

Развитие «редкоземельной» гипотезы при объяснении причин геофагии на кудурах в районе Телецкого озера, Горный Алтай, Россия

А.М. Паничев^{1,2}, И.В. Серёдкин^{1,2}, Ю.Н. Калинин³, Р.А. Макаревич¹, Т.А. Столярова⁴, А.А. Сергиевич², П.П. Хороших²

1 – Тихоокеанский институт географии ДВО РАН; 2 – Дальневосточный федеральный университет;

3 – Алтайский государственный биосферный заповедник;

4 – Московский государственный ун-т им. М.В. Ломоносова.

Изучался минеральный и химический состав потребляемых дикими копытными животными грунтов и источников вод на 10 кудурах в береговой зоне Телецкого озера, Горный Алтай, Россия. Выяснено, что все кудуриты по размерности частиц попадают в интервал 1–100 мкм с преобладанием фракции в 10 мкм. По минеральному составу кудуриты представлены кварц-полевошпат-гидрослюдисто-хлоритовыми минеральными ассоциациями с большим содержанием частиц кварца (от 20 до 43%) и натрийсодержащих плагиоклазов (альбит, от 15 до 32 вес. %), и являются продуктами преобразования метаморфических сланцев в результате истирающего воздействия ледника, последующего их водного отложения и затем выветривания в субаэральных условиях. Потребляемые на кудурах источниковые воды слабоминерализованные хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатно-натрий-кальций-магниевые и сульфатно-кальциевые, отличаются существенно повышенными относительно озерной воды содержаниями REE. Кислотные (HCl, pH–1) вытяжки из кудуритов наиболее активно экстрагируют кальций (от 10 до 35% от валовых содержаний); натрий экстрагируется на уровне 1–3%. В составе микроэлементов наиболее активно экстрагируются Cu, Be, Sr, Co, Cd, Pb (от 10 до 35%), а также Sc, Y и REE, переход которых в растворенную форму колеблется около 10% от валовых содержаний. Причина геофагии связывается со стремлением растительноядных животных потреблять минерализованные грунты, обогащенные биологически доступными формами редкоземельных элементов, возникших в результате жизнедеятельности специфической (вероятно, сульфатредуцирующей) микрофлоры.

Ключевые слова: кудуры, геофагия, геология, геохимия, REE, Горный Алтай.

Под кудурами подразумеваются ландшафтные комплексы, регулярно посещаемые дикими животными с целью потребления горных пород и минерализованных источников вод; соответственно, кудуриты – это литогенные вещества, потребляемые животными на кудурах (Panichev et al., 2013). Значение ранее применявшегося в русскоязычных текстах термина «солонец» мы сузили, понимая под ним лишь места, искусственно засоленные человеком для привлечения животных.

Кудуры встречаются во многих горных регионах мира. В Алтае-Саянских горах они также распространены, посещают их, как и везде, преимущественно копытные, реже другие группы растительноядных животных.

Исследование кудуров в Горном Алтае начато в 1950-х гг. Ф.Д. Шапошниковым (1953). В середине 1980 гг. кудуры в этом регионе изучали В.И. Бгатов (Бгатов и др., 1988) и А.М. Паничев (1990).

Почти 30 лет спустя мы вновь обратились к изучению кудуров на территории Горного Алтая с целью углубить наши познания в геохимии и минералогии местных кудуритов. В сентябре 2016 г. нам удалось осмотреть и опробовать большинство кудуров в прибрежной части Телецкого озера (территория Алтайского государственного биосферного заповедника). Собранный фактический материал был переправлен во Владивосток и исследован в различных лабораториях.

Объекты и методы исследований

В районе Телецкого озера кудуры многочисленны, но распространены только на юго-восточном побережье. Мы посетили 13 известных на данный момент кудуров (отмечены на рис. 1), на 10 из них были отобраны образцы для исследования.

Проводившийся нами опрос местного населения из числа людей, занятых в обслуживании инфраструктуры туризма в пределах парковой зоны на западном побережье озера, а также – местных охотников, промысляющих на территориях западнее парка,

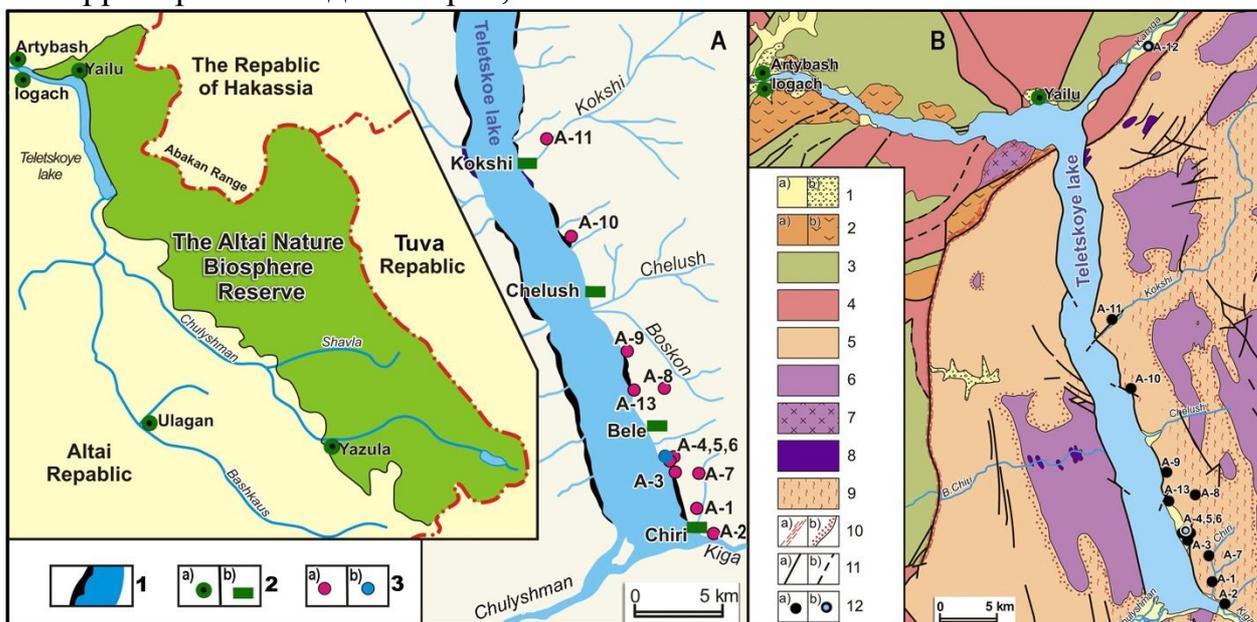


Рис. 1. Район исследований с местоположением кудуров в береговой зоне Телецкого озера (А) и геологическая карта района исследований (В)

А: 1 – скалистые обрывы; 2 – населенные пункты, в том числе поселки (а) и кордоны заповедника (b); 3 – кудуры «сухие», или литоморфные (а) и «сырые», или гидроморфные (b).

В: 1– верхнечетвертичные отложения, в том числе аллювиальные (а) и водно-ледниковые (б); 2 – девонские отложения, в том числе терригенные песчаники и сланцы (а) и эффузивы преимущественно среднего состава (б); 3 – ордовикские отложения, преимущественно песчаники, глинистые и алевритовые сланцы и мергели; 4 – кембрий-синийские вулканогенные и терригенные отложения; 5 – протерозойские метаморфические сланцы и гнейсы, метаморфические песчаники, порфиритоиды; 6 – среднепалеозойские граниты и гранито-гнейсы; 7 – раннепалеозойские плагиограниты; 8 – палеозойские габбро; 9 – выходы гнейсов; 10 – контактовые взаимодействия, в том числе динамические (а) и метасоматические (в); 11 – тектонические разломы, в том числе закартированные (а) и предполагаемые (в); кудуры литоморфные (а) и гидроморфные (в)

которые также не входят в состав заповедника, показал, что кудуры там не встречаются, по меньшей мере на расстоянии до 20 км от озера.

Большая часть кудуров на побережье озера представлена литоморфной разновидностью: в виде сухих обнажений рыхлых горных пород (иногда слабо сцементированных) с характерными углублениями, выеденными и вылизанными животными. Такие углубления нередко достигают метровых размеров в поперечнике и в глубину. Кудуры этой разновидности формируются в бортах разноуровневых озерных террас верхнеплейстоценового возраста по тонкодисперсным озерно-ледниковым отложениям (рис. 2), иногда, преимущественно в нижней части озерного склона, возникают по мореноподобным отложениям из валунников и озерно-ледниковых илов (возможно подводно-оползневого происхождения), а также (совсем редко) по современным обвальным отложениям, где животные выедают мелкозем среди обломков коренных пород (рис. 3).

