

БИОЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ

Александр Михайлович Паничев – д.б.н., в.н.с. лаборатории экологии и охраны животных, Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Alexander M. Panichev – Doctor of Science, Leading Researcher of Laboratory of Ecology and Animals Protection, Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok

Владимир Константинович Попов – к.г.-м.н., в.н.с., Учреждение Российской академии наук Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Vladimir K. Popov – MD, PhD, Leading Researcher of Laboratory of Vulkanology, Far Eastern Institute of Geology FEB RAS, Vladivostok

Игорь Юрьевич Чекрызов – н.с. лаборатории Геохимии, Учреждение Российской академии наук Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Igor Yu. Chekrijov – Researcher of Laboratory of Geochemistry, Far Eastern Institute of Geology FEB RAS, Vladivostok

Кирилл Сергеевич Голохваст – к.б.н., доцент кафедры нефтегазового дела и нефтехимии, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток;

ВФ ДНЦ ФПД СО РАМН – НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения, г. Владивосток

Kirill S. Golokhvast – MD, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Deal, Engineering School, Far Eastern Federal University; Researcher of Laboratory of Medical Ecology, Institute of Medical Climatology and Rehabilitation SB RAMS, Vladivostok

Иван Владимирович Серёдкин – к.б.н., доцент, заведующий лабораторией экологии и охраны животных, Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

Ivan V. Seryodkin – PhD, Associate Professor, Head of Laboratory of Ecology and Protection of animals, Establishment of Russian Academy of Sciences Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok

УДК 551.4; 502; 504; 574; 577

КУДУРЫ СОЛОНЦОВСКОГО ПАЛЕОВУЛКАНА
В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТАЁЖНАЯ, ВОСТОЧНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ

KUDURS OF PALEOVOLCANO SOLONTSOVIY IN THE TAYOJNAYA RIVER BASIN,
EAST SIKHOTE-ALIN

В статье характеризуются минеральный и химический состав цеолитсодержащих вулканических и вулканогенно-осадочных пород в пределах Солонцовского палеовулкана, которые активно используются дикими животными в качестве минерально-пищевой добавки с формированием характерных ландшафтных комплексов – кудуров. Полученные данные сопоставляются с результатами аналогичных исследований в других районах Сихотэ-Алиня и за его пределами. На основе количественного сопоставления химических элементов в составе поедаемых пород и в экскрементах животных, почти полностью состоящих из цеолитизированных пород, обсуждаются причины литофагии.

Ключевые слова: литофагия, вулканические породы, кудуры, кудуриты, цеолиты.

The paper characterizes mineral and chemical composition of the zeolite volcanic and volcano-sedimentary rocks within Solontsoviy paleovolcano which are actively used by wild animals as a mineral supplement to the formation of characteristic landscapes – kudurs. The obtained data are compared with the results of similar studies in other parts of the Sikhote-Alin and beyond. Based on a quantitative comparison of the chemical elements in the rocks and in the feces of animals, which are almost made up of zeolite, the reasons for lithophagy are discussed.

Key words: **lithophagy, volcanic rock, kudur, kudurits, zeolites.**

Сравнительно новый в науке термин «кудур» (kudur), заимствованный из лексикона азиатских кочевников, обозначает природный ландшафтный комплекс с выходами минеральных грунтов, систематически поедаемых дикими животными [9, 15]. По сути этот термин является аналогом устаревшего русскоязычного термина «зверовой солонец».

От термина «кудур» образован термин «кудуриты», обозначающий все разновидности природных минеральных грунтов, употребляемых животными на кудурах. Напомним, что причина поедания животными кудуритов до сих пор окончательно не определена, данный вопрос продолжает оставаться актуальным, требующим исчерпывающего научного объяснения. Второй вопрос, не менее интересный и мало исследованный, – геологическая природа кудуритов.

Актуальность темы кудуров и кудуритов становится особенно очевидной, если вспомнить, что она стыкуется с фундаментальной проблемой взаимодействия живых систем с минералами (включая участие минералов в происхождении жизни), имеющей выход на многие самые современные направления научного поиска, в области практической медицины, экологии, в создании технологий выращивания животных.

Поскольку при изучении кудуров и кудуритов мы имеем дело с объектами, имеющими одновременно и биологическое и геологическое содержание, становится вполне очевидным, что эффективно изучать их можно лишь при объединении усилий с одной стороны биологов и геологов (вулканологов, петрологов и геохимиков).

Основные задачи, которые ставили перед собой авторы данной работы, следующие. Через изучение общегеологических данных, собранных нами и нашими предшественниками в районе Солонцовской палеовулканической структуры, а также через целенаправленное исследование минералого-геохимических характеристик кудуритов определить геологические условия их формирования и обсудить причины их употребления животными. Кроме того, сопоставить выявленные характеристики кудуритов с детально изученными нами ранее аналогами в районе Ванчинской вулканотектонической впадины [10, 12], соотнести выявленные закономерности с данными по кудурам в других регионах мира.

Материал и методы исследования

Полевые работы с целью ознакомления с территорией, с фондовыми материалами в Сихотэ-Алинском государственном биосферном заповеднике, а также с целью сбора образцов выполнялись дважды – в сентябре 2011 г. и в мае 2012 г. Непосредственно в районе исследований пройдено четыре маршрута, в том числе по руч. Четвертый (бассейн р. Заболоченная) с выходом в верховья руч. Малый Солонцовый (бассейн р. Березовая); по южному склону г. Солонцовая; по руч. Четвертый с выходом в верховья ручья Кривой; по южным склонам руч. Четвёртый. В итоге посещены восемь кудуров, на которых отобраны пробы кудуритов в виде дезинтегрированных и оглиненных грунтов и образцы коренных горных пород, на основе которых они формируются. Кроме того, непосредственно в районе кудуров обнаружено девять кучек помета изюбрей с существенной при-

месью кудуритов (далее такие экскременты будем называть копролиты). Из них две пробы с содержанием каменного материала не менее 90 %.

Собранный каменный материал и две наиболее качественные пробы копролитов подвергнуты изучению в лабораторных условиях. Из каменных образцов сделаны прозрачные шлифы (16 шт.), которые изучались под микроскопом в лаборатории геохимии Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

В общей сложности 22 пробы каменного материала и 2 пробы копролитов были переданы на силикатный химический анализ и микроэлементный анализ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (прибор Agilent 7500, ответственный исполнитель Н.В. Зарубина). Девять проб каменного материала передано на рентгенофазовый минералогический количественный анализ в лабораторию кристаллохимии минералов им. Н.В. Белова Института геологии рудных месторождений (ИГЕМ) РАН. Определения проводились на дифрактометре Rigaku D/Max-2200, рабочий режим – 40kV, 30mA, медное монохроматическое излучение. Диагностика минерального состава проводилась методом сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-4 в программном пакете Jade-6,5 компании MDI. Минеральный анализ проводился по американской базе данных PDF-2. Количественный анализ проводился по методу коэффициентов поглощения [11]. Исполнитель В.В. Крупская

Из трех специально отобранных и перетертых проб был выделен биотит и передан в ИГЕМ РАН для определения абсолютного возраста калий-аргоновым методом. Определение содержания радиогенного аргона проводилось на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением в качестве трассера ^{38}Ar ; определение калия проводилось методом пламенной спектрофотометрии. При расчете возраста использованы константы: $\lambda_{\text{K}} = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $\lambda_{\text{B}} = 4,962 \cdot 10^{-10} \text{год}^{-1}$, $^{40}\text{K} = 0,01167$ (ат. %). Аналитик В.А. Лебедев.

Кроме того, три образца кудуритов и два образца копролитов изучены на электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионной приставкой Thermo Scientific в ДВГИ ДВО РАН.

Краткая биогеографическая характеристика района исследований и изучаемых объектов

Руины Солонцовского палеовулкана находятся на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, в пределах Тернейского административного района Приморского края. Тектонический разлом, проходящий по р. Таёжная делит их на две неравные части, сдвинутые вдоль разлома. Наибольшая часть руин палеовулканической постройки находится по правобережью р. Таежная, в бассейнах ручьев Четвёртый, Кривой и Аппендикс, распространяясь на верховья р. Заболоченная и кл. Берёзовый с охватом там самых верховьев ручьев Солонцовый, Малый Солонцовый и Петлёвочный. Приблизительно третья часть вулканической постройки расположена по левому борту р. Таёжная с охватом бассейнов ее левобережных притоков – Мартеловский, Быстрый и Жаркий. Общая площадь, занимаемая литокомплексами, относящимися к Солонцовскому палеовулкану, около 300км^2 , причем около 2/3 их находится на правобережье р. Таёжная. Значительная часть палеовулкана по правому борту р. Таежная расположена на территории Сихотэ-Алинского государственного биосферного заповедника.

В рельефе Солонцовский палеовулкан выделяется слабо. Внешне это обычная для восточного склона Сихотэ-Алиня территория со среднегорным рельефом с отметками от

400 до 1100 м. Максимальной абсолютной отметкой руин вулканической постройки является г. Солонцовая (1160 м).

