

СЕКЦИЯ 5. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА, ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ

УДК 546.65:550.47(571.63)

ОБ УНИКАЛЬНОЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ СПЕЦИФИКЕ СИСТЕМЫ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ» НА ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ Н.В. Барановская¹, А.М. Паничев², И.В. Середкин², Е.В. Агеева¹, Р.А. Макаревич², Л.В. Жорняк¹, Д.А. Стрепетов¹

¹ФГАОУ ВО Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, Томск, nata@tpu.ru

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, sikhote@mail.ru

Аннотация. Установлено, что на некоторых участках территории Приморского края распространены горные породы, содержащие в повышенных концентрациях редкоземельные элементы, что является причиной формирования особой геохимической специализации вод, почв, растительности, а также биотканей животных. Феномен геофагии, распространенный на таких территориях среди растительноядных животных, обусловлен преобладанием в растительности редкоземельных элементов тяжелой подгруппы.

Ключевые слова: почва, растения, млекопитающие, редкоземельные элементы, геофагия, Приморский край.

Актуальность. Исследования показали, что закономерности распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в коре выветривания и почвах зависят от многих факторов: от типов и устойчивости пород и первичных минералов, содержащих РЗЭ, а также от эдафических, климатических, топографических и гидрологических условий. Большую роль в концентрировании и распределении редкоземельных элементов (РЗЭ) в ландшафте играют органические соединения почв [1]. В Европе, например, средняя сумма РЗЭ в верхнем слое почвы (125,59 мг/кг) близка к их концентрации в верхней части континентальной коры (146,37 мг/кг). А сумма РЗЭ в почвах Южного Китая, колеблется от 40,32 до 260,77 мг/кг [2]. На территории Приморского края, как показывают данные разных авторов, также встречаются аномальные по концентрации РЗЭ участки, приуроченные к рудным объектам с высокими, вплоть до ураганных, содержаниями этих элементов [3, 4]. Наши исследования на территории Приморского края, проведенные в 2020 году в рамках междисциплинарного гранта РНФ (Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих, № 20-64-47021 и №20-67-47005) показали, что в некоторых районах имеет место концентрирование РЗЭ в водах, горных породах, а так же в растительности и тканях животных [5, 6]. При этом наш выбор районов для исследований был обусловлен наличием на их территории природных солонцов-кудууров, регулярно посещаемых дикими животными с целью употребления горных пород и минерализованных родниковых вод. Результаты проведенного анализа геолого-геохимических данных, собранных нами по кудурам и поедаемым породам (кудуристам) в горах Южной Сибири и на Кавказе, а также другими исследователями в Африке и Индонезии, с учетом появившихся в последние десятилетия новых данных о распространенности РЗЭ в живом веществе и их медико-биологических свойствах, заставляют обратить внимание на факты связи геофагии как среди животных, так и среди человека с высокими концентрациями РЗЭ в ландшафтных компонентах [5]. В организме человека нарушения минерального обмена, вызванные дисбалансом поступления с пищей и питьевой водой РЗЭ уже известны. Так, исследованиями по определению площади наиболее высокой распространенности эндомиокардиального фиброза Леффлера (ЭФЛ) в Индии выявлены четыре участка вблизи береговой линии моря в пределах 3 округов, в которых известны месторождения монацитовых песков [7]. При этом все эти территории не связаны с проявлениями филяриоза и эозинофилии, с которыми ранее связывали возникновение ЭФЛ в Индии. Аналогичные исследования, проведенные в Уганде, показали, что церий в этом эндемичном по ЭФЛ районе планеты содержится не в монацитовых песках, а в виде вторичных минералов в почве и подпочвенных грунтах. Отсюда вполне очевидно, что выявление закономерностей накопления и распределения в ландшафтах элементов из группы редких земель является весьма актуальной

задачей в свете установления их роли в организме млекопитающих, а также в возникновении соответствующих микроэлементозов с выходом на профилактику заболеваемости в том числе у человека.

Объекты и методы исследования. В 2020 году нами были проведены исследования на территории Приморского края в четырех административных районах – Лазовском, Ольгинском, Пожарском, Тернейском, на трех участках «Бикин», «Солонцовый» и «Ванчин» (рис. 1).



Рисунок 1. Местоположение районов исследования: 1 – «Бикин»; 2 – «Солонцовый»; 3 – «Ванчин».

