

МИНЕРАЛЫ

земные и небесные



Не каждому из геологов посчастливится открыть новый минерал, но если такое открытие случается, оно становится одним из самых волнующих событий в жизни...

В конце 1960-х гг., когда американские космонавты уже побывали на Луне, многие районы Монголии в геологическом отношении все еще оставались «белым пятном». Здесь, в Гоби, на крупнейшем в мире щелочногранитном массиве было открыто большое месторождение циркония. В одном из обнажений гранитов и пегматитов обнаружили цирконосиликат необычного цвета, который оказался новым минералом. В честь первого землянина, ступившего на поверхность другой планеты, этот минерал был назван армстронгитом

Хан-Богдинский щелочногранитный массив (Южная Монголия) имеет площадь около 1,5 тыс. кв. км. На снимках из космоса (вверху) хорошо различимы две кольцевые структуры – признак глубинного происхождения массива. В 1968 г. здесь был обнаружен новый минерал из семейства цирконосиликатов, названный в честь американского космонавта Н. Армстронга. Внизу – Армстронгитовая горка и коренной выход пегматита, на котором видны вкрапления армстронгита коричневого цвета

Ключевые слова: щелочные породы, агапитовые граниты, цирконосиликаты, армстронгит.
Key words: alkaline rocks, agpaitic granites, complex zirconium silicate minerals, armstrongite



ВЛАДЫКИН Николай Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор более 350 научных публикаций, из них 5 монографий

Каждый из минералов – достаточно однородных твердых тел, образующихся в результате природных физико-химических процессов, – характеризуется индивидуальным химическим составом и структурой, т. е. порядком взаимного расположения атомов. Именно по этим данным идентифицируют минерал, в то время как физические показатели, такие как цвет, твердость, плотность, прозрачность и др., могут быть очень близкими у разных минералов.

На сегодня известно более 4,5 тыс. разнообразных минералов, причем триста из них были открыты лишь за последние двадцать лет. Новый минерал можно обнаружить лишь в результате детального исследования образцов горных пород. В наши дни для этого используют такое современное оборудование, как *микрозонд* – рентгеновский анализатор, обычно выполненный на базе сканирующего электронного микроскопа. Генерируемый микрозондом электронный пучок направляется на образец – полированную «таблетку», сделанную из исследуемой породы, в результате чего каждый атом в составе образца начинает излучать в характерном для него рентгеновском диапазоне частот.

Таким способом в образце можно определить химический состав различных минеральных фаз и обнаружить те из них, для которых нет известных аналогов. Следующий шаг на «пути к открытию» – определение параметров элементарной ячейки кристалла.



Минералогии (крайний слева – академик И. Д. Рябчиков, справа – академик Л. Н. Когарко, в центре – автор) в хибинском апатитовом карьере. Хибинский щелочной горный массив, расположенный на Кольском п-ве, характеризуется большим геохимическим разнообразием: здесь на сегодняшний день обнаружено уже свыше пятисот минералов.

Конечно, далеко не в любых горных породах можно обнаружить новые минералы. Чаще всего это случается при изучении двух типов пород: руд редких и благородных металлов, а также пород, богатых щелочными минералами.

Щелочная «кладовая»

Особенно богаты щелочными минералами так называемые *аптаитовые породы*, в которых щелочных металлов (калия и натрия) больше, чем алюминия (т. е. отношение суммарного числа атомов К и Na к числу атомов Al больше единицы).

Образуются эти породы из магмы соответствующего состава. Сначала кристаллизуется *полевой шпат* либо *нефелин* (число атомов К + Na = Al), а избыточное количество щелочных металлов накапливается в остаточном расплаве. По мере остывания магмы последние участвуют в образовании «ультращелочных» темно-

цветных минералов, а также минералов, содержащих редкие металлы. Каждый редкий элемент в этом случае образует с калием или натрием отдельную минеральную фазу – из-за этого в аптаитовых породах наблюдается большое разнообразие таких минералов.

Свой вклад вносит и изменчивость термодинамических условий (давления, температуры, окислительно-восстановительного потенциала и т. д.), которая характерна для процесса кристаллизации магматического расплава. В результате с участием одного и того же редкого элемента может образоваться несколько минеральных фаз с разной структурой и соотношением химических элементов. Иногда эти фазы кристаллизуются сами по себе, а иногда – замещая более ранние образования. Поэтому неудивительно, что в аптаитовых породах часто обнаруживаются ранее неизвестные минералы, которые могут встречаться там не только в микро-, но и в макроколичествах.

К тому же «аптаитовые минералы» часто имеют привлекательную форму и окраску кристаллов. Красочная картина, которую можно наблюдать под микроскопом при изучении их образцов, обусловлена тем, что ионы редких элементов, как правило, имеют большой размер и, встраиваясь в кристаллическую решетку, «искажают» ее. В результате оптические свойства кристалла различаются по разным направлениям, что и приводит к появлению яркой интерференционной окраски.

Массивы щелочных пород с красивыми и разнообразными минералами, как правило, «прячутся» в труднодоступных местах – за Полярным Кругом и в тайге, в высокогорье и в пустыне. К тому же многие из них расположены на границе между регионами, а в пограничных областях геологическая съемка часто проводится менее тщательно, поэтому многие потенциально интересные геологические объекты могут быть не замечены.

Все вышесказанное объясняет, почему тот же Кольский полуостров, где расположено три гигантских аптаитовых массива – Хибины, Ловозеро и Кейвский массив щелочных гранитов, являются настоящим Клондайком для любителей красивых и редких минералов, и почему там до сих пор каждый год случаются минералогические открытия.

