “съедобных” пород из Сихотэ-Алиня. А вот по содержанию РЗЭ алтайские “съедобные” породы вполне сопоставимы с сихотэалинскими, что хорошо видно на рис. 3, где представлены профили NASC-нормированных РЗЭ по поедаемым породам из Т- и Я-районов, которые нало-

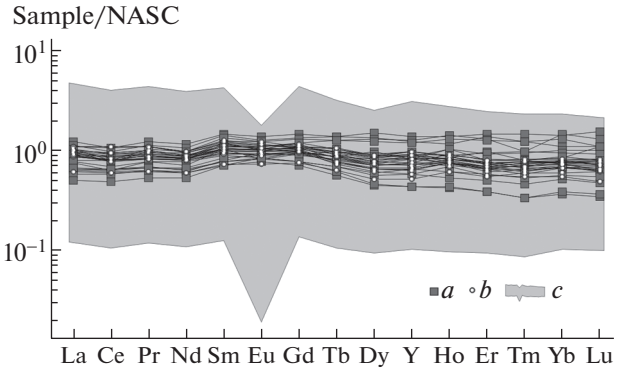

Рис. 3. Профили NASC-нормированных РЗЭ в потребляемых породах из Т-района (a), Я-района (b), совмещенные с полем значений РЗЭ в потребляемых породах Сихотэ-Алиня (c).

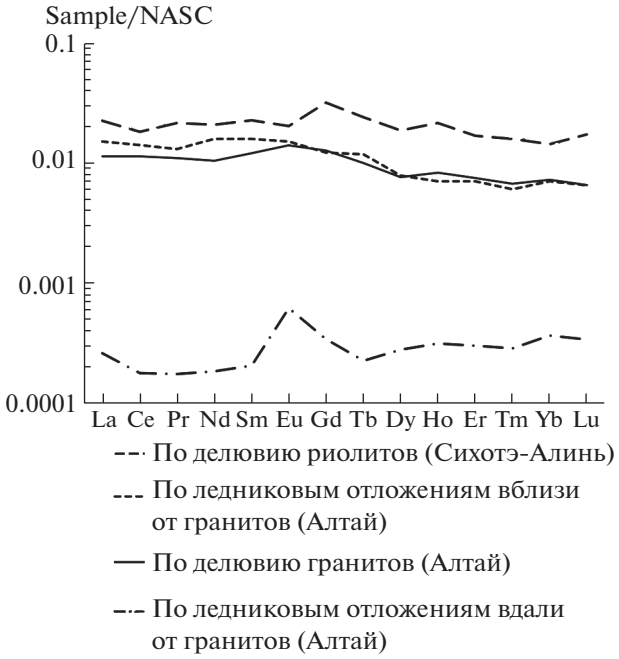

Рис. 4. Профили NASC-нормированных содержаний РЗЭ в осоках (*Carex*) в районах активной геофагии в горах Алтая и Сихотэ-Алиня по [1].

жены на поле значений для аналогичных пород Сихотэ-Алиня [1].

Для автоматизированного количественного определения минеральных агрегатов РЗЭ на электронном микроскопе из обоих районов было отобрано по 4 пробы, в их числе “съедобные” породы, а также пробы грунтов из ледниковых отложений вблизи выходов гранитоидов. В составе обнаруженных агрегатов РЗЭ не менее половины оказались растворимыми фторсодержащими фазами, которые определены как фторкарбонаты РЗЭ (паризит и бастнезит). Остальные агрегаты РЗЭ – фосфаты (первичные монацит, ксенотим, и вторичный рабдофан), также способные быть производными подвижных форм РЗЭ в определенных геохимических обстановках. Похоже, что именно наличие растворимых форм РЗЭ является главным условием появления ландшафтных геохимических аномалий, определяющих высокую вероятность нарушений баланса РЗЭ в организме растительноядных животных и, как следствие, – феномена геофагии.