На отдельных участках, в частности, в районе кордона Челюш, на поверхности обнажений озерной аккумулятивной террасы имеются белые выцветы солей (чаще в виде пушистых инкрустаций на галечнике). На вкус солевые выцветы горьковато-кислые. Каких-либо признаков слизывания таких солей животными нами нигде не отмечено, хотя лизунцовые углубления могут располагаться в нескольких метрах от солевых выделений.

Среди животных, посещающих литоморфные кудуры на Телецком озере, преобладают маралы, подвид благородного оленя (*Cervuselaphussibiricus*), иногда приходят косули (*Capreoluspygargus*) и зайцы-беляки (*Lepustimidus*). По сведениям местных старожилов, до начала 1930 гг. кудуры активно посещали горные козлы (*Caprasibirica*) тогда еще обитавшие по берегам озера. По данным той же летописи, максимальная зимняя плотность населения маралов в окрестностях озера колеблется по годам от 10 до 40 особей на 1000 га. При этом кудуры посещаются практически весь год, основной пик посещения приходится на период с апреля по июль, второй период оживления посещаемости осенью, в сентябре–ноябре.

Кудуры на основе водных источников (гидроморфная разновидность) в прибрежной части озера также имеются. В их числе кудур, обозначенный как

А-4 (рис. 1А), возникший на основе слабо выраженного низкодебитного водного источника, вокруг которого образована вытоптанная маралами грязевая площадка, размер которой не превышает 10 м². Животные пьют источниковую воду и выедают подпочвенные горизонты в прикорневой части деревьев с образованием неглубоких лизунцов.

Второй гидроморфный кудур находится в пойме р. Камга, в приустьевой ее части (на рис. 1В он обозначен А-12). Кудур возник на основе нескольких хорошо выраженных водных источников, которые разгружаются в русловой ложбине, в подножии первой надпойменной террасы. В периоды низкого стояния воды наибольший родник разгружается с образованием неглубокой лужи диаметром около 1 м, на дне которой, в месте притока воды, хорошо просматриваются небольшие грифоны с песчаными фонтанчиками. Данный кудур давно и активно посещается маралами и лосями (*Alcesalces*), которые натоптали к роднику торные тропы. Явных признаков поедания грунта на данном кудуре с образованием лизунцов не выявлено.



Рис. 2. Общий вид (а) и фрагмент (b) кудура А-8. Длина обнажения 9 м, высота – 2,5 м. Реликт древней озерной террасы (высота над современным средним уровнем озера около 350 м) в виде блока озерно-ледниковых отложений, осложненных оползневыми клиньями и прослоями грубообломочного материала. Животные наиболее активно выедают тонкодисперсные илы озерно-ледникового происхождения.

В 2016 г. всего было отобрано 8 литогенных проб кудуритов из свежих лизунцов на кудурах А-1, А-2, А-3, А-7, А-8, А-9, А-10, А-11. Пробы отбирались с поверхности на глубину до 10 см. Кроме того были отобраны 4

водные пробы (WA-1 отобрана из источника на кудуре А-4; WA-2 – из источника на кудуре А-12; проба Т-1 и Т-2 – озерная вода в качестве фона, первая отобрана близ поселка Яйлю, вторая близ кордона Чири).



Рис. 3. Лизунцы на кудурах А-3 и А-5 по мореноподобным подводно-оползневым отложениям с разным соотношением валунников и озерно-ледниковых илов (верхние два снимка), и лизунцы среди склоновых обвальных отложений (нижний снимок). На верхнем снимке хорошо видна обводненная зона (темная полоса), вдоль которой просачиваются трещинные воды.

Кроме того, близ кудура А-1 собрана кучка копролитов Сорг.1(экскременты марала с преобладанием литогенного материала).

Химические анализы собранного материала выполнены в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН (ответственный исполнитель Н.В. Зарубина).

В твердых пробах определение суммы ППП (потери при прокаливании) и SiO_2 выполнено методом гравиметрии; определение остальных главных элементов выполнено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с

индуктивно связанной плазмой (спектрометр iCAP 7600Duo Thermo Scientific Corporation, США). Пробоподготовка – сплавление с метаборатом лития. Определение содержания микроэлементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на том же спектрометре. Пробоподготовка аналогичная. Аналитики: Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало.

Определение химического состава жидких проб выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7700x (AgilentTechn. США). Аналитик М.Г. Блохин. Определение некоторых ионов в жидких пробах выполнено методом ионной хроматографии на жидкостном хроматографе LC-20 (Shimadzu, Япония).

Количественный минеральный состав определялся рентгенодифракционным методом на дифрактометре ULTIMA-IV фирмы Rigaku (Япония) на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва). Рабочий режим – 40 кВ-40 мА, медное излучение, никелевый фильтр, диапазон измерений – $3-65^\circ 2\theta$, шаг по углу сканирования $0.02^\circ 2\theta$, фиксированная система фокусирующих щелей. Для ускорения съемки и повышения качества экспериментальных данных использовался полупроводниковый детектор нового поколения – DTex/Ultra: скорость сканирования – $10^\circ 2\theta/\text{минуту}$. Диагностика минерального состава проводилась методом сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-2 в программном пакете Jade 6.5, компании MDI. Для глинистой фракции использовался сравнительный анализ ориентированных препаратов в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем. Количественная диагностика проводилась в программном пакете PDXL, компании Rigaku. Расчет выполнен по методу Ритвельда в программе BGMN (www.bgm.de). Аналитик В.В. Крупская.

С целью выявления количественных показателей выхода химических элементов из пород в условиях кислой среды в сычуге жвачных млекопитающих 9 литогенных проб были подвергнуты солянокислым вытяжкам в лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Навеска породы 5 г заливалась 50 мл 0,1N раствора HCl (pH–1), после чего суспензию ставили на 0,5 час в шейкер, затем сутки отстаивали. Далее вытяжки фильтровали через беззольные фильтры («синяя лента»), предварительно промытые горячим раствором соляной кислоты (pH–1) и первыми порциями вытяжек, и направляли на определение содержания натрия и кальция. В 4 пробах из 9 определяли также состав микроэлементов.

Для определения размерности частиц собранные пробы кудуритов подвергнуты исследованию на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава Analysette 22 MicroTecplus (Германия, 2014).

Важнейшие природные характеристики района исследований

Склоны Телецкого озера крутые, часто со скалистыми берегами (рис.1А), местами расчлененные мелкими ручьевыми распадками и речными

долинами крупных притоков, среди которых Чулышман, Кыга, Большие Чили, Малые Чили, Камга, Кокши и Челюш. В некоторых местах, в том числе в районе поселков Яйлю и Беле, в подножии склонов озерной котловины образованы низкие довольно обширные тектонические ступени, на которых образовались аккумулятивные террасы с озерными и водно-ледниковыми отложениями, местами перекрытыми оползневыми глетчерами и речным аллювием. В приустьевых частях крупных притоков образованы сравнительно небольшие по размерам зернистые дельты, сложенные современными валунно-галечными и песчаными отложениями.

В северной части по склонам озера преобладает черневая тайга с преобладанием ели сибирской (*Picea obovata*) и сосны сибирской (*Pinussibirica*). В южной части до абсолютных отметок 700 м преобладает лиственница сибирская (*Larixsibirica*), выше доминирует сосна сибирская. Некоторые террасы и склоны южной экспозиции в южной части озера заняты вторичными березовыми и осиновыми лесами, встречаются также остепненные участки.

Среднегодовая температура в районе пос. Яйлю составляет 2,8° С, в районе Беле – 3,6° С. Среднегодовое количество осадков в Яйлю около 900 мм, в районе Беле почти в 2 раза меньше (472 мм). То есть, микроклимат в южной части озера явно теплее и суше.

Общая минерализация озерной воды на разных участках колеблется от 80 до 235 мг/л, по составу вода гидрокарбонатно-кальциевая. Закономерности пространственного распределения химического состава воды Телецкого озера обусловлены изменением химического состава и объема поступающего речного стока. По химическому составу вод все крупные притоки озера подразделяются на две группы. Первая группа, представленная западными и южными притоками, такими как Чулышман, Кыга, Большие и Малые Чили, Колдор и Самыш, имеет повышенную минерализацию (более 80мг/л) и относится к пресному гидрокарбонатному магниевому-натриево-кальциевому типу, а все восточные притоки (Камга, Кокши, Челюш, Баскон, Чири и др.) – к ультрапресному типу вод с минерализацией 30-80мг/л и с сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным магниевым-кальциевым-натриевым составом, сходным с гидрохимическим типом снеговых вод (Шевченко, 2010).