Материалы для исследований были получены в рамках полевых работ в июле и сентябре 2020 г. Для аналитических исследований было отобрано 135 проб растительности (57 – Ванчин, 60 – Солонцовый, 18 – Бикин). Надземная часть растений отбирались в пределах 10-метрового радиуса от точки отбора почвенной пробы (количество проб почвы – по 40 на каждом участке). В составе растений повсеместно отбирались три вида: один из папоротников (отбирались виды: *Matteuccia struthiopteris*, *Osmundastrum asiaticum*, *Leptorumorha amurensis*, *Dryopteris crassirhizoma*, *Athyrium sinense*, *Pseudocystopteris spinulosa*, *Cornopteris crenulatoserratula*); один из видов осок (*Carex ussuriensis*, *Carex хуphium*, *Carex siderosticta*, *Carex campylorhina*, *Carex sordida*) и один из рода лабазника (*Filipendula palmata*). Папоротники отбирались, прежде всего, как известные концентраторы REE, причем широко распространенные в различных ландшафтах Дальнего Востока России, к тому же некоторые из них входят в состав кормов копытных. Осоки отбирались как самые распространенные травянистые растения, входящие в состав кормов животных. Лабазники также широко распространены в изученных районах и также входят в состав кормов растительоядных животных. Каждая проба состояла из 3–10 индивидуальных растений в бумажный пакет. В указанных районах был отобран также материал органов и тканей млекопитающих, в том числе от 8 изюбрей (*Cervus elaphus*), 8 кабанов (*Sus Scrofa*) и 2 свиней домашних (*Sus Scrofa domesticus*). Биопсийный материал органов и тканей животных отбирался в стерильные полиэтиленовые пакеты и полипропиленовые пробирки и помещались в автомобильный холодильник (-20°C). Общее количество проб с каждого животного взято от 48 до 50. Предварительная подготовка биологических проб проводилась во Владивостоке, в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН. Пробы помещались в тарированные фарфоровые тигли и высушивались в сушильном шкафу при медленном в течение 2 суток подъеме температуры до 105°C до постоянной массы (пробы крови высушивались до постоянного веса при температуре 60°C). Растения высушивались при комнатной температуре. Аналитические исследования проб биологического материала и почвы выполнялись в г. Томске в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета (ТПУ) (зав. лабораторией к.г.-м.н. А.А. Хвощевская, аналитик Куровская В.В.). Пробы перед анализом методом ИСП-МС истирались, развешивались в пластиковые

пробирки по 200 мг и растворялись в смеси азотной кислоты и перекиси водорода. Определение содержаний химических элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре NexION 300D (Perkin Elmer, США). Для поведения инструментального нейтронно-активационного анализа биоматериал озоляли при температуре 600°C. Анализ проводили на учебном ядерном реакторе ТПУ в ядерно-геохимической лаборатории Уранового центра ТПУ (аналитик – с.н.с. Судыко А.Ф.). Изучение микроминеральных фаз химических элементов проводилось в лабораториях ДВГИ ДВО РАН (микроскоп Tescan Lyra 3 XMN + EDS AZtec X-Max 80 Standart) и ТПУ (Hitachi S-3400N с энерго-дисперсионным спектрометром (ЭДС) Bruker X@Flash 5010).

Обсуждение результатов. Химические анализы жидких и твердых проб, исследования пород с помощью оптического и электронного микроскопа, а также изучение архивных отчетов государственной геологической съемки по данным территориям однозначно указывают на то, что на всех трех исследованных участках, где в массовом виде распространена геофагия среди растительноядных животных, широко развиты однотипные кислые и кисло-средние цеолитизированные вулканические и вулканогенно-осадочные породы раннекайнозойского возраста (преимущественно палеоцен), содержащие в повышенных концентрациях редкоземельные элементы. При этом РЗЭ находятся в таких минеральных формах, которые легко разрушаются слабокислыми грунтовыми водами. Среди хорошо растворимых в слабокислых водах минеральных форм РЗЭ, согласно данным электронной микроскопии, чаще всего встречаются рабдофан (водный фосфат) и бастнезит (фторкарбонат РЗЭ). В результате на таких территориях наблюдается повышенный фон концентраций РЗЭ в поверхностных и грунтовых водах (особенно в подгруппе тяжелых лантаноидов и иттрия), отличающийся от средних показателей по водотокам Приморского края и рек мира в десятки и сотни раз [5]. Тем не менее, сопоставление концентраций РЗЭ в почвах на изученных участках в Приморье с литературными данными не выявляет в них особых отличий (табл. 1). Данный факт может указывать на то, что наибольшую роль в накоплении РЗЭ в организме животных играют потребляемые ими растения и природные воды, поскольку содержания этих элементов значимо выше мировых уровней [5, 6].