Максимальные концентрации РЗЭ в растениях выявлены на гранитах и гнейсах, обогащенных этими элементами. В ледниковых отложениях, находящихся в относительной близости от гранитоидов, уровень концентраций РЗЭ бывает также высок, но чаще занимает среднее положение. Минимальные концентрации характерны для рыхлых отложений, удаленных от их первичных источников – гнейсов и гранитоидов.

В Горном Алтае, как и в Сихотэ-Алине, РЗЭ накапливают не только папоротники, естественные концентраторы этой группы элементов [5], но также осоки и полыни, которые являются кормовыми растениями копытных. На рис. 4 приведены

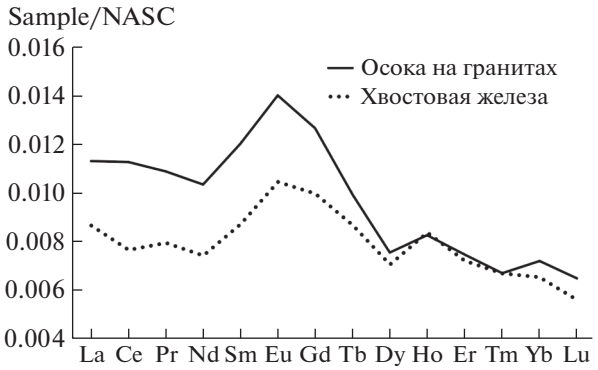

Рис. 5. Профили NASC-нормированных концентраций РЗЭ в осоках (*Carex*) по делювию гранитов в Т-районе и в хвостовой железе благородного оленя (*Cervus elaphus sibiricus*).

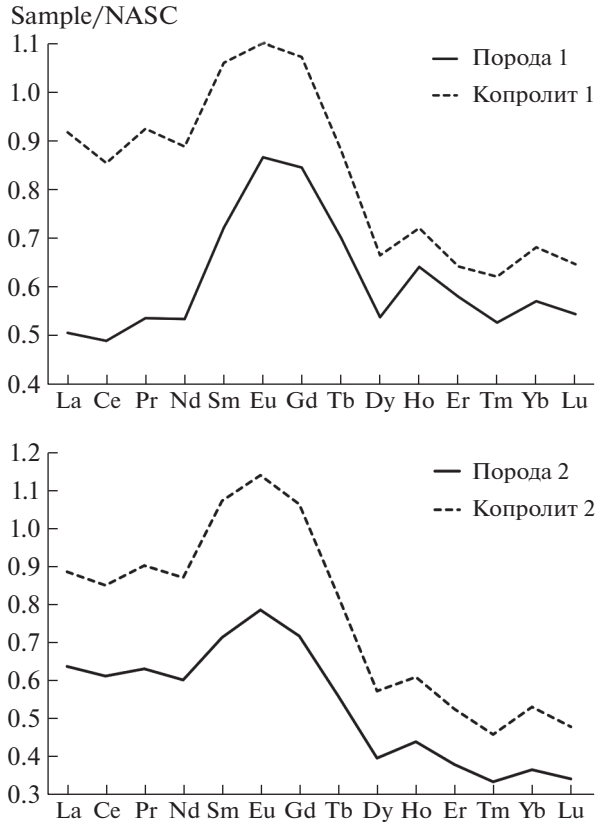

Рис. 6. Профили NASC-нормированных концентраций РЗЭ в копролитах и соответствующих им исходных породах, собранных в Т-районе.

профили максимальных и минимальных содержаний РЗЭ в осоках из двух регионов. Как очевидно, осоки на породах, обогащенных подвижными формами РЗЭ, способны накапливать таких элементов в 100 раз и больше, чем на обычных широко распространенных горных породах с низким содержанием растворимых форм РЗЭ.

Анализ содержания РЗЭ в хвостовой железе благородного оленя (*Cervus elaphus sibiricus*), погибшего от волков в районе Телецкого озера, показал почти полную идентичность профилей концентраций в железе и в осоках, произрастающих по делювию гранитов (рис. 5).