Химический состав подземных вод в окрестностях озера изучал А.М. Малолетко (2009). Все опробованные им водные источники между кордонами Челюш и Чири (всего 7) показали сравнительно повышенные (относительно других участков побережья озера) содержания сульфатов и доминирование калия над натрием, при этом по составу катионов в водах резко преобладает кальций. Преобладание в источниковых водах хлора и натрия выявлено только на локальных участках, в том числе на западном берегу озера, южнее устья р. Большие Чили, в приустьевой части р. Камга, а также в районе пос. Артыбаш. Характерной особенностью практически всех источниковых вод в окрестностях озера является сравнительно высокое содержание в них стронция (на уровне 200 мкг/л).

Минерализация дождевых вод в районе озера колеблется от 17 до 30 мг/л, показатель рН– от 4,8 до 6,4; среди анионов преобладают хлор и гидрокарбонат-ион, в составе катионов доминирует натрий (Малолетко, 2009).

Геологическое строение района исследований

Данные о геологическом строении территории почерпнуты из материалов к государственной геологической карте РФ масштаба 1: 200 000, лист N-45-IV, 1959 г. Схема геологического строения территории окрестностей Телецкого озера на рис. 1В.

Согласно имеющимся геологическим материалам, все кудуры в береговой зоне озера, кроме водного источника А-12, находятся среди сильно метаморфизованных преимущественно первично осадочных пород протерозойского возраста представленных, главным образом, кварц-хлорит-серицитовыми сланцами, в том числе сильно измененными вплоть до кварц-полевошпат-биотитовых гнейсов, образовавшихся над очагом плавления пород. Контуры этого очага контролируются выходами интрузивных гранитоидных пород среднепалеозойского возраста (рис. 1В). Водный источник А-12 приурочен к молодому разлому, вдоль которого заложена долина р. Камга. При этом источниковые воды формируются в трещиноватых породах кембрий-синийского возраста. Водный источник А-4 приурочен к молодому разлому незначительной протяженности в зоне влияния прибрежных сбросов грабен-долины Телецкого озера.

Рыхлые отложения в береговой зоне озера относительно неплохо изучены лишь в пределах террас Беле и Яйлю (Малолетко, 2009; Бутвиловский, 1993). Общая их мощность в пределах белинской террасы оценивается приблизительно в 180 м. В основании разреза (на уровне уреза воды) залегают светло-серые тонкослоистые алевриты, которые перекрывает песчаная пачка. Выше залегает слоистая галечниковая толща, которая перекрывается щебнисто-суглинистыми ледниковыми отложениями с прослоями песков и галечников. Период накопления ритмичных озерно-ледниковых отложений разреза Беле по радиоуглеродным датировкам оценивается в интервале от 30 до 15 тыс. л. н. с избирательным накоплением в глинисто-алевритовой фракции частиц кварца и полевых шпатов (Бутвиловский, 1993). При этом накопление твердых микрокристаллов связывается с истирающим воздействием на породы ледника, а также с золовым их привносом.

Результаты гранулометрического, минералогического и химического исследования проб кудуритов

На диаграммах (рис. 4) представлены спектры размерности минеральных частиц в поедаемых грунтах, отобранных из лизунцов на кудурах в береговой зоне Телецкого озера.

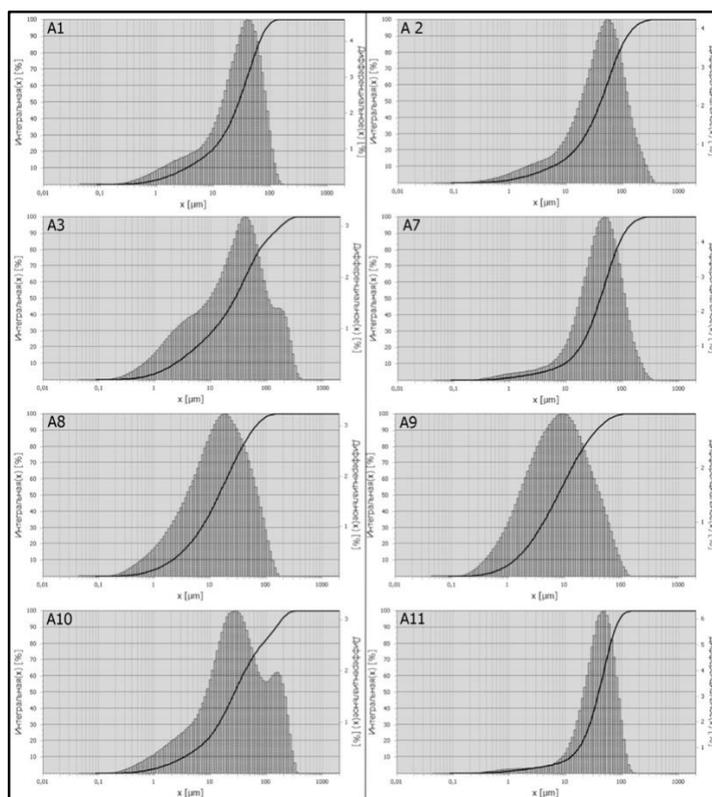


Рис. 4. Результат исследования размерности основной части минеральных частиц в кудуритах с Телецкого озера на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава. В верхнем левом углу на диаграммах указан номер соответствующего кудура

Согласно полученным диаграммам, размерность основной массы частиц колеблется приблизительно от 10 до 70 мкм, что соответствует размерности алевритов. Доля частиц глинистой фракции (размером от 1 мкм и менее) колеблется на уровне единиц процентов (максимум 5%).

В табл. 1 приведены результаты количественного минералогического анализа, свидетельствующие о том, что съедобные кудуриты в береговой зоне Телецкого озера состоят преимущественно (на 40–70%) из дисперсных фракций кварца и полевых шпатов,

Таблица 1

**Результаты количественного минералогического
рентгенодифракционного
анализа проб кудуритов с береговой зоны Телецкого озера, мас. %**

Минералы	Sample of Lick on kudurs								Coprolites near A-1
	A-1	A-2	A-3	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	Copr.1
Смектит	0.0	1.6	0.8	0.0	4.6	5.0	4.2	0.0	2.0
Иллит+флогопит	21.3	31.1	24.9	21.4	22.0	42.3	17.3	22.7	23.9
Каолинит	1.0	0.0	0.0	1.7	0.6	1.3	0.4	1.1	0.3

Хлорит	9.0	4.5	3.2	1.2	5.3	5.2	4.8	2.3	2.4
Клиноптилолит	1.0	0.7	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
Гейландит	0.7	0.0	0.5	1.8	0.7	0.9	0.9	0.6	0.9
Актинолит	0.6	0.0	0.8	0.4	3.2	3.8	2.0	2.1	0.3
Альбит	21.7	29.8	26.6	32.0	23.3	15.0	29.8	28.6	25.8
КПШ	4.4	2.1	0.0	1.7	5.3	6.4	0.0	3.0	2.2
Кварц	40.2	30.2	42.8	39.4	35.0	20.1	40.7	39.6	41.9

а также из слюдисто-глинистых минералов (иллит, хлориты, смектит и каолинит), сумма которых колеблется от 25 до 50%. В качестве минералов-примесей могут присутствовать (от 0 до 2,5%) цеолиты (клиноптилолит и гейландит) и актинолит. Весьма примечательным фактом минерального состава кудуритов является высокое содержание в них натрийсодержащего плагиоклаза альбита. В этом телецкие кудуриты имеют сходство с кудуритами в Сихотэ-Алине и на Кавказе (наши статьи с фактами высокого содержания альбита в кудуритах на данных территориях готовятся к печати). Неожиданными минералами в составе кудуритов являются цеолиты. Если они идентифицированы верно, то их происхождение, вероятнее всего, связано с почвенными процессами минералообразования в условиях засоления гидрокарбонатами щелочных элементов, что могло происходить в аридных условиях в период голоценового оптимума. Детальный минералогический (петрографический) анализ илистых частиц из водно-ледниковых отложений с Беле, который проводится в книге В.В. Бутвиловского (1993), показывает, что в составе минеральных примесей в них присутствуют также (в порядке убывания) кальцит (от 0,2 до 1,5%), частицы минералов группы эпидота, магнетит, роговая обманка, апатит, пироксены, циркон, лейкоксен, сфен, турмалин и лимонит.