Склоны наиболее высоких гор, обращенные к речным долинам, довольно круты. На них нередко встречаются каменные россыпи – курумники – хаотические нагромождения глыб до метра и более в поперечнике. Днища речных долин имеют V-образный профиль.

В районе г. Солонцовая, со стороны верховий руч. Солонцовый, на высоте около 500 м над ур. м. имеется группа горных озер оползневого происхождения. Всего озер шесть, самое крупное из них – оз. Царское с размерами 0,5×0,3 км. Со стороны кл. Четвёртый на тех же абсолютных отметках имеется еще две уже высохшие аналогичные озерные котловины.

Климат рассматриваемой территории вполне типичен для центральной части Сихотэ-Алиня, его восточного обращенного к морю макросклона. Среднегодовое количество осадков в зависимости от года колеблется от 700 до 900 мм. Большая их часть (80–85 % годовой суммы) выпадает за теплый период года. Наиболее дождливый месяц – август. Температура воздуха в течение года колеблется в среднем от +30 до –30 °С.

Первый снег на главном водоразделе и на отдельных наиболее высоких горных вершинах выпадает в конце сентября–первой половине октября, постоянный снежный покров устанавливается обычно во второй половине ноября–декабре. Здесь можно отметить, что в целом для Сихотэ-Алиня характерны резкие колебания снежности зим. Периодически отмечаются почти бесснежные зимы, иногда же к февралю–марту формируется очень мощный снежный покров, нередко достигающий 1 м и более.

Более 90 % рассматриваемой территории занято лесами. На абсолютных отметках до 600 м преобладают кедрово-широколиственные леса с кедром корейским (*Pinus koraiensis*) и дубом монгольским (*Quercus mongolica*). В интервале высот от 600 до 1000 м над у. м. преобладают пихтово-еловые леса. На отметках свыше 1000 м распространены каменноберезовые леса, непосредственно контактирующие с зарослями подгольцовых кустарников. Значительные площади со стороны верховий руч. Солонцовый заняты молодыми гарями, покрытыми преимущественно вейниковыми каменноберезниками.

Типичные для описываемого района почвы – бурые горно-лесные и буро-таежные иллювиально-гумусовые сильноскелетные кислые, характеризующиеся профилем, морфологически слабо дифференцированным на генетические горизонты. Часто встречаются участки с щебнистым почти лишенным перегноя грунтом и каменные осыпи.

Кудуры на этой территории встречаются только по правобережью р. Таёжная, в верхней части горных склонов, занятых елово-пихтовыми и кедрово-еловыми лесами, причем приблизительно на одних и тех же абсолютных отметках.

Типичные фоновые виды копытных, населяющих данный район, – изюбрь (*Cervus elaphus*) и кабарга (*Moschus moschiferus*). При этом основным посетителем кудуров является изюбрь. Кабарга не проявляет стремления посещать кудуры, что, несомненно, связано с различиями в питании этих травоядных животных. Как известно, в составе кормов кабарги преобладают эпифиты, в то время как у изюбрей – травянистые растения и кустарники, из чего вполне очевидно, что кудуры посещают только те животные, у которых наиболее тесна связь с минеральным субстратом через пищевые цепи.

Еще сравнительно недавно, до 1980-х гг., на данной территории обитал еще один вид копытных, активно посещавших кудуры, – лось (*Alces alces*). В настоящее время лоси в данном районе не встречаются, что мы связываем со сдвигом границы ареала этого вида на север в связи с общей тенденцией потепления климата в регионе.

Появление изюбрей в елово-пихтовых лесах со скоплением их на подгольцовых полянах с кудурами происходит в начале лета, обычно они остаются в верхнем поясе гор на гра-

нице леса практически все лето до поздней осени. С выпадением снега животные перемещаются ниже по склонам, в периоды глубокоснежья все спускаются в речные долины.

Помимо копытных животных, кудуры нередко посещают зайц-беляк (*Lepus timidus*), белка (*Sciurus vulgaris*), северная пищуха (*Ochotona mantchurica*) и мышевидные грызуны (мыши, полёвки), иногда оставляя на камнях характерные следы от зубов. На рис. 1 запечатлен характерный образец камня из коренного обнажения со следами зубов мышевидного грызуна, отобранный на одном из кудуров в бассейне руч. Четвертый.

Как места скопления копытных животных кудуры часто привлекают крупных хищников. В их числе преобладают бурые медведи (*Ursus arctos*), изредка заходят тигры (*Panthera tigris*), еще реже – волки (*Canis lupus*).

Как показывают данные Л.Г. Капланова [4], О.Ю. Заумысловой [21], а также ряда сотрудников заповедника, отраженные в «Летописи природы», сезон посещения животными кудуров – все бесснежное время; наибольшая активность их посещения копытными приходится на конец весны–начало лета и на конец лета–начало осени. В пиковые периоды посещения животными крупных кудуров число посещений за сутки нередко измеряется десятками. За одно посещение кудура один изюбрь среднего размера обычно потребляет от первых сотен граммов до нескольких килограммов кудурита.

Выполненные нами полевые исследования, как и материалы наших предшественников, показывают, что на рассматриваемой территории встречаются кудуры почти исключительно литоморфного облика. Как правило, это сравнительно сухие обнажения горных пород, возникающие на горных склонах различной крутизны, созданные в результате естественных склоновых эрозионных процессов и целенаправленной деятельности копытных животных. Иногда это просто каменные осыпи с участками выходов на поверхность мелкого щебня с признаками его поедания в виде лизунцовых ниш и характерной сети подходных троп, поддерживаемых животными на протяжении длительного времени. Наиболее типичный облик кудуров, встречающихся на данной территории показан на рис. 2, 3, 4.

Следует особо подчеркнуть, что кудуры в этой части заповедника известны очень давно. Наиболее крупные из них, например такие, как на осыпи в верховьях руч. Спорный (рис. 2) или на южном склоне г. Солонцовая (рис. 3, 4), существуют практически в неизменном виде не менее сотен лет.

Пожалуй, впервые догадку о необычайной длительности существования кудуров в горах Сихотэ-Алиня высказал зоолог Е.Н. Матюшкин [6] после посещения одного из самых больших кудуров на территории Сихотэ-Алинского государственного биосферного заповедника – Большого Колумбинского в верховьях р. Колумбэ.

Сегодня, основываясь на выполненных исследованиях, мы уже убеждены, что периоды жизни некоторых кудуров могут исчисляться тысячами и даже десятками тысяч лет, по сути это могут быть даже периоды геологического масштаба, в течение которых данная территория была населена крупными копытными животными. Причина такого долгожительства природных объектов привлекающих диких животных, для нас уже вполне очевидна. Как будет показано ниже, данные кудуры приурочены к обширным коренным выходам интенсивно цеолитизированных пород, в данном конкретном случае – к цеолитизированным туфогенно-осадочным кальдерным отложениям.

Периоды существования сравнительно мелких кудуров менее значительны. Длительность их жизни зависит, во-первых, от постоянства геоморфологических (рельефообразующих) факторов, определяющих выходы на поверхность цеолитсодержащих горных пород, и, во-вторых, от удобства их посещения дикими животными.



Рис. 1. Следы зубов грызуна (определил И.В. Власюк) на плотном цеолитизированном туфе риолитов. Отобрано на одном из кудуров в бассейне руч. Четвёртый



Рис. 2. Фрагмент кудура Нечет в верховьях руч. Спорный в виде осыпи цеолитизированных пород, кальдерных отложений Солонцовского палеовулкана. Животные выискивают и поедают дезинтегрированные и оглиненные разности цеолитсодержащих туфов и туффитов риолитового состава, чаще под корнями деревьев. За заднем плане типичный для данной территории ландшафт горно-таежного Сихотэ-Алиня



Рис. 3. Большой Шандуйский кудур в подножии г. Солонцовая, в истоках руч. Малый Солонцовый, на основе коренных выходов кальдерных отложений Солонцовского палеовулкана. Животные активно поедают разрыхленные и частично оглиненные продукты выветривания цеолитизированных пепловых туфов и туффитов риолитового состава



Рис. 4. Общий вид на г. Солонцовая с юга (источник: Google Map). В подножии горы справа белым пятном выделяется Большой Шандуйский кудур

Краткая геологическая характеристика солонцовского палеовулкана

Толща, сложенная туфами риолитов, включающая вулканогенно-осадочные отложения в среднем течении р. Таёжная, впервые была выделена в 1971 г. геологом Е.В. Быковской в самостоятельный стратон – «солонцовскую толщу». В результате последующих геологосъемочных работ (Королев, 1973, цит. по: [7]) и тематических исследований [7] было установлено, что породы этой толщи слагают руины вулканической постройки, названной В.В. Ветренниковым Солонцовским палеовулканом. На тектонической схеме в книге В.В. Ветренникова [7] этот вулкан выделен как Солонцовская кальдера. Фрагмент этой схемы (в упрощенном виде) показан на рис. 5.