Путем сопоставления концентраций РЗЭ в копролитах и соответствующих потребляемых породах (рис. 6) удалось установить, что тонкодисперсные породы кварц-полевошпат-иллит-хлоритового состава при прохождении по пищеварительному тракту активно сорбируют РЗЭ, причем характер кривых в удаленных друг от друга кудурит-копролитовых аналогах имеет вполне очевидное сходство. Этот характер существенно отличается от характера кривых сорбирования РЗЭ в потребляемых глинах в Сихотэ-Алине, где из организма животных выносятся в наибольшей мере элементы тяжелой подгруппы.

Выявленные нами в Горном Алтае высокие концентрации РЗЭ в растительности, с учетом литературных данных по специфическим патологиям человека, таким как эндомиокардиальный фиброз Леффлера (ЭФЛ), который имеет прямую связь с избытком РЗЭ в растительной диете людей в Индии [6] и в Африке [7], дают нам основание полагать, что геофагия среди растительноядных животных, также как и у людей, связана с нарушенным обменом РЗЭ в организме. Следует заметить, что в южных штатах Индии, неблагополучных по заболеванию ЭФЛ среди людей, распространена также геофагия и среди животных. Такие факты описаны, в частности, на территории природного парка Чиннар [8] в штате Керала, а также в соседнем штате Тамиланд на территории лесного парка Маракканам [9]. Парк Чиннар расположен на горном плато с высотами до 2500 м; которое, как и исследованные территории в бассейне Телецкого озера, сложено метаморфическими породами докембрийского возраста, преимущественно кристаллическими сланцами и гнейсами, в том числе чарнокитового ряда, большая часть РЗЭ в которых сосредоточена в монацитах [10]. Именно с этого плато стекают реки по берегам и в приустьевой части которых выявлены

биогеохимические эндемии у людей, связанные с избытком РЗЭ в монацитоносных песках. Аналогичные породы очень широко распространены не только на юге, но и в восточных районах Индии, т.е. повсеместно там, где еще в начале XX в., судя по данным B. Laufer [11], была весьма широко распространена геофагия среди людей.

Заболевание ЭФЛ – это далеко не единственная патология, связанная с нарушением баланса РЗЭ в организме. Во многих работах, посвященных исследованию геофагии у людей, можно найти факты о том, что стремление поедать глину развивается на фоне патологий, сопровождаемых признаками нарушений минерального обмена [12–14], т.е. – сбоями в системе, которая ответственна за минеральный обмен, нормальная работа которой, как вытекает из данных обзора К. Редлинга [2], зависит от правильного баланса в организме РЗЭ.

Таким образом, в результате выполненных работ удалось выяснить, что районы Горного Алтая, где проявлена геофагия у животных так же, как и в Сихотэ-Алине, являются аномальными по концентрации РЗЭ в большинстве ландшафтных компонентов, особенно в кормовой растительности, а потребляемые горные породы, как и в Сихотэ-Алине, действуют на организм как сорбенты РЗЭ. Анализ зарубежных публикаций по геофагии позволил выявить, что ситуация в Горном Алтае наиболее сопоставима с ситуацией в южных и восточных районах Индии, где при сходных геологических характеристиках территории распространена геофагия не только среди животных, но в недалеком прошлом и среди людей, у которых доказана связь эндемических заболеваний с избытком РЗЭ.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при поддержке грантов РНФ (№ 20-67-47005 и 20-64-47021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Panichev A.M., Baranovskaya N.V., Seryodkin I.V., et al.* 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. 2021. https://doi.org/10.1007/s10653-021-01014-w

2. *Redling K.* Rare Earth Elements in Agriculture with Emphasis on Animal Husbandry. Dissertation, LMU München: Tierärztlichen Fakultät, 2006. https://doi.org/10.5282/edoc.5936

3. *Gaillardet J., Viers J., Dupré B.* Trace Elements in River Waters // Treatise on Geochemistry. Elsevier, 2003. P. 225–272. https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/05165-3

4. *Panichev A.M., Seryodkin I.V., Kalinkin Y.N., Makarevich R.A., Stolyarova T.A., Sergievich A.A., et al.* Development of the "rare-earth" hypothesis to explain the reasons of geophagy in Teletskoye Lake are kudurs (Gorny Altai, Russia) // Environmental Geochemistry and Health. 2018. V. 40. P. 1299–1316.