Таблица 1. Содержание редкоземельных элементов (мг/кг) в почве на изученных участках в Приморском крае

Элемент	Участки			Литературные данные	
	«Солонцовый»	«Ванчин»	«Бикин»	Эталонные почвы по [8]	Обобщенные данные по [1]
La	25,2	23	16,1	35,1	26,1
Ce	54,8	53,7	38,2	75,1	48,7
Nd	22,8	14,8	12,2	3,6	19
Sm	4,7	4,9	2,7	6,7	3,1
Eu	1,2	0,6	0,6	1,2	4,8
Tb	0,6	0,6	0,4	0,5	6,03
Yb	2,5	3	1,9	2,4	2,06
Lu	0,3	0,4	0,3	0,4	0,34
∑РЗЭ	112	101	72	125	110

Так, в растениях, отобранных на участках "Солонцовый" и "Ванчин", зафиксированы существенные концентрации РЗЭ. Так, содержание Се достигает величин 0,4 г/т на сухое вещество в осоке, 1,3 г/т в лабазнике. В папоротниках (мы отбирали несколько видов, преимущественно, *Athyrium sinense*, *Pteridium aquilinum* и *Osmundastrum asiaticum*) в отдельных точках содержание церия достигает величин – 300 г/т, в расчете на золу растения. Для участка «Бикин» характерно менее выраженное концентрирование РЗЭ. Картина формирования редкоземельной специализации участков "Солонцовый" и "Ванчин" находит яркое отражение в концентрировании элементов этой группы в организме животных. Наиболее существенные отличия характерны для организма всеядных животных – диких кабанов. В их головном мозге и некоторых других тканях зафиксированы микроминеральные

фазы, содержащие РЗЭ (в основном Се, La, Nd). Для костей характерно концентрирование европия.

По данным анализа биологических тканей животных получается, что в тканях кишечника травоядных и всеядных животных, обитающих на исследованных территориях, наблюдаются высокие концентрации РЗЭ из подгруппы тяжелых. В этой связи с учетом всей совокупности фактов можно предполагать, что причина геофагии в горах Сихотэ-Алиня может быть связана с токсичным действием на животных РЗЭ тяжелой подгруппы, поступающих из растительных кормов и воды. Вполне вероятно, что замещение легких РЗ элементов, выполняющих важные функции в организме, тяжелыми аналогами, которые неспособны выполнять эти функции, может приводить к серьезным нарушениям обменных процессов в организме. Это и может являться главной причиной инстинктивного потребления минеральных (в данном случае глинисто-цеолитовых) сорбентов, обогащенных натрием и РЗ элементами легкой подгруппы.

Заключение. Таким образом, на территории Приморского края встречаются участки с уникальным концентрированием редкоземельных элементов в части смещения интенсивности концентрирования в сторону средней и тяжелой подгрупп. Полученные данные по изучению концентрирования РЗЭ в системе «почва-растения-животные» показали, что, несмотря на имеющиеся фоновые содержания химических элементов в почвах изученных участков, имеется факт значимого накопления их в составе растений и тканей животных. Это свидетельствует о высоком значении почвенных растворов, оказывающих существенное влияние на концентрирование РЗЭ средней и тяжелой подгрупп в составе растительности, а также в поверхностных водах, определяющих комплекс элементов, поступающих в организм млекопитающих. Данное обстоятельство является, по-видимому, ведущим фактором возникновения феномена геофагии среди животных. Как очевидно, данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. NW: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
2. Miao L., Xu R., Xu J. Geochemical characteristics of rare earth element (REEs) in the soil-plant system in west Guangdong province // *Acta Pedol. Sinica*. 2007. № 44. P. 54–62.
3. Середин В. В. О новом типе редкоземельного оруденения кайнозойских угленосных впадин // Доклады Академии наук СССР. 1991. Т. 320. № 6. С. 1446–1450.
4. Чекрыжов И.Ю., Попов В.К., Паничев А.М., Середин В.В., Смирнова В.В. Новые данные по стратиграфии, вулканизму и цеолитовой минерализации кайнозойской Ванчинской впадины, Приморский край // *Тихоокеанская геология*. 2010. Т. 29. №4. С. 45–63.
5. Паничев А.М. Редкоземельные элементы как причинный фактор геофагии среди растительноядных животных / Паничев А.М., Барановская Н.В., Чекрыжов И.Ю., Серёдкин И.В., Вах Е.А., Беляновская А. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 1. С. 82–86.
6. Ветошкина А.В. Радиоактивные (Th, U) и редкоземельные элементы в природных водах Центрального Сихотэ-Алиня (Приморский край) / Ветошкина А.В., Чекрыжов И.Ю., Паничев А.М., Вах Е.А., Барановская Н.В., Луценко Т.Н. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 1. С. 45–56.
7. Raman Kutty V., Abraham S., Kartha C.C. Geographical Distribution of Endomyocardial Fibrosis in South Kerala // *International Epidemiological Association*. 1996. V. 25. №. 6. P. 1220–1207.
8. Govindaraju K. 1994 compilation of working values and sample description for 383 geostandards // *Geostandards and geoanalytical research*. 1994. V. 18. № 1. P. 1–158.