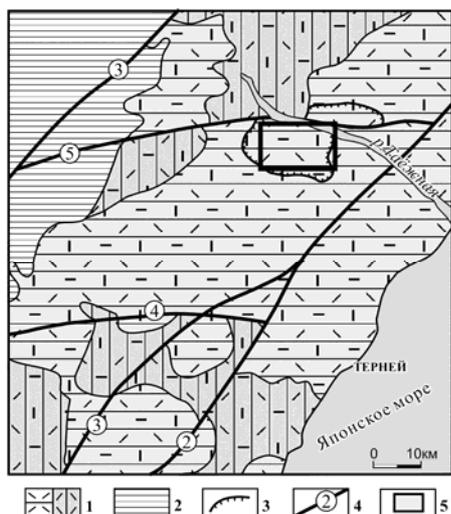


Рис.5. Тектоническая схема района Солонцовского палеовулкана (по: [7] с добавлениями авторов): 1 (а, б) – территории, занятые вулканогенными породами Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, в том числе: а – опущенные блоки; б – поднятые блоки; 2 – территории, занятые осадочными породами (складчатые структуры главного синклиория); 3 – граница Солонцовской кальдеры; 4 – важнейшие разломы: 1) – Прибрежный; 2) – Черемшанский; 3) – Колумбинский; 4) – Серебрянский; 5) – Таёжинский; 5 – контуры приведенной ниже геологической карты

Основание постройки палеовулкана сложено грубообломочными туфоконгломератами с горизонтами агломератовых туфов риолитов, формирование которых, по мнению В.В. Ветренникова [7], происходило в водной среде. Перекрываются они спекшимися туфами и игнимбритами риолитов, образовавшими мощный платообразный покров. Останцы этого покрова сохранились на наиболее высоких частях водораздела рек Заболоченная и Таёжная. Туфы и игнимбиты риолитов солонцовской толщи имеют своеобразную кремово-пепельную окраску и отличаются наличием чешуек черного биотита. Игнимбиты отличаются наличием линзовидных обломков с расщепленными краями вулканического стекла (фьямме) темно-зеленого и черного цветов.

На игнимбритах залегают пачка весьма своеобразных по облику и составу пород, формирование которых, по мнению В.В. Ветренникова, могло происходить в озерах, расположенных внутри кальдеры с многочисленными горячими источниками. Быковской Е.В. в верховьях руч. Четвёртый были составлены разрезы этих образований. В основании они сложены крупноглыбовыми пирокластическими отложениями, переходящими выше в гравийные и псаммитовые туфы риолитов, среди которых встречаются многочисленные прослои тонких темноокрашенных и тонкополосчатых кремнистых пород – опалитов, в которых нередко отмечаются слои, включающие углефицированные растительные остатки, а также прослои и линзы углистых сланцев и лигнитов.

В центральной части вулкана над игнимбритовым плато слегка воздымается плоская слегка вытянутая возвышенность размерами 5×9 км, на которой выделяется несколько горных вершин. Одна из них, расположенная в восточной части этого горного массива, –

г. Солонцовая. Вся возвышенность состоит из специфических пород – витрориолитовых, которые слагают вулканический купол. Внешне эти породы похожи на сваренные туфы. От последних они отличаются основной массой, состоящей из вулканического стекла с флюидальной структурой, в которую погружены кристаллы амфибола, биотита, пироксена, кварца и полевых шпатов.

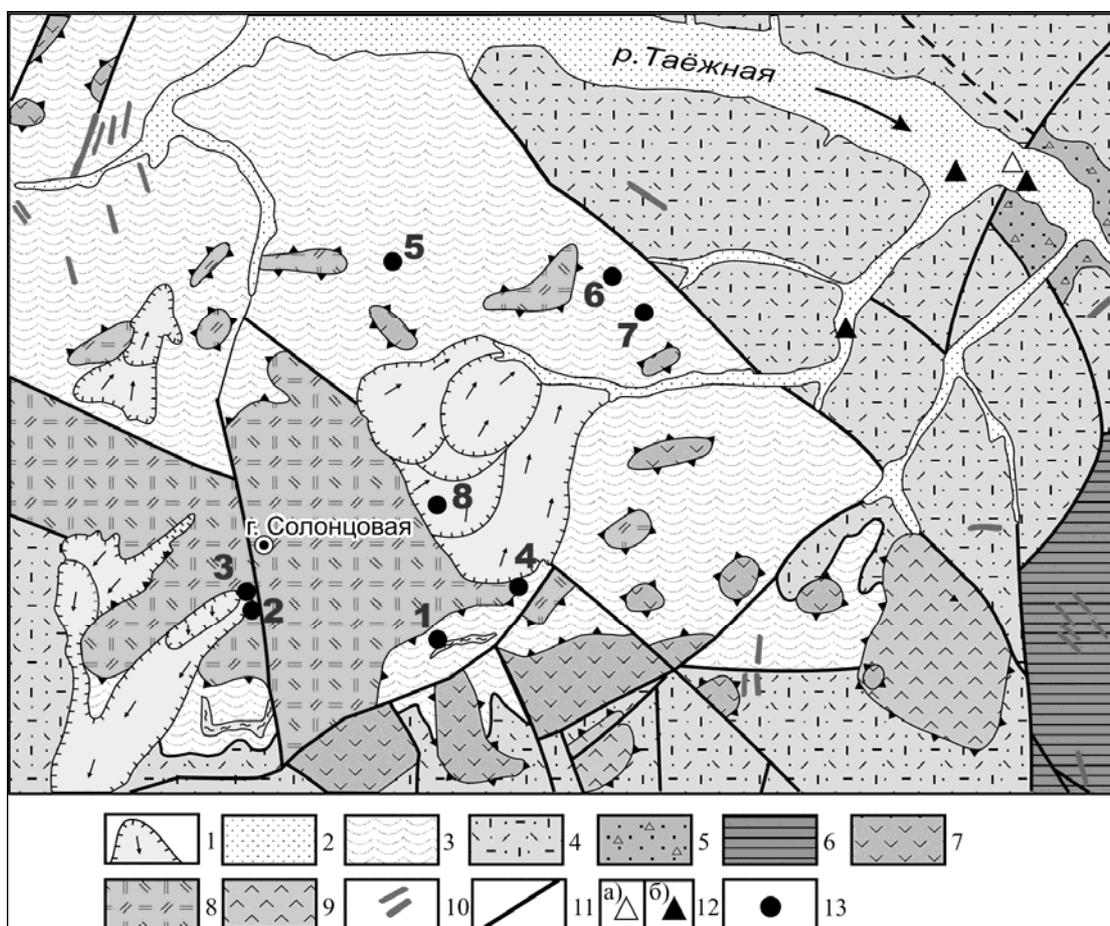


Рис. 6. Геологическая карта Солонцовского палеовулкана: 1 – нерасчлененные четвертичные отложения оползневые (стрелками показы направления сползания); 2 – четвертичные аллювиальные отложения (пески, глины, галечники); 3 – палеоценовые вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения, шандуйская толща верхняя пачка (туфы риолитов пелитовые и псаммитовые с детритом, туффиты, туфоалевролиты, туфопесчаники) с прослоями полосчатых силицитов; 4 – шандуйская толща средняя пачка (игнимбриты и сваренные туфы риолитов, псаммитовые туфы риолитов); 5 – шандуйская толща нижняя пачка (игнимбриты и туфы риолитов псефитовые и псаммитовые, туффиты); 6 – верхнемеловые вулканогенные отложения, приморская свита (туфы, туффиты, игнимбриты риолитов); 7 – андезиты палеоценового возраста; 8 – плагиориолитовые экструзии и субвулканические тела палеоцена; 9 – дацитовые экструзии и субвулканические тела палеоцена; 10 – андезитовые субвулканические тела и дайки палеоцена; 11 – разрывные нарушения; 12 – археологические памятники мезолитической эпохи (а) и эпохи бронзы (б); 13 – кудуры.

По представлениям В.В. Ветренникова [7], Солонцовский вулкан начал формироваться 80 млн лет назад. Полученные нами первые данные К/Аг-датирования пород вулканиче-

ской постройки (табл. 1) указывают на более молодой возраст ее формирования – 61–56 млн лет.

Верхняя пачка стратифицированных отложений сложена озерно-кальдерными образованиями. Среди пород преобладают тонкие, часто переотложенные пепловые туфы, реже туффиты, формирование которых происходило в водной среде с последующим диагенетическим преобразованием частиц вулканического стекла.

Строение верхней части толщи можно проиллюстрировать схематическим разрезом по кл. Прощальный видимой мощностью около 370 м, составленным В.Н. Королевым (цит. по: [7]).

1. Псефито-псаммитовые туфы риолитов желто-серого цвета – 75 м.
2. Игнимбриты риолитов псефито-псаммитовые серо-голубого цвета, содержащие до 40 % мелких (1–5 мм) линзовидных обломков стекла голубовато-зеленого цвета – 22 м.
3. Псефито-псаммитовые туфы риолитов светло-желтые – 10 м.
4. Псаммито-алевритовые туфы риолитов светло-голубого цвета – 8 м.
5. Алеврито-псаммитовые туфы риолитов белого цвета – 10 м.
6. Пелитовые туфы риолитов желтого цвета – 10 м.
7. Переслаивающиеся пелитовые туфы риолитов желтого, серого и черного цветов – 15 м.
8. Переслаивающиеся туфоалевролиты, туфопесчаники, туффиты, слоистые пелитовые туфы темно-серого и желтого цветов. В туфоалевролитах и туфопесчаниках много растительного детрита – 100 м.
9. Переслаивающиеся пелитовые туфы риолитов белого и темно-серого цвета – 100 м.
10. Псефито-псаммитовые туфы риолитов серого цвета с редкими чешуйками биотита темно-зеленого – 20 м.