Частицы более крупных фракций в кудуритах представлены кварц-полевошпатовым песком и обломками горных пород, которые могут быть как окатанными, так и не окатанными. В 1973 г. на обнажении кудура А-8 геологом А.М. Малолетко были отобраны мелкие гальки, из которых были сделаны шлифы и выполнены петрографические описания. Перечень собранных пород получился следующим: песчаник полимиктовый кварц-полевошпатовый; сланец актинолитовый с кварцем, альбитом и хлоритом; алевролит кварц-плагиоклазовый; сланец амфиболовый; биотит-силлиманитовый сланец с мусковитом; туффит алевритовый (чередование вулканических и терригенных частиц); кварц-альбит-актинолитовый сланец и кварц-биотит-хлоритовый сланец (Малолетко, 2009).

Химический и микроэлементный составы проб кудуритов с Телецкого озера приведены в табл. 2 и 3. Согласно этим данным, породы по содержанию кремнекислоты и важнейших окислов относятся к кислым и средним разновидностям нормального ряда. По составу главных окислов и составу

микроэлементов они очень похожи на кудуриты вулканогенно-осадочного генезиса, потребляемые дикими животными в Восточном Сихотэ-Алине (Panichev et al., 2016). Кудуриты Восточного Сихотэ-Алиня и Телецкого озера близки также и по характеру распределения и уровню концентраций крупноионных литофильных и высокозарядных элементов, за исключением более высоких концентраций титана и фосфора в кудуритах с Телецкого озера.

Таблица 2

Валовые содержания основных породообразующих окислов в кудуритах и копролитах с береговой зоны Телецкого озера (вес. %)

Окислы	Кудуриты								Копролиты
	A-1	A-2	A-3	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	Сопр.1
SiO ₂	60,38	57,92	69,86	70,40	64,41	55,35	64,87	62,90	62,06
TiO ₂	0,88	0,76	0,59	0,66	0,77	0,93	0,61	0,86	0,79
Al ₂ O ₃	15,91	14,68	12,65	13,84	14,23	17,42	11,64	14,35	14,56
Fe ₂ O ₃	3,37	3,51	1,47	2,61	3,36	4,32	1,89	3,19	4,21
FeO	2,70	2,88	3,13	1,37	2,39	3,57	2,22	2,82	1,58
MnO	0,09	0,08	0,08	0,07	0,12	0,15	0,07	0,11	0,10
MgO	3,32	4,76	2,56	1,57	2,81	4,52	2,35	3,14	2,94
CaO	3,18	4,36	3,83	2,85	3,39	3,41	7,08	4,09	3,45
Na ₂ O	2,48	2,98	2,39	3,28	3,19	2,45	2,43	3,04	2,45
K ₂ O	2,30	2,32	1,45	1,36	1,71	4,07	1,26	1,77	2,14
P ₂ O ₅	0,16	0,13	0,15	0,17	0,13	0,14	0,14	0,20	0,31
H ₂ O ⁻	0,18	0,22	0,09	0,14	0,08	0,05	0,17	0,17	0,15
ППП	5,05	5,41	1,84	1,69	3,39	3,62	5,27	3,36	5,30
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Практически идентичными в кудуритах Телецкого озера и Восточного Сихотэ-Алиня оказались и кривые распределения элементов редкоземельной группы, нормированные к хондриту (рис. 5), отличаясь лишь менее выраженным европейским минимумом у телецких кудуритов.

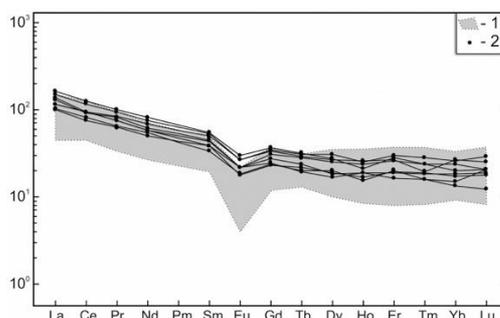


Рис. 5. Распределение REE в кудуритах с Телецкого озера и Сихотэ-Алиня, нормированных к хондриту по (Sun, McDonough, 1998): 1 – поле распределения значений для кудуритов Восточного Сихотэ-Алиня по вулканогенно-осадочным породам риолит-дацитового состава (по: Panichev et al., 2016); 2 – кривые для кудуритов с Телецкого озера

По минеральному составу, соотношению микроэлементов и ионообменным свойствам алтайские кудуриты уже не сопоставимы с кудуритами, типичными для молодых вулканических областей. В виду низкого содержания глинистых минералов группы смектита и цеолитов, обладающих высокими катионообменными свойствами, сорбционные возможности алтайских кудуритов в отношении катионов весьма невысоки. Данный факт подтверждают наши предыдущие исследования ионообменных свойств телецких кудуритов (Паничев, 1990).

Результаты химического анализа водных проб

В табл. 4 и 5 приведены результаты химических анализов водных проб, в том числе главные ионы и кремний в табл. 4, микроэлементы – в табл. 5.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что опробованные источниковые воды, как и озерная вода, являются ультрапресными и пресными. Для определения типа вод использовали содержание ионов в процентах эквивалентов от общей суммы ионов в данной воде, приняв сумму анионов и катионов за 100%.

Таким образом, получается, что источниковая вода с кудура А-4 сульфатно-кальциевая, вода с кудура А-12 (Камга) – хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатно-натрий-кальций-магниевая, озерная вода – гидрокарбонатно-кальциевая.

По составу микроэлементов водные пробы с кудуров А-4 и А-12 существенно различаются. Более насыщенные натрием и хлором воды камгинского источника (WA-12) содержат значительно меньше Al, Fe, V, Cr, Co, Ni, Cu, Se, а также элементов редкоземельной группы. В источниковой воде WA-4 вдвое выше сумма REE. Суммарная концентрация растворенных форм REE в водах исследуемой территории изменяется от 0,11 до 2,86 мкг/л (табл. 5), при этом во всех водах выявлено преобладание легких REE над тяжелыми (сумма легких колеблется от 74 до 88%). Разные по составу источниковые воды одинаково обогащены легкими REE 87–88%, самое низкое

их содержание (около 74%) установлено в озерной воде. При этом минимум REE в озерной воде наблюдается в южной части озера.

Таблица 3

**Валовые содержания основных микроэлементов
в кудуритах и копролитах с береговой зоны Телецкого озера (ppm)**

Елементы	Кудуриты								Копролиты
	А-1	А-2	А-3	А-7	А-8	А-9	А-10	А-11	Сорг.1
Be	1,81	1,31	1,32	1,60	1,19	2,23	1,30	1,64	1,56
Sc	20,0	18,6	14,2	12,6	19,7	24,3	13,5	18,2	18,0
V	110,3	105,5	81,13	67,13	106,2	138,0	71,08	106,2	102,1
Cr	115,9	130,7	101,0	67,18	76,98	107,7	92,98	101,4	103,2
Co	16,76	18,08	11,77	8,84	15,79	24,78	10,84	14,42	15,58
Ni	60,43	81,53	44,92	28,65	36,45	63,93	40,44	51,58	53,38
Cu	25,31	34,87	13,61	9,23	24,46	41,99	17,56	34,17	29,05
Zn	70,1	76,0	52,0	35,3	64,1	100,7	41,9	58,6	61,8
Ga	17,46	15,27	12,74	12,91	13,57	22,72	10,53	14,43	15,28
As	5,59	2,82	1,38	2,81	21,60	3,75	2,05	1,98	5,47
Rb	71,19	63,74	36,46	35,15	41,04	131,6	33,10	47,77	70,74
Sr	220	247	243	284	184	158	261	247	241
Y	32,95	23,59	22,35	33,95	32,36	22,08	25,96	36,53	28,35
Zr	211,6	161,4	181,1	185,8	181,8	130	165,5	213,4	178,1
Nb	12,32	9,41	7,74	8,74	8,20	18,34	7,07	9,37	9,46
Mo	6,28	1,04	0,33	0,29	0,52	0,33	0,18	1,26	0,97
Cd	0,21	0,21	0,36	0,30	0,31	0,23	0,35	0,77	0,71
Sn	1,19	0,58	0,41	0,69	0,90	1,22	0,23	0,77	0,83
Cs	3,02	2,14	1,66	1,37	1,73	7,12	1,32	1,98	2,35
Ba	494	467	287	307	521	597	284	404	415
La	38,60	30,68	24,67	32,57	27,63	27,33	24,03	35,95	30,76
Ce	77,37	56,17	50,52	58,12	57,82	57,17	45,65	71,22	62,37
Pr	9,58	7,78	6,16	8,10	7,04	7,07	6,08	8,89	7,77
Nd	38,57	28,89	25,20	31,75	27,09	26,76	23,41	34,83	30,95
Sm	8,30	6,83	5,07	7,61	6,55	5,97	5,89	8,12	6,42