THE UNIQUE RARE-EARTH SPECIFICITY OF THE «SOIL-PLANT-ANIMAL» SYSTEM ON THE TERRITORY OF PRIMORSKY KRAI

N.V. Baranovskaya¹, A.M. Panichev², I.V. Seryodkin², E.V. Ageeva¹, R.A. Makarevich², L.V. Zhornyak¹, D.A. Strepetov¹

¹Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, nata@tpu.ru

²Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, sikhote@mail.ru

Summary. It is established that in some areas of Primorsky Krai the rocks containing rare-earth elements in increased concentrations are the cause of formation of rare-earth specialization of waters, soils, vegetation as well as animal biological tissues. The phenomenon of geophagy, common in such territories among herbivorous animals, is due to the predominance of rare earth elements of the heavy subgroup in the vegetation.

Keywords: soil, vegetation, mammals, rare earth elements, geophagy, Primorsky krai.

УДК 504.054

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ МЕДИ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ЛЕСОПАРКА «ЗАТЮМЕНСКИЙ» ГОРОДА ТЮМЕНЬ

В.А. Боев, М.Е. Нагибин, А.В. Горских

Тюменский государственный университет, Тюмень, vikboev2009@mail.ru

Аннотация. Городские парки выполняют важную роль в формировании благоприятной экологической обстановки на территории города и служат местом отдыха для горожан. Почвы парков являются не только местом произрастания растительности, но и активно участвуют в биогеохимических циклах круговорота микро- и микроэлементов. Свойства почв городских парков определяются как зональными факторами, так и антропогенным воздействием. Внесение в парковые почвы торфа в качестве органического удобрения, наличие различных строительных материалов, атмосферные аэрозольные выпадения способствуют изменению физико-химических характеристик почв, таких как рН почвенного раствора и содержание органического углерода, и их неоднородности. Поступление с атмосферными выпадениями и пылью частиц, содержащих тяжелые металлы, приводит к загрязнению почв парков этими токсикантами, что подтверждается большим количеством литературных источников. В почвах парков с аэрозольными выпадениями происходит поступление тяжелых металлов, их накопление, с последующим поступлением в растения через корневую систему. Нами было проведено исследование содержания обменных форм меди и свинца в почвах лесопарка «Затюменский» города Тюмени, в ходе которого были выявлены закономерности распределения этих элементов в верхнем горизонте почв на территории парка, а также изменение рН почвенного раствора и содержания органического углерода под влиянием антропогенного воздействия.

Ключевые слова: свинец, медь, подвижные формы соединений, почвы, содержание органического углерода, городские парки.

Многолетние исследования почв урбанизированных территорий показали, что эти почвы выполняют многочисленные экологические функции: поддержание микроклимата, регулирование поверхностного стока, снижение загрязнения атмосферного воздуха [1, 2, 3]. Однако городские почвы подвергаются при этом значительному антропогенному воздействию, в том числе тяжелыми металлами [4, 5].

Загрязнению тяжелыми металлами подвержены и почвы городских парков. Источниками загрязнения почв парков могут быть выбросы автомобильного транспорта и промышленных предприятий, строительный и другой мусор, а также привозные грунты и удобрения [6].

Физико-химические характеристики почв городских парков (в том числе рН почвенного раствора и содержание органического углерода) также претерпевают изменения вследствие антропогенного воздействия. В частности, содержание гумуса в верхних горизонтах почв может возрасти до 5–8% и более [7, 8].

Нами были проведены исследования почв на территории лесопарка «Затюменский» города Тюмени, расположенного в черте г. Тюмени в Калининском Административном округе. С севера ограничен улицей Барнаульской, с юга – улицей Ямской, с запада – жилым массивом, с востока – улицей Аккумуляторной. Общая площадь составляет 77,193 га. Расположение лесопарка «Затюменский» на карте города Тюмени представлено на рисунке 1.