Таблица 1

Результаты определения абсолютного возраста пород Солонцовского палеовулкана

Образец	Анализируемый материал	Координаты		Калий, масс %	$^{40}\text{Ar}_p \cdot 10^{-5}$, нмм ³ /г	Возраст, млн лет
		Широта	Долгота			
4-2	Биотит из туфа риолита	45°43'43"	136°57'28"	6,34±0,07	25,2±0,7	56,5±2,5
048	Биотит из экструзивного риолита	45°26'30"	136°32'40"	6,73±0,07	28,94±0,11	61,0±1,3
AB-5/2	Игнимбрит (вал)	45°29'53"	130°40'30"	2,21±0,03	8,75±0,04	56,2±1,6

Все обследованные нами кудуры в данном районе оказались приуроченными к этой верхней пачке Солонцовской толщи, а именно к цеолитизированным светло-серым, белым или желтоватым туфам риолитов преимущественно пепловым, иногда с прослоями туффитов.

Результаты минералогического и петрологического изучения кудуритов

Результаты количественного рентгенофазового анализа девяти проб представлены в табл. 2. На рис. 7 представлена одна из дифрактограмм. Все кудуриты и материнские породы, по которым кудуриты формируются, содержат значительную примесь цеолитов (в данной выборке от 35 до 75 %). В остальной части эти породы сложены частично глинистыми минералами (в максимуме до 20 %), а также различными модификациями кремнезема (тридимит, кристобалит, кварц) в количестве от 3 до 25 % и полевых шпатов. Иногда встречаются существенные примеси актинолита и гетита.

Результаты количественного рентгенофазового анализа

№ пробы	цеолиты					глинистые		Прочие минералы							
	Клиноптилолит	Морденит	Баррерит	Холмуистит	Сколечит	Монтмориллонит	Иллит	Тридимит	Кристобалит	Кварц	Ортоклаз Микроклин	Альбит Анортит	Актинолит	Магнетит	Гетит
3-1	54,7	23,3	–	–	–	13,7	1,2	7,1	–	–	–	–	–	–	–
3-1-д	50,2	21,2	–	–	–	18,3	2,8	4,1	3,4	–	–	–	–	–	–
3-2	53,1	27,3	–	–	–	5,0	1,0	–	8,5	–	–	–	–	–	5,1
3-3	54,5	25,2	–	–	–	5,0	1,0	3,2	–	–	–	–	11,1	–	–
4-1	35,4	–	–	–	–	9,0	5,3	–	–	26,3	7,1	10,2	4,1	2,6	–
4-2-1	17,5	–	14,4	16,2	–	7,4	1,0	–	–	17,6	7,5	18,4	–	–	–
5-1	–	3,5	–	–	–	94,3	–	–	–	2,2	–	–	–	–	–
5-5	32,0	–	–	–	22,7	4,5	1,0	2,9	–	26,7	–	–	10,2	–	–
5-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	93,3	6,7	–	–	–	–

Примечание. 3-1–3-3 – Большой Шандуйский кудур: 3-1 – туф пепловый в коренном залегании, белый с желтоватым оттенком, местами с многочисленными очень мелкими черными крапинками оксида железа и марганца, 3-1-Д – то же в делювии (кудурит); 3-2 туф пепловый внешне сходный с туфом из пачки ниже; 3-3 – туф пепловый внешне сходный с туфом из другого горизонта; 4-1–4-2-1 – кудур № 4: 4-1 – дезинтегрированный туффит в делювии (кудурит), 4-2-1 – туффит пелитовый, обломки на площадке; 5-1–5-7 – кудур Нечет: 5-1 – опоковидная порода из коренного свала в верхней части осыпи без признаков поедания животными, легкая белого цвета с желто-коричневым оттенком, раскалывается на плитки с раковистым изломом, 5-5 – кудурит, дресва и мелкие обломки пепловых туфов в корнях лиственницы, 5-7 – черно-коричневый силицилит, обломки на осыпи.

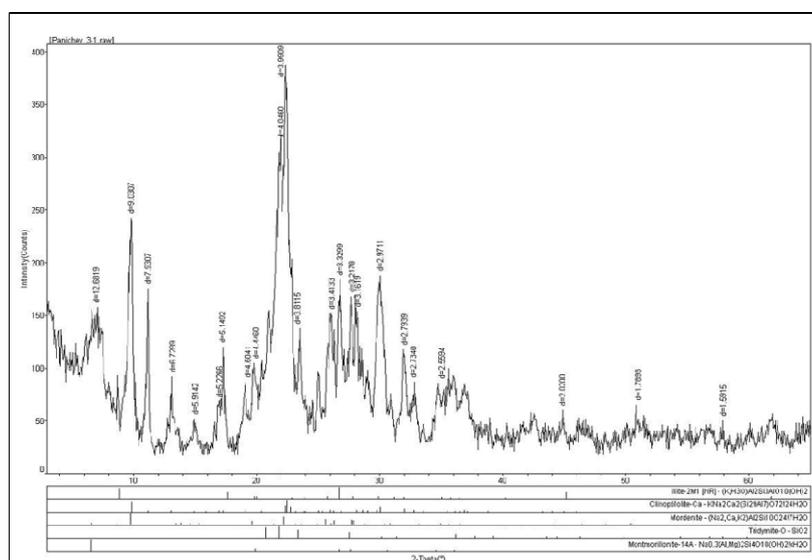


Рис. 7. Дифрактограмма одного из образцов (3-1) с общим содержанием цеолитов около 78 % (в том числе клиноптилолит – 54,7 и морденит – 23,3 %)

В составе цеолитов преобладают клиноптилолит, морденит и сколецит – наиболее характерные для гидротермально измененных кислых вулканитов. В отдельных пробах отмечено присутствие редких разновидностей, таких как баррерит и холмгуистит. Баррерит – натрийсодержащий цеолит, характерен для надрудных зон золотосеребряных месторождений, в частности, известен на Камчатке [10]. Присутствие холмгуистита труднообъяснимо, поскольку этот редкий литийсодержащий цеолит больше характерен для метасоматически измененных гранитоидов, обогащенных литием.

Наибольшее содержание цеолитов выявлено в породах Большого Шандуйского кудура. Видимая мощность пачки интенсивно цеолитизированных пород здесь (содержание цеолитов около 70–80 %) составляет не менее 50 м. Из этого следует, что уровень интереса к кудуритам у животных напрямую связан со степенью их насыщенности цеолитами. В породах Большого Шандуйского кудура наибольшее содержание цеолитов, это объясняет его наиболее активное посещение животными и, как следствие, постоянную хорошую выраженность в ландшафте.

Изучение прозрачных шлифов позволило точнее идентифицировать «материнские породы», на основе которых формируются кудуриты и выявить ряд деталей их вторичного преобразования. Преобладающая часть таких пород определяется как изначально пепловые туфы риолитового состава, пелитовой, реже псаммитовой размерности, чаще с незначительным содержанием кристаллокластов. Цеолиты наиболее активно развиваются по пепловым частицам стекла, нередко полностью замещая их хорошо видимыми в микроскоп микрокристаллическими агрегатами (рис. 9а). Глинистые минералы наиболее активно формируются в промежутках между крупными пепловыми частицами, замещая наиболее тонкий матрикс цементирующей массы. Пепловые туфы с высоким содержанием цеолитов местами полностью превращены в микрокристаллическую массу, почти полностью состоящую из цеолита (рис. 9б).

Особенности химического и микроэлементного состава горных пород и кудуритов в районе Солонцовского палеовулкана

Данные силикатного и микроэлементного ISP–MS анализов по 22 пробам (в табл. 3 приведен сокращенный вариант полученных результатов по 11 пробам) были обработаны с помощью стандартных компьютерных программ. В итоге построены три вида диаграмм: диаграммы Пирса [16], отражающие тип гранитоидных магм, диаграммы соотношений $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$ и диаграммы концентрации несовместимых и редкоземельных элементов, нормированные к составу верхней коры (по: [19]) и хондриту (для REE (по: [18])). В настоящей работе приведена лишь одна диаграмма (рис.12).

Согласно диаграммам Пирса, все изученные породы попадают в поле гранитных магм, характерных для вулканических дуг.

На классификационных петрохимических диаграммах $\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$ все породы Солонцовского вулкана попали в поле риолитов высококаалиевой известково-щелочной серии. При этом тонкие пепловые туфы верхней толщи, включая цеолитизированные разности, по химическому составу оказались близки грубообломочным туфам и игнимбритам риолитов. Лишь два образца кудуритов (2-1 и 4-1) не попали в общее поле риолитов, показав заниженные концентрации SiO_2 и K_2O (см. табл. 3). Два образца полосчатых силицилитов, отобранных в виде обломков на кудуре № 2, показали аномально высокие содержания K_2O . Содержание в них SiO_2 более 90 %.