Eu	1,72	1,25	1,06	1,53	1,27	1,26	1,02	1,56	1,50
Gd	7,60	5,60	4,89	6,81	6,24	5,07	4,73	6,99	6,55
Tb	1,17	0,88	0,74	1,07	1,06	0,73	0,82	1,15	0,81
Dy	6,96	4,66	5,10	6,69	6,31	4,28	4,72	7,79	5,89
Ho	1,21	1,06	0,88	1,48	1,36	1,07	0,94	1,42	1,08
Er	4,66	3,12	3,30	4,39	4,30	2,73	3,20	4,93	3,74
Tm	0,61	0,47	0,40	0,49	0,61	0,40	0,48	0,72	0,50
Yb	3,36	3,10	2,58	4,50	4,04	2,25	2,94	4,35	2,88
Lu	0,52	0,48	0,52	0,63	0,52	0,31	0,45	0,74	0,46
Hf	7,16	5,57	6,07	6,61	6,93	5,26	5,87	8,01	5,49
Ta	1,10	0,60	0,57	0,66	0,60	1,15	0,60	0,74	0,61
W	2,25	1,70	1,53	1,63	1,63	2,06	3,39	1,68	1,75
Pb	15,4 2	13,0 8	11,5 3	14,0 2	11,3 3	17,8 4	13,6 2	15,7 7	12,84
Th	11,4 2	8,12	6,23	8,00	7,38	11,2 2	6,15	8,82	9,16
U	2,72	2,98	2,02	1,80	2,41	2,57	1,76	2,62	2,30

На диаграмме (рис. 6) показано распределение REE в опробованных водах, нормированных к их средним содержаниям в озерной воде. Очевидна существенная обогащенность редкоземельными элементами источниковых вод по сравнению с озерной водой (особенно много в них церия, содержание которого в 20–60 раз выше, чем в воде озера). Интересно, что характер распределения REE в воде (WA-12) с камгинского источника аналогичен характеру их распределения в воде с кудура А-4.

Таблица 4

Состав важнейших катионов, анионов и кремния в водных пробах, отобранных из озера и на кудурах в береговой зоне Телецкого озера (мг/л)

Пробы	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	Si	Σ _n
WA-4	7,3 6	7, 67	34, 3	9,2 5	0,0 6	7,2 4	35, 7	0,4 4	0,0 8	<0, 001	<0, 001	0,66	9,5 8	111
WA-12	64, 2	1, 04	33, 2	18, 0	<0,00	22, 06	21, 1	77, 9	<0, 001	<0, 001	<0, 001	4,08	3,8 9	246
T ₁	1,6 5	0, 64	14, 2	2,7 4	—	42*	2,6 *7,	1,0 *	—	—	—	—	2,5 *	60 *
T ₂	1,9 0	0, 82	13, 7	2,7 9	—	62	8	10	—	—	—	—	*	94

Примечание.* – пределы значений по данным ряда авторов (Шевченко, 2010); «—» – не определялось.

Таблица 5

**Состав микроэлементов в водных пробах,
отобранных из озера и на кудурах в береговой зоне Телецкого озера
(мкг/л)**

Элемент	WA-4	WA-12	T1 (Яйлю)	T2 (Чирчи)
Li	5,307	8,324	0,906	0,964
Be	0,019	0,009	0,004	0,003
Al	1446	411	13,7	10,0
Sc	0,283	0,064	0,026	0,033
V	4,756	0,930	0,191	0,242
Cr	4,886	1,092	0,202	0,201
Mn	23,270	15,180	0,835	0,507
Fe	1473	502	8,1	8,6
Co	1,143	0,293	0,014	0,013
Ni	3,672	0,802	0,318	0,331
Cu	9,112	0,984	1,494	1,193
Zn	3,45	1,51	0,934	1,303
Ga	0,430	0,115	0,014	0,013
As	0,430	0,439	0,344	0,327
Se	2,142	0,086	0,061	0,051
Rb	2,727	2,630	0,842	0,893
Sr	121,4	200,5	60,9	58,9
Ag	0,007	0,008	0,003	0,002
Cd	0,018	0,006	0,008	0,005

Cs	0,14 5	0,152	0,005	0,010
Ba	11,5 0	9,20	11,50	12,40
Tl	0,01 0	0,004	0,002	0,002
Pb	0,38 8	0,163	0,112	0,068
Th	0,05 5	0,018	0,011	0,010
La	0,55 20	0,243 0	0,0287	0,0214
Ce	1,13 00	0,460 0	0,0214	0,0149
Pr	0,14 10	0,065 0	0,0084	0,0059
Nd	0,55 70	0,262 0	0,0385	0,0268
Sm	0,11 80	0,057 0	0,0098	0,0069
Eu	0,02 71	0,014 0	0,0033	0,0028
Gd	0,12 10	0,061 0	0,0109	0,0077
Tb	0,01 72	0,008 5	0,0017	0,0012
Dy	0,09 00	0,045 0	0,0097	0,0065
Ho	0,01 66	0,008 0	0,0021	0,0016
Er	0,04 49	0,022 0	0,0061	0,0044
Tm	0,00 57	0,002 7	0,0010	0,0008
Yb	0,03 52	0,016 9	0,0063	0,0046
Lu	0,00 53	0,002 5	0,0011	0,0009
ΣREE	2,86 10	1,268 0	0,1490	0,1064
LREE	2,52 50	1,101 0	0,1101	0,0787
HREE	0,33 60	0,167 0	0,0389	0,0277

LREE %	88,3	86,8	73,89	73,97
HREE %	11,7	13,2	26,10	26,03
Y	0,39 1	0,204	0,0589	0,0399
Y/Ho	23,6	25,5	28,05	24,94

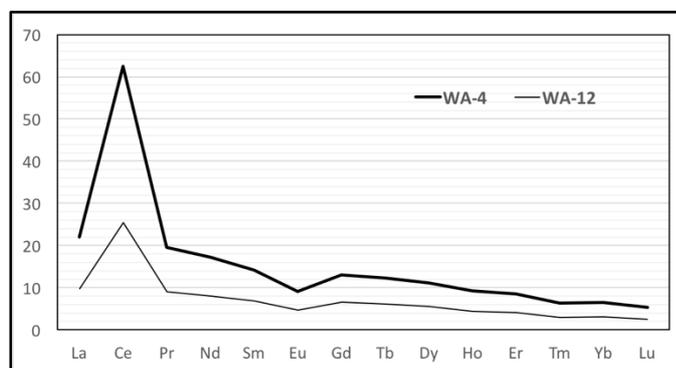


Рис. 6. Соотношение REE-элементов в водных пробах WA-4 и WA-12, нормированных к средним показателям для воды Телецкого озера

Результаты эксперимента по воздействию на кудуриты водным раствором соляной кислоты в концентрации сопоставимой с кислотностью сычужного сока жвачных животных

В табл. 6 приведены показатели выхода в солянокислый раствор из копролита и кудуритов кальция и натрия, свидетельствующие, во-первых, об очень низком содержании в телецких кудуритах подвижного в кислой среде натрия (на уровне от единиц до сотни мг/100 г) и, во-вторых, об очень неравном содержании подвижного в кислой среде кальция (с колебанием от первых сотен до 2000 мг/100 г). Если судить по соотношению кальция в кудурите и копролите, кальций не является элементом, который ищут животные. Натрий же, как очевидно, усваивается в организме животных, но его количество настолько мало, что возможность поедания килограммов грунта только ради приобретения данного элемента мало вероятно.

Таблица 6

Выход кальция и натрия в вытяжку (HCl, pH=1) из копролита и кудуритов (мг/100г)

Проба	Ca	Na
Сопр .1	1045	4
A-1	649	59
A-2	1440	108

A-3	521	50
A-7	220	16
A-8	718	60
A-9	592	51
A-10	1888	15
A-11	320	5

На рис. 7 (А, В) приведены графики, характеризующие показатели процентов выхода в вытяжку (от валовых содержаний) микроэлементов (А) и REE-элементов (В) из копролитов и кудуритов с береговой зоны Телецкого озера. Набор элементов в вытяжках определялся аналогичный табл. 3, но здесь приводятся лишь те, чьи значения превысили 5%. На графике 7А видно, что максимальные значения выхода в вытяжку (свыше 25%) наблюдаются в копролитах по Cu, Sr, As, Cd. Данный факт, возможно, объясняется стремлением животных освободиться от их избытка с помощью минеральных сорбентов. Среди элементов, которые показывают тенденцию оставаться в организме, Y, а также все REE-элементы. Столь высокая растворимость REE указывает на наличие в кудуритах карбонатных или гидрофосфатных их форм.