5. *Wei Z.G., Yin M., Zhang X., et al.* Rare earth elements in naturally grown fern Dicranopteris linears in relation to their variation in soils in South-Jiangxi region (Southern China) // Environ. Pollut. 2001. V. 114. P. 345–355. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00240-2

6. *Kutty R.V., Abraham S., Kartha C.C.* Geographical Distribution of Endomyocardial Fibrosis in South Kerala // International Epidemiological Association. 1996. V. 25. № 6. P. 1220–1207. https://doi.org/10.1093/ije/25.6.1202

7. *Smith B., Chenery S.R.N., Cook J.M., et al.* Geochemical and environmental factors controlling exposure to cerium and magnesium in Uganda // J. Geochem. Explor. 1998. V. 65. Is. 1. P. 1–15. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(98)00066-1

8. *Ramachandran K.K., Balagopalan M., Vijayakumaran Nayr P.* Use pattern and chemical characterization of the natural salt licks in Chinnar wildlife sanctuary (Research report 94). Kerala Forest Research Institute Peechi // Thrissur, 1995. 18 p. Balagopalan/6c861d b7ed63336b97d62b56489a6b3619128c3d

9. *Voros J., Mahaney W.C., Milner M.W.* Geophagy by the Bonnet Macaques (Macaca radiata) of Southern India: A Preliminary Analysis // Primates. 2001. V. 42. Is. 4. P. 327–344. https://doi.org/10.1007/BF02629624

10. *Anitha J.K., Joseph Sabu, Rejith R.G., et al.* Monazite chemistry and its distribution along the coast of Neendakara–Kayamkulam belt, Kerala, India // SN Applied Sciences. 2020. 2: 812. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2594-6

11. *Laufer B.* Geophagy Publications of the Field Museum of Natural History. Anthropological Series. 1930. V. 18. № 2. P. 99. 101–198.

12. *Prasad A.S.* A diet of zinc or clay. Citation classic. Current Contents // Life Science. 1991. V. 34. Is. 28. P. 11.

13. *Collignon R.* A propos des troubles des conduites alimentaires du pica des médecins à la géophagie des géographes, des voyageurs et des ethnologues // Psychopathologie africaine. 1992. V. XXIV. Is. 3. P. 385–396.

14. *Campuzano Maya G.* Pica: el síntoma olvidado // Medicina & Laboratorio. 2011. V. 17. P. 533–552. https://www.medigraphic.com/pdfs/medlab/myl-2011/myl1111-12c.pdf

EXCESS OF RARE-EARTH ELEMENTS IN PLANT FOODS AS A CAUSE OF GEOPHYGY AMONG UNGULATES IN THE GORNY ALTAY

A. M. Panichev[a,#], N. V. Baranovskaya[b], I. Ju. Chekryzhov[c], I. V. Seryodkin[a], E. A. Vakh[d], and E. V. Yelovsky[a]

[a] *E.V. Yelovsky Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[b] *Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation*

[c] *Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[d] *V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#] *E-mail: sikhote@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS P.Ya. Baklanov June 8, 2022

Geological and hydrobiogeochemical studies carried out in two areas of active geophagy among herbivorous animals in the Teletskoye Lake basin in the Altai Mountains suggest that animal consumption of lithogenic substances is typical for mountain-taiga and mountain-steppe landscapes with high concentrations of soluble forms of rare earth elements (REE) in rocks. High concentrations of such forms of REE were found in the deluvium of some magmatic and metamorphic rocks, as well as on the associated glacial deposits, in the derivative soils and in vegetation. The revealed geochemical specificity of landscapes, similar to what we found earlier in the Sikhote-Alin, becomes the cause of imbalance in the composition and concentration of REE in the neuroimmunoendocrine system of the body. In the state of hormonal stress, animals seek to compensate for this problem by using mineral sorbents, which, as we found out, can remove excess REE from the body.

Keywords: geophagy, ungulates, rare earth elements, biogeochemistry, the Altai Republic