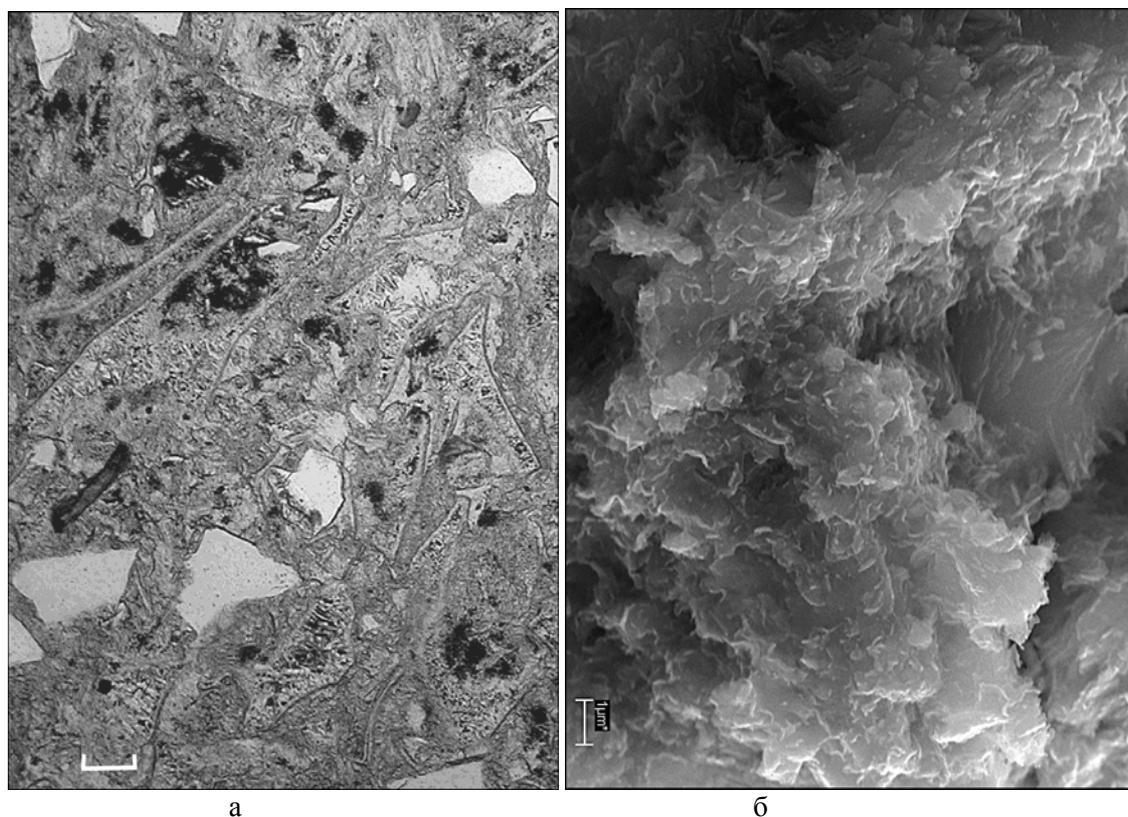


Рис. 8. Микрокристаллы цеолита по вулканическому стеклу: а – прозрачный шлиф, проба 4-2-1 (кристаллокластический пепловый туф риолита). Цеолиты развиваются по «рогулькам» вулканического стекла. Размер линейки 0,05 мм; б – проба 3-1 (пепловый туф риолита) под электронным микроскопом. Практически полное замещение вулканического стекла цеолит-сметитовыми агрегатами, размер линейки на фото 1 мкм

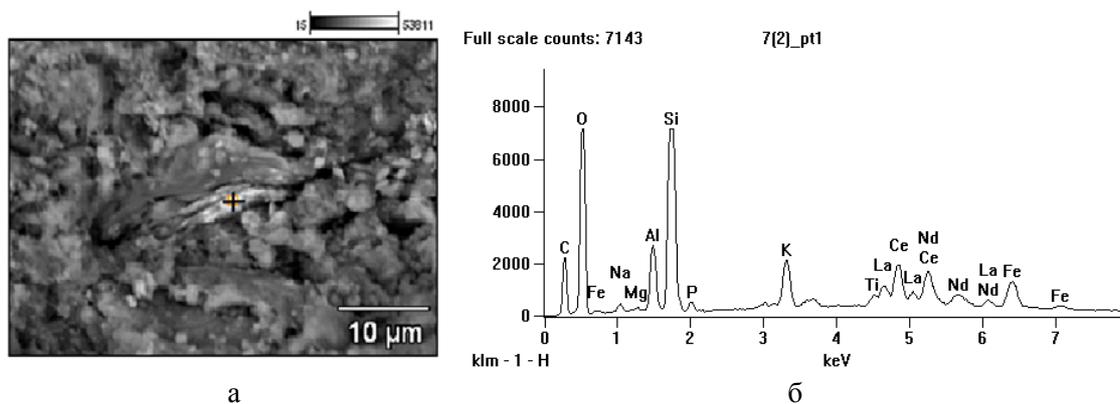


Рис. 9. Редкоземельная фаза в цеолит-сметитовом агрегате: а – снимок во вторичных электронах на электронном микроскопе, крестик в центре – место наведения микрозонда; б – микрозондовый спектр

Таблица 3

Химический (мас %) и микроэлементный (мкг/г) состав коренных цеолититов, кудуритов и копролитов в районе Солонцовского палеовулкана

эле- мент	Проба										
	2-1	3-1	3-3	3-2	4-1	4-2-1	5-1	5-5	5-7	1К	4К
SiO ₂	63,39	67,36	67,07	66,27	61,81	67,30	79,96	66,47	92,01	60,62	56,12
TiO ₂	0,74	0,11	0,13	0,16	0,55	0,14	0,10	0,19	0,08	0,17	0,17
Al ₂ O ₃	19,18	11,93	12,16	12,51	16,55	13,54	8,73	14,32	3,32	11,78	10,92
Fe ₂ O ₃	2,80	1,86	1,48	1,34	4,12	1,83	1,17	1,14	1,27	1,44	1,43
MnO	0,05	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03	0,10	0,01	0,22	0,10
MgO	0,53	0,28	0,24	0,22	1,03	0,28	0,02	0,21	0,06	0,40	0,53
CaO	4,34	1,03	1,24	1,23	3,66	1,31	0,35	1,08	0,20	1,84	2,10
Na ₂ O	4,68	1,81	2,21	2,62	3,06	2,23	1,12	1,85	0,28	1,18	1,01
K ₂ O	1,93	3,64	3,87	3,92	2,10	3,75	5,20	4,28	2,03	5,68	4,62
P ₂ O ₅	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,07	0,27	0,40
П.П.П.	2,17	11,95	11,55	6,53	4,42	5,93	2,93	8,56	0,87	16,40	22,60
H ₂ O ⁻	0,55	–	–	5,62	2,91	3,47	0,49	2,00	0,06	–	–
Сумма	100,41	100,00	99,99	100,47	100,31	99,80	100,12	100,25	100,24	99,99	100,00
Ni	1,21	0,00	0,00	1,98	2,43	1,40	4,61	0,45	26,84	0,00	0,00
Co	3,86	0,14	1,03	0,55	3,97	0,47	0,26	0,49	4,06	1,29	0,69
Cr	67,04	0,00	0,00	4,02	30,12	1,00	3,33	0,65	997,55	0,00	0,00
V	39,32	3,67	5,15	5,80	42,90	5,21	1,54	4,26	43,32	7,64	8,43
Sc	5,60	3,49	3,92	4,40	6,73	4,20	2,50	4,10	2,50	3,79	3,27
Cu	5,00	0,00	0,00	5,00	29,30	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00
Zn	47,80	34,41	30,28	42,00	85,40	58,80	16,20	50,50	18,70	41,92	45,24
Ga	18,02	17,74	15,21	12,96	15,86	12,79	4,91	12,84	3,40	13,71	12,35
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–
Sn	2,46	2,41	2,38	2,46	4,81	4,08	2,39	3,68	1,82	2,12	1,35
Be	2,44	2,34	2,98	2,14	1,81	1,92	1,17	1,58	1,87	2,73	2,35
Mo	3,71	0,20	0,21	0,64	2,04	0,45	0,38	0,24	70,67	1,54	0,10
Rb	39,28	128,63	132,13	90,77	91,47	103,62	42,17	88,77	49,57	147,08	134,18
Cs	1,99	7,25	6,53	2,97	7,47	8,70	0,52	2,56	0,76	6,38	5,82
Sr	533,80	58,11	89,56	100,34	314,74	115,40	15,30	99,70	13,80	178,01	147,81
Ba	466,20	347,40	451,70	421,50	343,60	641,70	68,12	808,30	150,60	674,60	536,60
Y	15,95	11,22	16,24	26,15	21,47	19,54	13,06	23,71	9,20	44,54	23,09
Zr	334,40	97,36	119,10	264,88	257,33	164,48	43,21	148,83	39,07	129,90	142,80
Nb	11,67	9,38	8,08	9,92	11,12	9,84	5,09	11,79	3,24	8,22	6,32
Ta	0,87	1,06	0,97	1,24	1,18	1,25	0,59	1,32	0,34	1,14	0,73
Hf	2,89	3,15	3,48	9,34	9,30	7,65	2,40	7,22	1,60	3,76	4,26
La	16,35	26,40	24,16	35,22	31,38	31,33	12,13	27,21	8,45	26,17	25,70
Ce	37,46	55,40	51,65	76,09	65,84	67,79	26,97	59,64	17,49	55,45	51,20
Pr	4,26	5,49	5,19	8,45	7,25	7,16	3,15	6,54	2,08	5,64	5,02
Nd	15,46	21,70	21,03	32,72	29,94	27,46	12,52	25,38	7,18	24,34	20,50
Sm	3,05	4,45	4,57	7,48	6,32	5,70	2,95	4,73	1,71	5,14	3,92
Eu	1,48	0,30	0,43	0,61	1,26	0,52	0,41	0,79	0,14	0,68	0,63
Gd	2,50	3,74	3,46	6,50	5,61	4,78	2,45	4,90	1,75	4,85	3,46
Tb	0,50	0,55	0,56	1,10	0,85	0,72	0,49	0,80	0,28	0,93	0,63
Dy	3,80	2,56	3,09	7,27	5,84	5,17	3,27	4,90	2,11	5,74	3,35
Ho	0,75	0,49	0,59	1,28	1,19	1,03	0,65	1,19	0,43	1,38	0,77
Er	2,50	1,33	1,84	4,10	3,27	3,51	1,93	3,37	1,33	4,84	2,45
Tm	0,36	0,21	0,27	0,64	0,50	0,55	0,26	0,51	0,22	0,74	0,35
Yb	2,62	1,55	2,11	4,21	3,49	3,38	1,80	3,91	1,31	5,07	2,53
Lu	0,40	0,22	0,30	0,68	0,60	0,58	0,32	0,64	0,16	0,70	0,36
Pb	16,70	6,20	8,80	16,32	19,70	12,70	14,54	25,42	6,12	14,10	6,00
W	5,34	0,29	0,53	2,28	3,89	1,27	3,17	2,85	70,06	0,43	0,58
Th	6,17	17,20	15,27	25,96	18,17	26,51	8,72	14,30	6,32	12,14	11,42
U	2,07	2,72	2,56	6,49	3,98	3,86	1,80	3,47	1,52	3,07	3,06