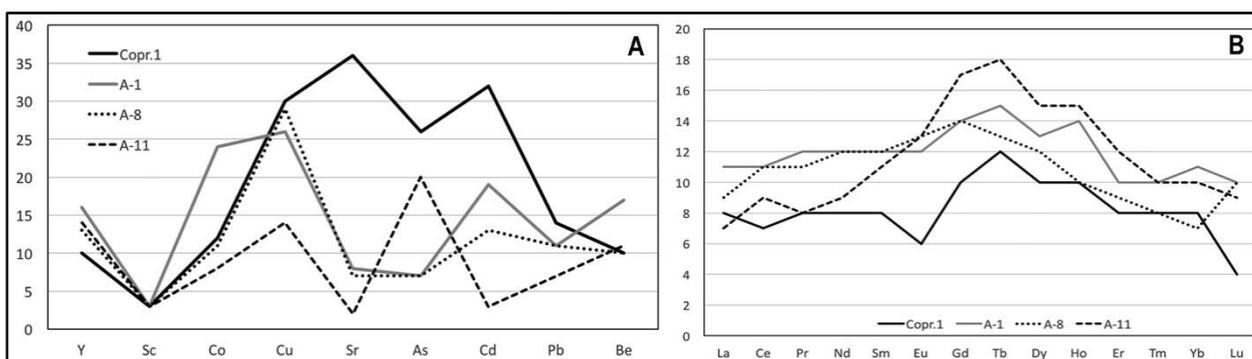


Рис. 7А, В. Процент выхода в вытяжку наиболее подвижных микроэлементов (А), в том числе REE-элементов (В) из копролитов и кудуритов с береговой зоны Телецкого озера

На рис. 8 представлено соотношение REE-элементов в растворах кислотных вытяжек, нормированных к содержаниям REE в воде Телецкого озера. Диаграмма показывает, что в сычуге жвачных животных кислотное (HCl, pH=1) воздействие на кудуриты (при соотношении кудурит/кислый раствор 1/10) создает концентрацию REE-элементов в растворе со значениями, превышающими их содержание в озерной воде в тысячи раз. При этом содержание REE-элементов в копролитах в разы ниже, чем в кудуритах, что косвенно может указывать на их ассимиляцию в организме.

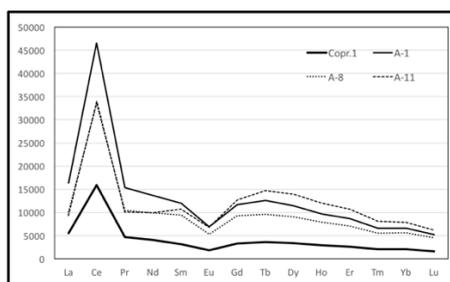


Рис. 8. Соотношение REE-элементов в растворе кислотных вытяжек. Показатели нормированы к средним содержаниям REE в воде Телецкого озера

О причинах литофагии среди копытных животных, обитающих в береговой зоне Телецкого озера

Вопрос о причине регулярного потребления животными минеральных веществ на кудурах пока остается не раскрытым, на сей счет имеются лишь разные предположения. В их числе потребность в натриевых солях и минеральных сорбентах, регулирующих буферность среды в пищеварительном тракте, что позволяет уменьшать кишечные расстройства в период смены кормового рациона весной в зоне умеренных широт (Dalkeatal., 1965; Hebert, Cowan, 1970; Kreulen, 1985; Паничев, 1990; Klaus, Schmid, 1998) или при смене рациона на рубежах засухи и периода дождей в тропиках (Kreulen 1985; Мое, 1993). Неоднократно высказаны мысли о том, что потребляемые на кудурах минеральные вещества могут возмещать соответствующие потери при лактации и росте пантов (Насимович, 1936; Fraser, Reardon, 1980; Мой, 1993). Потребляемые глинистые минералы могут выводить из организма химические шлаки (Houstonatal., 2001), поглощать дубильные вещества и алкалоиды (Oates 1978; Kreulen, 1985; Gilardiat., 1999), наконец, они могут противодействовать желудочно-кишечными иным заболеваниям (Vermeer, Ferrell, 1985; Паничев, 1990).

История проверки гипотезы о причинах литофагии как потребности животных в дефицитных макрокомпонентах, таких как натрий, кальций и магний началась с опубликования наиболее ранних работ, посвященных исследованию кудуров (Mure, 1936; Насимович, 1936; Cowan, Brink, 1949). Поскольку изученные нами телецкие кудуриты обогащены подвижными формами некоторых щелочных и щелочноземельных элементов, разберем данный вопрос чуть подробнее с привлечением новых и ранее опубликованных нами данных по сопоставлению химического состава потребляемых кудуритов и копролитов. Результаты таких сопоставлений представлены в табл. 7, а также в табл. 8, которая заимствована из работы (Паничев, 1990).

Сопоставление главных породообразующих окислов в кудуритах и копролитах с кудураА-1 близ кордона Чири, вес. %

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Σ
А-1	63,73	0,93	16,79	3,56	2,85	0,09	3,50	3,36	2,62	2,43	0,17	100
Сопр	65,64	0,84	15,40	4,45	1,67	0,11	3,11	3,65	2,59	2,26	0,33	100
Diff. f.	+1,91	-0,09	-1,39	+0,89	-1,18	+0,02	-0,39	+0,29	-0,03	-0,19	+0,16	+3,27 - 3,27

Примечание. Потери при прокаливании (см. LOI, табл. 2) пропорционально разбросаны. «Diff.» – разность содержаний в кудурите и копролите; «-» – уменьшение после пребывания породы в пищеварительном тракте; «+» – увеличение после пребывания породы в пищеварительном тракте.

Таблица 8

Состав подвижных катионов в кудуритах и копролитах с кудура близ кордона Челюш (По: Паничев, 1990)

Sample	Mg	Ca	K	Na
Lick 1	4,3	25,7	0,6	3,3
Сопр.	6,0	31,6	3,9	0,5
Diff. мг-экв/100 г	+1,7	+5,9	+3,3	-2,8
Diff. вес. %	0,020	0,118	0,129	0,064

Данные табл. 7 свидетельствуют о том, что количество доступного животным натрия в кудурите слишком незначительно, чтобы быть причиной поиска данного элемента в горных породах. Судя по существенному высвобождению из кудурита в пищеварительном тракте алюминия, магния и калия, самым логичным будет предположить, что поедаемая порода содержит легко растворимые гидрокарбонатные и сульфатные соли, которые являются распространенными продуктами выветривания сланцевых пород. Выход таких солей из кудурита должен сопровождаться обогащением породы на «выходе» оксидом кремния, что мы и наблюдаем (табл. 7). Изученный нами ранее состав подвижных катионов (поглощенных ионов, способных вытесняться ионами аммония) в телецких кудуритах копролитах показал (табл. 8), что их поглотительные способности весьма слабые, а также то, что в поглощающем комплексе преобладают ионы кальция и магния. При этом характер обмена ионами на гидрослюдистых сорбентах аналогичен таковому на смектитовых и цеолитовых разностях. Единственный элемент, количество которого уменьшается в составе поглощенных ионов при прохождении породы по пищеварительному тракту является натрий, количество всех остальных макроионов только увеличивается. Этот факт лишний раз

доказывает, что магний и кальций в рассматриваемых ландшафтах по отношению к животным являются избыточными элементами.

Здесь следует отметить, что обогащенность грунтов карбонатными солями кальция и магния, иногда и натрия, не является редким явлением в горах Южной Сибири. Так, например, исследования в районе Джулукульской котловины почвообразующих пород в виде щебнисто-супесчаного пролювия с обломками гранитов, гнейсов и метаморфических сланцев (без признака присутствия известняков) показали, что в криоаридных условиях на сухих склонах, начиная с глубин 30–50 см. накапливаются карбонаты кальция и магния, а в грунтах, периодически обводняемых подземными водами высокой жесткости наряду с кальцием и магнием накапливаются еще и натриевые соли при ведущей роли солей магния (Васильчук, 2015). Вместе с тем, кудуры в горах Южной Сибири распространены совсем не столь широко как подобные засоленные грунты.

Таким образом, прохождение пород по пищеварительному тракту сопровождается ассимиляцией из них весьма незначительных количеств натрия, данный факт не позволяет остановиться на исключительно «натриевой» гипотезе о причине литофагии. Помимо натрия, как мы выяснили, из потребляемых пород в организм поступает целый набор микроэлементов, кроме того некоторые макро- и микроэлементы активно выводятся из организма.