Примечание. Проба 2-1 – кудур № 2, кудурит из лизунца (цеолит-глинистая порода в делювии); пробы 3 – Большой Шандуйский кудур: 3-1 – кудурит (цеолит-сметитовая порода в делювии с

признаками поедания животными); 3-2 – цеолитизированный пепловый туф риолита в коренном залегании; 3-3 – то же из другой пачки; пробы 4 – кудур № 4: 4-1 – кудурит из лизунца (цеолит-глинистая порода в делювии); 4-2-1 – туф риолита кристаллокластический; пробы 5 – кудур Нечет: 5-1 – туф пепловый, коренной свал в верхней части осыпи; 5-5 – кудурит из лизунца под корнями дерева (цеолит-глинистая порода в делювии); 5-7 – силицит темного цвета, обломок на осыпи; 1К и 4К – копролиты, отобранные вблизи Большого Шандуйского кудура.

Спектры распределения несовместимых элементов (не входящих в минералы верхней мантии в связи с большим ионным радиусом и/или высоким зарядом иона), нормированные к составу верхней коры в туфах и игнимбритах риолитов и озерно-кальдерных пепловых отложений, показали хорошее совпадение между собой с характерным отчетливыми минимумами по Sr, P, Ti и Tb. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированные к хондриту, в туфах и игнимбритах риолитов и озерно-кальдерных пепловых отложений также близки между собой. Для них характерен европиевый минимум. Наиболее обедненным редкоземельными элементами оказался образец темного силицилита (обр. 5-7).

Результаты сопоставления выявленных геологических закономерностей по кудурам и кудуритам Солонцовского палеовулкана с аналогами в других районах Сихотэ-Алиня и за его пределами

Ранее нами проводились аналогичные детальные исследования кудуров в районе Ванчинской вулканотектонической впадины, в верховьях р. Милоградовка [10, 12]. Проявления кудуритов в пределах Ванчинской впадины приурочены к зонам разломов северо-западного простирания. Цеолитизации подвергались частицы вулканического стекла в пепловых и витрокристаллокластических туфах и туфопесчаниках палеоценового возраста. С этими породами связаны многочисленные проявления кудуритов вдоль р. Ванчин-Угольный. Интенсивной цеолитизации подверглись также пепловые туфы и перлиты эоценового вулканического комплекса в долине р. Милоградовка в районе приустьевой части р. Ванчин-Угольный. Эти породы также активно поедаются дикими животными с формированием вокруг обнажений характерных признаков кудуров.

Минеральный состав цеолититов в пределах Ванчинской вулканотектонической впадины, установленный с помощью рентгеноструктурного анализа, приблизительно одинаков для всех проявлений цеолитизации и представлен на 40–70 % цеолитами группы гейландита-клиноптилолита иногда с примесью морденита и стильбита. В остальной части преобладают глинистые минералы группы смектита (до 40 %) с примесью кристаллов оксидов кремния (преимущественно кварц) и полевых шпатов. В одном из проявлений кудуритов по цеолитизированным витрокластическим туфам отмечена существенная примесь адуляра. В другом проявлении, где цеолитизированные туфоалевролиты непосредственно контактируют с угольным пластом, отмечены также каолинит-хлоритовые изменения.

Вулканические породы, по которым формируются кудуриты в пределах Ванчинской впадины, относятся к высококаалиевой дацит-риолитовой серии. Полученные датировки K/Ar возраста риолитов ($44,7 \pm 1,0$ млн лет) свидетельствуют о более молодом их возрасте относительно аналогичных пород Солонцовского палеовулкана. В цеолитизированных породах (перлиты и витрокластические туфы) суммарное содержание щелочей относительно неизмененных риолитов и вулканических стекол значительно понижено. По химическому составу цеолитизированные перлиты, витрокластические туфы и туфогенные песчаники из разных частей разреза вулканогенно-осадочных отложений впадины близки. При этом туфогенные песчаники с максимальным содержанием цеолитов и смекти-

тов отличаются более высокими потерями при прокаливании (до 10 мас, %) и соответственно более низким содержанием SiO_2 .

Вулканические и туфогенно-осадочные породы впадины характеризуются значительными вариациями концентраций несовместимых и редкоземельных элементов.

Сопоставляя данные по особенностям проявления вулканизма и цеолитовой минерализации Ванчинской впадины и Солонцовского палеовулкана можно отметить, что процессы цеолитизации на изученных вулканических массивах, различных по морфологии, геологическому строению и возрасту, имеют ряд общих черт, обусловленных геохимическим типом проявленного здесь кислого эксплозивного вулканизма. Вторичные изменения пород этих структур были обусловлены гидротермальным изменением вулканического стекла в туфогенноосадочных породах, пепловых туфах и вулканических стеклах. Они контролировались зонами разгрузки очагового (Солонцовский вулкан) и линейного (Ванчинская впадина) типов, по которым происходила циркуляция поднимающихся из близповерхностного магматического очага гидротермальных растворов. На восточном фланге Ванчинской впадины с данным процессом связано формирование гидротермального золотосеребряного месторождения Союзное, а на северном фланге Солонцовского палеовулкана – гидротермального серебряного месторождения Таёжное. Здесь можно отметить, что связь кудуров на территории Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканического пояса с золото-серебряными месторождениями замечена нами давно, она обсуждалась еще в 1980-х гг. [8].

Очень интересна в плане сопоставления с рассмотренными выше вулканотектоническими структурами Йеллоустоунская вулканическая кальдера на территории США, поскольку обитающие в ее пределах травоядные животные также посещают кудуры и поедают на них минеральные литогенные вещества [16].

Йеллоустонская вулканическая кальдера считается самой большой из наиболее хорошо сохранившихся кальдер на Земле. По форме это овальный провал в пределах вулканического горного плато с размерами приблизительно 45×75 км, Абсолютная высота днища кальдеры составляет в среднем около 1700 м. Кальдера возникла в результате катастрофического извержения 640 тыс. л. н. и последовавшего обрушения верхней части гигантской стратовулканической постройки. В пределах кальдеры распространены туфы и лавы риолитов и базальтов. В 1872 г. в районе кальдеры образован национальный парк, сегодня он самый известный не только в США, но и в мире. В настоящее время на территории кальдеры обитает почти 60 видов млекопитающих, в том числе американский бизон (численность этих животных здесь около 4 000 особей), черный медведь (барibal), олень вапити, лось, чернохвостый олень, снежная коза, вилорог, толсторог и пума [9].