Наиболее известной медико-экологической проблемой Алтае-Саянской территории является высокий уровень заболеваемости населения эндемическим зобом, а также широко распространенная пораженность эндемическим зобом домашних животных, особенно овец (Пузанов и др., 2015). При этом эндемический зоб у человека на Алтае распространен повсеместно, но неравномерно. По данным этих же авторов, в Горном Алтае выявлены также селенодефицитные провинции, а также провинции с избыточно высоким содержанием селена, особенно в степных экосистемах, в условиях которых у животных может наблюдаться селеновый токсикоз.

Подобные биогеохимические проблемы выявлены также и в горно-таежной зоне Дальнего Востока, при этом их причины, как оказалось, не ограничены только дефицитом йода или дефицитом или избытком селена, причины возникновения этих эндемий оказались значительно сложнее и до конца не определены (Ермаков, Тютиков, 2008). Кроме того, на территории Дальнего Востока РФ, в Северном Китае и КНДР распространены районы, где часто встречаются костно-суставные заболевания, распространенные как у местного населения, так и у растительноядных животных (домашних и диких). Такие территории давно известны как урвские биогеохимические провинции (Ковальский, 1974). Причины таких заболеваний до сих пор также окончательно не выяснены. Наиболее вероятной причиной исследователи считают нарушения нормального соотношения в кормах и питьевой воде целого ряда микроэлементов, причем всегда на фоне повышенных поступлений в организм стронция (Ермаков, Тютиков, 2008). Высокие

содержания стронция во всех изученных кудуритах и копролитах в районе озера заставляют внимательнее отнестись к данному факту.

Если принять за основу биогеохимическую причину литофагии (по крайней мере в тех случаях, когда в поедаемых грунтах почти отсутствует биологически доступный натрий), то остается предположить, что животные способны распознавать самые разные химические элементы и отыскивать обогащенные ими минеральные вещества. Однако это маловероятно, поскольку биогеохимических эндемий множество разновидностей, каждая характеризуется своим собственным набором избыточных и дефицитных микро- и макроэлементов, но при этом поедаются породы на кудурах, где бы они не находились, с приблизительно одинаковым набором элементов при ведущей роли ионов натрия.

В 2016 г. в развитие «микроэлементной гипотезы» была предложена идея (Паничев, 2016), суть которой в том, что искать биогеохимическую причину литофагии необходимо в контексте биохимической специфики иммунной системы, определяемой участием в ее составе какого-то более или менее постоянного набора химических элементов, обладающих чрезвычайно важными и при этом пока мало- или вовсе неизвестными биологическими функциями. В число особо важных химических элементов, обеспечивающих бесперебойную работу иммунной системы на уровне таких важнейших желез, как эпифиз и щитовидная железа, а также на уровне нервных клеток в головном и спинном мозге (назовем их условно элементами иммунной системы), похоже, входят: Y, Sc, а также La и легкие лантаноиды (Ce, Pr, Nd, Sm). К такому предположению мы пришли после изучения ситуации на ряде кудуров в Сихотэ-Алине и анализа данных по Африке и Юго-Восточной Азии (Panichev et al., 2016). Проблема с обменом этих элементов в организме, может быть в значительной мере связана с химическим антагонизмом между легкими и тяжелыми лантаноидами, способными замещать друг друга в биологических тканях, но при этом тяжелые аналоги не могут выполнять необходимые организму функции. Анализ биологических функций лантаноидов в организме разбирался нами ранее (Panichev, 2015). Чувствительность животных к выше перечисленным элементам иммунной системы может быть как-то связанной с уже установленными фактами их накопления в гипофизе, щитовидной железе (Heatal., 2003), в нервной ткани (Dowding et al., 2014) и сердечной мышце (Shivakumar et al., 1992).

Упомянув работу (Shivakumar et al., 1992), в которой усматривается связь патологий сердечной мышцы с нарушением в ней обмена церия и магния, стоит отметить также еще две работы. Одна из них (RamanKutty et al., 1996) показывает, что обозначенные патологии распространены у людей, обитающих в некоторых районах Индии, в том числе в штате Керала, где в горных породах, почвах, а также в выращенных на таких почвах продуктах питания выявлены высокие концентрации REE. Вторая работа (Ramachandran et al., 1995) посвящена исследованию многочисленных кудуров в природном парке Чиннар на территории того же штата Керала. Из нее следует, что литофагия среди диких растительноядных животных

распространена в верхней части того же речного бассейна, в котором ниже по течению распространены биогеохимические эндемии у людей, связанные с избытком РЗЭ в монацитоносных песках. При этом дикие животные издавна потребляют кудуриты, формируемые среди сланцевых пород протерозоя сходные с теми, что потребляются в горном Алтае. С той лишь разницей, что кудуриты в парке Чиннар формируются в жарком и сухом климате, в связи с чем в них больше накапливается сульфатных и гидрокарбонатных солей алюминия, магния, калия и натрия.

Возникает устойчивое ощущение, что породы поедаются животными не только и не столько в связи с высокими содержаниями в них солей, сколько благодаря наличию в них либо каких-то специфических микроэлементов из групп редких и редкоземельных, либо (что более вероятно) – благодаря наличию в них специфических микроорганизмов, активно развивающихся в данной минеральной среде при участии редких и редкоземельных элементов. При этом микроорганизмы являются посредниками преобразователями минеральных (недоступных млекопитающим) форм REE в биодоступные формы в виде органохимических соединений.

Тот факт, что REE активно накапливают некоторые виды бактерий уже установлен исследователями. При этом полученные результаты ясно показывают, что для различных видов бактерий характерен свой собственный рисунок накопления REE. Так, например, японские исследователи (Takahashi et al., 2005), изучавшие адсорбцию REE на клеточных стенках бактерий *Bacillus subtilis* и *E. coli*, установили, что максимум адсорбции выявлен для Sm и Eu, а явное снижение сорбции наблюдается по Nd. В другом цикле исследований (Takahashi et al., 2007) было показано, что бактерии *Bacillus subtilis*, *E. coli*, *Faecalibaculum*, *Shewanella putrefaciens* и *Pseudomonas fluorescens* обнаруживают резкий рост только в тяжелых REE. Выявлено также, что с помощью лантаноидов некоторые микроорганизмы приспосабливаются к экстремальным условиям существования. К примеру, у бактерии *Methylobacillus fumariolicum*, впервые обнаруженной в водах сильно кислого горячего источника в кратере вулкана Сольфатар в Италии при изучении структуры фермента метанолдегидрогеназы было выявлено, что данный фермент содержит не кальций, как у большинства метанооксилирующих бактерий, а редкоземельные элементы La, Ce, Pr и Nd, которые бактерия поглощает из водной среды (Polato et al., 2014). Ученые обнаружили также, что аналогичное строение метанолдегидрогеназы характерно для разных видов бактерий из чего сделан вывод, что они могут быть широко распространены в природе.

Вероятнее всего, микроорганизмы, усваивающие REE, являются не только широко распространенными в источниковых водах, почвах и коре выветривания горных пород, они должны быть и необычайно важными обитателями пищеварительного тракта животных. Возможно, что именно ассоциации микроорганизмов, включающие древнейших представителей метанотрофов и сульфатредуцирующих бактерий автотрофов (в том числе археи) участвуют в ассимиляции тех самых редких и редкоземельных

микроэлементов, которые входят в состав иммунной системы любого организма. Некоторые из данных групп микроорганизмов уже используются в промышленных технологиях извлечения REE из природных и искусственных минеральных веществ (Barnettleretal., 2016).

Очень похоже, что микроэлементы, о которых идет речь, могут усваиваться в организме только в составе органо-химических биологически активных комплексов, продуцируемых грунтово-почвенными ассоциациями микроорганизмов. Не исключено, что именно такие микроорганизмы и наработанные ими биологически активные вещества, обогащенные REE и выискивают животные на кудурах по всему миру. При этом потребление животными минеральных сорбентов, насыщенных микроорганизмами, обеспечивает преодоление грунтово-почвенной микрофлорой кислотного барьера в сычуге и объединение ее с микрофлорой кишечника. Вторая, также важная причина литофагии среди животных, как очевидно, связана с потребностью в натрии. Причем эта потребность может быть связана как с самим натрием (в случае его дефицита в кормах), так и с нужными микроорганизмами, для активной жизнедеятельности которых необходима щелочная бескислородная среда.

Все остальные уже выявленные биологические эффекты глинистых минералов, цеолитов и других минералов, присутствующих в кудуридах, являются лишь сопутствующими, априори присущими им в результате длительной коэволюции мира минералов и мира биологических систем.