Насколько нам известно, геологические условия формирования кудуров, как и минералого-геохимические характеристики кудуритов Йеллоустоуна, пока не изучены с необходимой детальностью. Нам представляется очень вероятным, что они окажутся сходными с теми, что мы наблюдаем в Сихотэ-Алине.

Судя по ряду самых общих признаков, аналогичные закономерности можно ожидать и на островах Индонезии, в частности в районе так называемых слоновьих пещер на о. Суматра, которые описал английский зоолог-натуралист Дж. Мак-Кинон [5]. Кудуры в Индонезии, вероятнее всего, также связаны с руинами палеовулканической постройки. Аналогичная геологическая ситуация формирования кудуритов возможна в юго-восточной Африке (кальдера Нгоронгоро) и в ряде других мест.

Обсуждение причин поедания цеолитсодержащих кудуритов животными

Почему животные, обитающие в некоторых районах Сихотэ-Алиня, отыскивают и поедают породы с высоким содержанием цеолитов? Этот вопрос поставлен нами давно, но точного ответа на него пока нет. При этом можно отметить, что концепция о причинах литофагии у животных и человека в обобщенном виде существует и постоянно развивается. Наиболее полно это отражено в работах А.М. Паничева [8, 9].

Первое, самое простое, предположение, которое должно возникнуть у любого исследователя, попытающегося разобраться в данном вопросе, – цеолиты содержат значительные запасы способных к обмену ионов натрия, которые легко высвобождаются в электролите желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) животных, замещаясь, к примеру, на ионы калия, количество которых в ЖКТ всегда в избытке. К такому объяснению подталкивает, с одной стороны широко известная тяга жвачных животных к солям натрия, с другой – не менее широко известная способность цеолитов к ионному обмену.

Предположение об активном высвобождении в ЖКТ обменных ионов натрия из цеолитсодержащих кудуритов давно нами подтверждено как специальными экспериментами с искусственными электролитами [3], так и путем прямых количественных балансовых расчетов на основе силикатных анализов копролитов (экскрементов, состоящих из литогенного материала) и аналогичных им кудуритов [8]. При этом данные, полученные обоими методами, хорошо согласуются между собой.

Чтобы еще раз убедиться в этом, обратимся к результатам количественного сопоставления химического состава цеолитсодержащих кудуритов и копролитов (рис. 10), собранных нами в районе Большого Шандуйского кудура (табл. 4).

Таблица 4

Результаты сопоставления химического состава кудуритов и аналогичных им копролитов, собранных в районе Большого Шандуйского кудура

№ обр.	Элементы									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
3-1	76,52	0,12	13,55	2,11	0,03	0,31	1,16	2,05	4,14	0,01
3-3	75,84	0,14	13,75	1,67	0,04	0,27	1,40	2,49	4,37	0,03
Среднее по кудуритам	76,18	0,13	13,65	1,89	0,04	0,29	1,28	2,27	4,26	0,02
1К	72,52	0,20	14,10	1,72	0,26	0,47	2,20	1,41	6,79	0,32
4К	72,50	0,21	14,10	1,84	0,12	0,68	2,71	1,30	5,96	0,51
Среднее по копролитам	72,51	0,20	14,10	1,78	0,19	0,57	2,45	1,35	6,36	0,41
Разница	- 3,67	+ 0,07	+ 0,45	- 0,11	+ 0, 12	+ 0,28	+1,17	- 0,92	+ 2,10	+ 0,39
Разница, %	- 4,81	+ 53,84	+ 3,29	- 5,82	+ 300	+ 96,55	+ 91,40	- 40,52	+ 49,29	+ 1950

Примечание. Потери при прокаливании пропорционально разбросаны. «-» – вынос элемента из кудурита; «+» – привнос элемента в кудурит в среде ЖКТ.

Из данных табл. 4 видно, что выход натрия из породы составляет около 0,91 г на 100 г съеденной породы (или около 9 г/кг). Показатель вполне типичный для цеолитсодержащих кудуритов, причем явно значительный, если учесть, что один изюбрь в среднем за сезон может поглотить до десятка килограммов кудурита. При этом натрий в кудурите в условиях ЖКТ явно обменивается на ионы калия (см. табл. 4, валовые показатели). Тот факт, что наряду с натрием из кудуритов в среде ЖКТ высвобождается много оксида кремния (более 3,5 г/100 г) можно объяснить частичным выносом тончайших его частиц, которые покидают породу, рассредоточиваясь по ЖКТ.

При дальнейшем анализе табл. 4 нетрудно обнаружить свидетельства того, что цеолит, попадая в ЖКТ, выступает не только как поставщик ионов натрия или каких-то еще химических элементов (в данном конкретном случае, например железа). Этот природный сорбент, как очевидно, работает и по своему прямому назначению, активно поглощая по-



Рис. 10. Копролиты – экскременты изюбря, почти полностью состоящие из цеолитизированного туфа

мимо калия, целый набор различных элементов, среди которых в процентном отношении наибольшая доля в данном конкретном случае приходится на фосфор, кальций, магний и марганец (табл. 4). Можно, конечно, этот факт объяснить издержками, какие приходится терпеть животным взамен на получение наиболее дефицитного элемента.

Однако если продолжить изучение полученных результатов (табл. 3), можно заметить, что не менее сложные взаимодействия кудуритов и копролитов обнаруживаются и по микроэлементам. Причем наиболее интересные факты, на наш взгляд, обнаруживаются при сопоставлении кудурит-копролитовых аналогов в спектре несовместимых и редкоземельных элементов (эти данные для наглядности вынесены на диаграмму рис. 12). Как очевидно из графиков (рис. 11), среди элементов, наиболее активно выносимых из ЖКТ, помимо фосфора, есть также Ba, Sr и практически все тяжелые редкоземельные элементы. (Напомним, что редкоземельные элементы принято делить на две группы – легкие (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu или цериевое семейство) и тяжелые (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu – иттриевое семейство)).

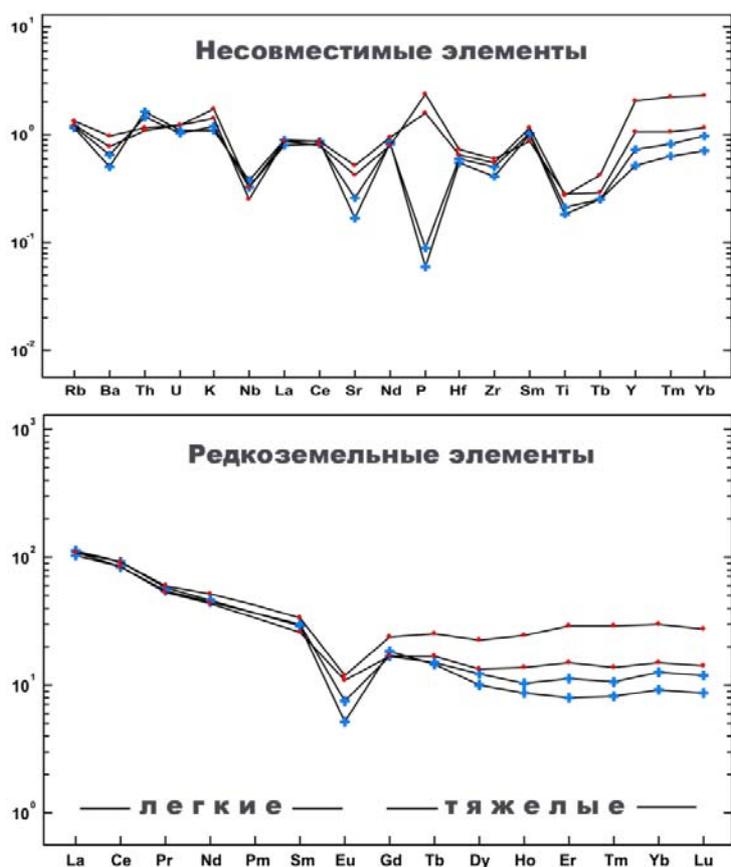


Рис. 11. Концентрации несовместимых и редкоземельных элементов, нормированные к составу верхней коры (по: [19]) и хондриту (для REE (по: [18])) в копролитах и исходных кудуритах Солонцовского палеовулкана. Данные по копролитам обозначены точками; по кудуритам – крестиками

Таким образом, характер взаимодействия кудуритов с электролитами в ЖКТ свидетельствует о том, что «натриевая гипотеза» может быть либо не везде работающей, либо не исчерпывающей, либо вовсе не верной. Это впечатление легко усилить, если напомнить, что цеолитсодержащие кудуриты в других регионах мира распространены не так широко как хлорит-гидрослюдистые разновидности, которые практически не содержат ни солей, ни ионов натрия в количествах, достаточных для компенсации периодически возникающего дефицита этого элемента в организме животных [9]. Не согласуется также натриевая гипотеза с полным игнорированием натрийсодержащих кудуров кабаргой, поскольку в основных кормах (эпифитные лишайники) у этого вида млекопитающих группы жвачных самый низкий уровень содержания натрия по сравнению с любыми кормовыми растениями зайцеобразных, оленей и лосей в практически любых местообитаниях.

Весь комплекс полученных нами данных, связанных с исследованиями цеолитсодержащих кудуритов и копролитов в Сихотэ-Алине, в том числе и в районе Солонцовского палеовулкана, свидетельствует о том, что основная причина поедания кудуритов связана со стремлением животных избавиться от избыточно-токсичных концентраций каких-то элементов, распространенных в конкретных местообитаниях, поступающих в организм с растительными кормами. При этом вывод таких элементов обеспечивается, вероятно, не только за счет сорбционных свойств самих цеолитов, но и за счет сорбционных свойств гелей из оксидов кремния, а также, возможно оксидов алюминия, железа и марганца, формируе-

мых в щелочной среде ЖКТ за счет частичной дезинтеграции дисперсной фазы в составе кудуритов. Этот вопрос подробно разбирался нами ранее [9].

О том, какие именно элементы стремятся вывести животные из организма с помощью минеральных сорбентов-ионообменников, пока можно лишь догадываться. Вероятнее всего, литофагиальные механизмы коррекции организма могут быть вызваны различными биогеохимическими причинами. Одна из них, возможно, может иметь прямую связь с группой редкоземельных элементов.

В пользу этой гипотезы можно отметить тот факт, что с избытком церия на фоне недостатка в диете магния в настоящее время связывается распространенность фибропластического париентального эндокардита Леффлера (эндомиокардиальный фиброз) – заболевания сердца, на долю которого, согласно данным медицинского справочника, в некоторых странах приходится до 15 % летальных исходов. При этом заболевание распространено преимущественно в тропической зоне Африки (Уганда, Нигерия), Азии (юг Индии, Шри-Ланка), а также Южной Америки (Бразилия и Колумбия), то есть, в тех регионах, где наиболее выражена литофагия у животных и человека. Индийские ученые-медики [13, 20] обнаружили прямую связь распространенности эндомиокардиального фиброза с содержанием в почве тропических регионов повышенных содержаний тория и церия. Установлено также, что эти микроэлементы попадают в организм с растительной пищей.

Выявленные нами в кудуритах Сихотэ-Алиня повышенные концентрации элементов редкоземельной группы [9] не исключают связи литофагии среди диких животных, обитающих на некоторых ограниченных территориях, с биогеохимическими эндемиями, связанными с избытком или недостатком таких элементов.

Подобные ситуации известны и в других регионах мира. К примеру, горные гориллы, обитающие в горах Вирунга в Африке, периодически также посещают кудуры внешне очень сходные с теми, что мы наблюдаем в Сихотэ-Алине. Даже поверхностный анализ геологической ситуации в районе вулканических гор, где обитают гориллы, свидетельствует о необычной геохимии горных пород (почв соответственно) в этом районе. Данный район относится к Восточно-Африканской рифтовой зоне, где распространены самые молодые в Африке вулканические образования. Такие породы, согласно исследованиям Н.С. Маравьевой и А.В. Иванова [7], часто обнаруживают максимальную степень обогащения редкими и несовместимыми элементами, в том числе Nb, Hf, Ta, Zr, TR, Sr, Ba, Rb, U, Th. В этом же районе Африки выявлены биогеохимические эндемии у человека, вызванные их избытком в растительности [17].

О связи кудуров с археологическими памятниками

На время существования кудуров косвенно может указывать наличие поблизости археологических памятников. Имеются такие памятники и в районе Солонцовской кальдеры (они показаны на рис. 6). Большая их часть мезолитические, они обнаружены В.В. Татарниковым в середине 1980 -х гг. (личные сведения). Один памятник, в среднем течении р. Четвёртый обнаружен краеведом С.Л. Пономарчуком (проживает в пос. Терней) в 2003 г. Помимо мезолитических памятников известен также другой, датируемый эпохой бронзы (с характерными западинами от жилья). Этот памятник тоже обнаружен В.В. Татарниковым в 1984 г. Причину интереса древнего человека к данной территории археологи объясняют наличием здесь сильно окремненных вулканических горных пород, пригодных для изготовления каменных орудий (скребки, ножи, топоры, наконечники стрел и копий). Логично предположить, что древнего человека данный район мог привлекать не только как месторождение ценного каменного материала для поделок, но и как место удобное для охот на копытных животных, посещающих кудуры.

Близость стоянок древнего человека к «долгоживущим» кудурам, по всей видимости, явление характерное. Аналогичные факты отмечены нами в районе Ванчинской вулканотектонической впадины [10], а также в районе широко известного археологического палеолитического памятника в районе с. Устиновка, который находится в непосредственной близости с месторождением цеолитовых пород с признаками активного использования их дикими копытными животными [9]. Связь древнего человека с кудурами, привлекавших диких животных, просматривается и на территории Йеллоустоуна. Согласно данным, приведенным в Интернете, первые люди поселились на территории Йеллоустоунской кальдеры около 11 тыс. л. н.

Подводя общий итог проделанной работы, следует особо отметить, что предпринятая нами очередная попытка разобраться в затронутом здесь спектре проблем на стыке геологии и биологии в очередной раз подтвердила актуальность научных поисков в данном направлении, как и необходимость расширения опыта взаимодействия специалистов геологических и биологических специальностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН 12-III-A-08-155.

Авторы благодарят администрацию Сихотэ-Алинского заповедника за оказанную помощь в проведении данного исследования.

Список литературы

1. Андреева Е.Д., Ким А.У. О цеолитах некоторых эпитеpmальных золото-серебряных месторождений Камчатки. – http://kcs.dvo.ru/ivs/publication/young_conf/2008/2/art2.pdf.
2. Ветренников В.В. Геологическое строение Сихотэ-Алинского государственного заповедника и центрального Сихотэ-Алиня – <http://sixote-alin.ru/books/vetrenn/intro.html>.
3. Елпатьевский П.В., Панчев А.М. Геохимические особенности зверовых солонцов Сихотэ-Алиня // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1980. Т. 85. Вып. 6. С. 12-23.
4. Капранов Л.Г. Тигр. Изобр. Лось // Бюл. МОИП. Отд. зоол. 1949. Вып. 14. С.18-126.
5. Мак-Киннон Дж. По следам рыжей обезьяны. М.: Мысль, 1985. 192 с.
6. Матюшкин Е.Н. Деятельность копытных как фактор преобразования природных комплексов зверовых солонцов // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1971. Т. 77. Вып. 6. С. 38-44.
7. Муравьева Н.С., Иванов А.В. Геохимия и петрология ультракалийевых вулканитов Торо-Анколе и Вирунга (Восточно-Африканская рифтовая зона) //Тез. всеросс. сем.: Геохимия магматических пород. 2006 – [/http://web.ru/conf/alkaline/2006/index74.html](http://web.ru/conf/alkaline/2006/index74.html).
8. Панчев А.М. Литофагия в мире животных и человека. М.: Наука, 1990. 215 с.
9. Панчев А.М. Литофагия. Геологические, экологические и биомедицинские аспекты. М.: Наука, 2011. 149 с.
10. Панчев А.М., Попов В.К., Чекрыжов И.Ю. Геологическая природа кудуров в вулканических горах на примере Ванчинской впадины в Сихотэ-Алине // Успехи наук о жизни. 2009. № 1. С. 52-70.
11. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.: Геоинформмарк, 2000. 292 с.
12. Чекрыжов И.Ю., Попов В.К., Панчев А.М., Середин В.В., Смирнова Е.В. Новые данные по стратиграфии, вулканизму и цеолитовой минерализации Ванчинской впадины, Приморский край // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 4. С. 45-63.
13. Kumar V.P., Shivakumar K., Kartha C.C. et al. Magnesium deficiency and cerium promote fibrogenesis in rat heart // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1996. Vol. 57. № 4. P. 517-524.
14. Mattson D.J., Green G.I., Swalley R. Geopfagy by Yellowstone grizzly bears // Ursus. 1999. Vol. 11. P. 109-116.

15. *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. № 1, Vol. 35. P.133-152.
16. *Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock // *J. Petrol.* 1984. Vol. 25. P. 956-983.
17. *Smith B., Chenery S.R.N., Cook J.M., Styles M.T., Tiberindwa J.V., Hampton C., Freers J., Rutakingirwa M., Sserunjogi L., Tomkins A., Brown C.J.* Geochemical and environmental factors controlling exposure to cerium and magnesium in Uganda // *J. Geochem. Explor.* 1998. Vol. 65. Is. 1. P. 1-15.
18. *Sun S.S., Mcdonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of ocean basalts implications for mantle composition and processes // *Magmatism in ocean basin*. A.D. Saunders and M.J. Norry Geol. Soc. London. Spec. Pub. B. 42. P. 313-345.
19. *Taylor S.R., McLennan* The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks // *Phil. Trans. R. Soc.* 1981. A301. P. 381-399.
20. *Valiathan M.S., Kartha C.C., Eapen J.T. et al.* A geochemical basis for endomyocardial fibrosis // *Cardiovasc Res.* 1989. Vol. 23. № 7. P. 647-648.
21. *Zaumislova O.J., Panichev A.M.* Licks as a Component of Environment of the Ussuryi Elk // *Syktyvkar. USSR. III Int. Moose Symp.* 1990. P. 55.