Выводы

Проведены полевые и лабораторные исследования собранного материала на кудурах в береговой зоне Телецкого озера, на территории Алтайского биосферного заповедника (Республика Алтай, Россия). Установлено, что животные в данном районе потребляют тонкодисперсные породы илисто-глинистой размерности, состоящие от 20 до 43 вес. % из частиц кварца, от 15 до 32% из частиц полевых шпатов, преимущественно альбита, и от 25 до 55% – из слюнистых, глинистых минералов и хлоритов, которые являются продуктами преобразования метаморфических сланцев в результате истирающего воздействия ледника изолового привноса, а также последующего их водного отложения и затем выветривания в субаэральных условиях.

Потребляемые на кудурахисточниковые воды слабоминерализованныехлоридно-гидрокарбонатно-сульфатно-натрий-кальций-магниевые и сульфатно-кальциевые. Вторая разновидность источниковых вод отличается существенно повышенными содержаниями REE.

Кислотные (HCl, pH=1) вытяжки из кудуридов наиболее активно экстрагируют кальций (от 10 до 35% от валовых содержаний). Натрий экстрагируется на уровне1–3%. В составе микроэлементов наиболее активно экстрагируются Cu, Be, Sr, Co, Cd, Pb (от 10 до 35%), а также Sc, Y и REE, переход которых в растворимую форму колеблется около 10% от валовых

содержаний. При этом концентрация REE, переходящих в растворимое состояние, в тысячи раз превышает содержания таких элементов в воде Телецкого озера.

Проведенными исследованиями не удалось доказать, что именно натрий или какой-либо другой из макро- и микроэлементов может рассматриваться в качестве основной причины литофагии среди диких животных. Вместе с тем, высказанная нами ранее идея о связи литофагии с элементами редкоземельной группы получила косвенное подтверждение. Анализ полученных результатов дает основание предполагать, что в ассимиляции REE в организме участвуют какие-то специфические ассоциации грунтово-почвенных микроорганизмов, активно развивающихся в бескислородных средах, обогащенных щелочными и щелочноземельными катионами и серой.

Благодарности

Авторы благодарят администрацию и сотрудника Алтайского заповедника А.В. Лотова за помощь в осуществлении данных исследований.

Литература:

1. Бгатов В.И., Паничев А.М., Собанский Г.Г., Ван А.В., Будников И.В. Зверовые солонцы в горах Сибири // Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1988. Т. 93. Вып. 2. С. 42-53.
2. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1993. 253 с.
3. Васильчук Дж.Ю. Геохимические факторы формирования карбонатного профиля почв криоаридных ландшафтов котловины озера Ак-Холь / Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии Т.1. Тр. IX Междунар. биогеохимической школы, Барнаул, 2015. С. 178-180.
4. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф. Геохимическая экология животных М: Наука, 2008. 315 с.
5. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М: Наука, 1974. 298 с.
6. Насимович А.А. К познанию минерального питания диких животных Кавказского заповедника // Тр. Кавк. Зап. 1938. Вып. 1. С. 103-150.
7. Паничев А.М. Литофагия в мире животных и человека М. Наука, 1990. 224 с.
8. Паничев А.М. Литофагия: причины феномена // Природа. 2016. № 4. С.25-35.
9. Пузанов А.В., Ельчанинова О.А., Рождественская Т.А. К 85-летию М.А.Мальгина – видного ученого в области биогеохимии, агрохимии, почвоведения, экологии / Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии Т.1. Тр. IX Междунар. биогеохимической школы, Барнаул, 2015. С. 13-16.
10. Шапошников Ф.Д. О солонцевании диких копытных животных в горно-таежном Алтае // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1953. Т. 58. Вып. 1. С. 3-10.

11. *Шевченко Г.А.* Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай) / Автореф. канд. диссерт. на соиск. учен. степен. кандидата геолого-минералогических наук, Томск, 2010. 22 с.
12. *Barnettler F., Castelberg C., Fabbri C., Brandl H.* Microbial mobilization of rare earth elements (REE) from mineral solids—A mini review // *AIMS Microbiology*, 2016. V.2 Is. 2. P.190-204. DOI: 10.3934/microbiol.2016.2.190
13. *Cowan I.McT., Brink V.C.* Natural game licks in the Rocky Mountain National Parks of Canada // *J. Mammal.* 1949. Vol. 30. № 4. P. 379-387.
14. *Dalke P.D., Beeman R. D., Kindel F.J., Robel R. J., Williams T.R.* Use of salt by elk in Idaho // *J. Wildlife Management*, 1965. Vol. 29. P. 319-332.
15. *Dowding J.M., Song W., Bossy K., Karakoti A., Kumar A., Kim A., Bossy B., Seal S., Ellisman M.H., Perkins G.W., Self T., Bossy-Wetzel E.* Cerium oxide nanoparticles protect against A β -induced mitochondrial fragmentation and neuronal cell death // *Cell Death & Differentiation*, 2014, Vol. 21. P. 1622-1632.
16. *Fraser D., Reardon E.* Attraction of wild ungulates to mineral-rich springs in central Canada // *Holarctic Ecology*, 1980. Vol. 3. P. 36-40.
17. *Gilardi J.D., Duffey S.S., Munn C.A., Tell L.A.* Biochemical functions of geophagy in parrots: detoxification of dietary toxins and cytoprotective effects // *J. Chem. Ecol.*, 1999. Vol. 25. P. 897-919.
18. *Hebert D., Cowan I.M.* Natural saltlicks as a part of the ecology of the mountain goat // *Canadian Journal of Zoology*, 1971. Vol. 49. P. 605-610.
19. *He M.L., Ranz D., Rambeck W.A.* Effect of dietary rare earth elements on growth performance and blood parameters of rats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2003. Vol. 87. P. 1-7.
20. *Houston D.C., Gilardi J.D., Hall A.J.* Soil consumption by elephants might help to minimize the toxic effects of plant secondary compounds in forest browse // *Mammal. Review.* 2001. Vol. 31. Is. 3-4. P. 249-254.
21. *Klaus, G., Schmid B.* Geophagy at natural licks and mammal ecology: a review. *Mammalia*, 1998. 62: 48-497.
22. *Kreulen D.A.* Lick use by large herbivores: a review of benefits and banes of soil consumption. *Mammal Rev.* 1985. 15: 107-123.
23. *Moe S.R.* Mineral content and wildlife use of soil licks in southwestern Nepal // *Canadian Journal of Zoology*, 1993. Vol. 71. P. 933-936.
24. *Mure A. I.* The moose of isle Royale // *Misc. Publ. Mus. Zool. Univ. Mich.* 1934. № 25. P. 1-44.
25. *Oates J.F.* Water-plant and soil consumption by Guereza Monkeys (*Colobus guereza*): a relationship with minerals and toxins in the diet? // *Biotropica*, 1978. Vol. 10. P. 241-253.
26. *Panichev, A. M., Golokhvast, K. S., Gulkov, A. N., & Chekryzhov, I Yu.* Geophagy and geology of mineral licks (kudurs): A review of Russian publications. *Environmental Geochemistry and Health*, 2013. 35 (1). P. 133-152.
27. *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 9. 2015. P. 95-103.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.als.2015.12.001>
28. *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. 38. P.1255-1270. DOI 10.1007/s10653-015-9788-7
 29. *Pol A., Barends T.R.M., Dietl A., et al.* Rare earth metals are essential for methanotrophic life in volcanic mudpots. *Environ Microbiol*, 2014. Vol.16. P. 255-264.
 30. *Raman Kutty V., Abraham S., Kartha C.C.* Geographical Distribution of Endomyocardial Fibrosis in South Kerala // *International Epidemiological Association*, 1996. V. 25. No. 6. P. 1220-1207.
 31. *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.
 32. *Shivakumar K., Renuka Nair R., Valiathan M.S.* Paradoxical effect of cerium on collagen synthesis in cardiac fibroblasts // *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 1992. Vol. 24. Is. 7. P. 775-780.
 33. *Sun S.S., Mcdonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of ocean basalts implications for mantle composition and processes // *Magmatism in Ocean Basins*. A.D. Saunders and M.J. Norry Geol. Soc. London. Spec. Pub. B. 42. 1989. P. 313-345.
 34. *Takahashi Y., Chatellier X., Hattori K.H., Kato K., Fortin D.* Adsorption of rare earth elements onto bacterial cell walls and its implication for REE sorption onto natural microbial mats // *Chemical Geology*, 2005. Vol. 219. P. 53-67.
 35. *Takahashi Y., Hirata T., Shimizu H., Ozaki T., Fortin D.* A rare earth element signature of bacteria in natural waters? // *Chem. Geol.*, 2007. Vol. 244. Is 3. P. 569-583.
 36. *Vermeer D.E., Ferrell R.E.* Nigerian geophagical clay: a traditional anti-diarrhoeal pharmaceutical // *Science*, 1985. Vol. 227. P. 634-636.