Здесь нужно добавить, что далеко не каждый геолог может разобраться в сложном минеральном составе щелочных пород – хорошие специалисты в этой области, как говорят, «от Бога». Если обычному геологу достаточно уметь определять «на глаз» или под микроскопом около сотни минералов, то специалисту по щелочным породам – не менее пятисот. И когда он встречается с незнакомым минералом, тот с большой вероятностью может оказаться неизвестным науке.



Бурпалинский щелочной горный массив, расположенный в Северном Прибайкалье на высоте 2,5–3,0 тыс. м, очень труднодоступен. Здесь был обнаружен ряд минералов из семейства цирконосиликатов, включая циркон, эвдиалит, бурпалит, эльпидит и т. д.

Справа вверху – крупные (до 7 см) красно-коричневые выделения эльпидита с эгирином. Хан-Богдинский щелочной гранитный массив, МНР

На этой геологической карте Сибирской платформы отмечены уникальные щелочные массивы. Сибирский регион особенно богат на аптаитовые породы: здесь расположено около 70 % отечественных геологических объектов подобного рода. Наиболее интересные из них – Сынныр и Бурпала в Северном Прибайкалье; Мурун, Инагли, и Кондер на Алдане, Арыскан в Саянах; Томтор в Восточном Прианбарье; Гули в Западном Прианбарье



* массивы щелочных гранитов



«Производные» циркония

В агапитовых породах могут образовываться и накапливаться минералы, относящиеся к очень интересному семейству *цирконосилкатов*. Среди них самый распространенный – *циркон* с простой химической формулой $ZrSiO_4$. Кристаллическая решетка этого минерала состоит из тетраэдров SiO_4 , «скрепленных» ионами циркония.

Циркон является наиболее энергетически выгодной минеральной формой редкого металла циркония. Поэтому циркон встречается почти во всех магматических породах, разного химизма и разного возраста, начиная с докембрия. Этот минерал очень устойчив к механическому разрушению, а благодаря большому удельному весу концентрируется в россыпях, откуда его и добывают.

В остаточном магматическом расплаве, из которого кристаллизуется циркон, могут накапливаться тяжелые редкоземельные элементы (а также уран и торий), которые способны устойчиво замещать цирконий в кристаллической структуре минерала. Уран благодаря естественной радиоактивности превращается со временем в свинец, поэтому циркон широко используется в геологии для определения точного возраста породы уран-свинцовым методом.

Самый красивый минерал семейства цирконосилкатов – *эвдиалит*, называемый также *саамская*

или *лопарская кровь*. Содержание циркония в этом сложном цирконосилкате составляет свыше 9 % по весу. Он встречается лишь в тех местах на планете, где сосредоточены самые большие его запасы – например, в Хибинском агапитовом массиве на Кольском полуострове. Там же можно найти и необычной красоты минерал *астрофиллит* – сложный титаносилкат, характерной формой которого являются радиально-лучистые звездчатые розетки и скопления – так называемые «астрофиллитовые солнца».

Геологов всегда интересовали закономерности образования минеральных структур в различных породах в зависимости от химизма магмы. Возьмем, к примеру, Бурпалу – труднодоступный уникальный агапитовый массив, расположенный в Северном Прибайкалье (Владыкин и др., 2001; 2002). В щелочных пегматитах этого массива обнаружено двенадцать цирконосилкатов различного состава и структуры: циркон, эвдиалит, ловенит, бурпалит, эльпидит и др. (Сотникова 2009).

Эвдиалит – редкий и потрясающе красивый минерал – окрашен в различные оттенки красного, малинового, вишневого и фиолетового цвета. Встречается обычно в виде зернистых масс; кристаллы эвдиалита используют для изготовления вставок в ювелирные изделия.

На фото – кристаллы эвдиалита в апатитовой руде. *Хибинский горный массив, Кольский п-ов*

36

Большое количество циркона встречается на Урале – в Вишневогорском и Ильменском горных массивах. По инициативе академика А. Е. Ферсмана там был создан Ильменский минералогический заповедник. В одной из копей (*вверху*) в свое время добывали минерал фергюсонит, который академик В. И. Вернадский отправлял в Париж, где Мария Кюри – будущий дважды нобелевский лауреат и одна из создателей учения о радиоактивности – извлекала из него уран для своих знаменитых опытов

Эти крупные кристаллы циркона были найдены на Кольском полуострове в Ловозерском и Хибинском горных щелочных массивах





«НЕСОВЕРШЕННЫЙ» АЛМАЗ

Циркон образует красивые кристаллы дипирамидальной или призматической формы. Окраска минерала бывает различной, в щелочных породах чаще встречаются кристаллы коричневатого и кофейного цвета.

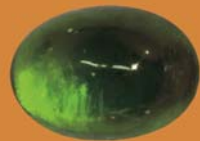
Циркон химически очень стоек и не растворяется ни в каких кислотах. Он обладает значительной плотностью и твердостью, а также редкими оптическими свойствами: его параметры двойного лучепреломления – почти как у алмаза! Ювелирные прозрачные цирконы – гиацинты – встречаются в кимберлитах вместе с алмазами. Но находят такие кристаллы очень редко.

С давних времен прозрачные окрашенные цирконы осветляли с помощью обжига, такие камни впоследствии стали называть «несовершенный алмаз». Бесцветные и слабо окрашенные ограненные гиацинты часто использовались в качестве имитации бриллиантов.

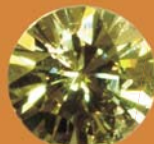
В составе циркона почти половина массы приходится на долю циркония – стратегически важного элемента, который находит широкое применение в промышленности, в том числе электронной и космической. Кроме того, из циркона можно выделять и другие редкие металлы, замещающие цирконий в кристаллической решетке минерала



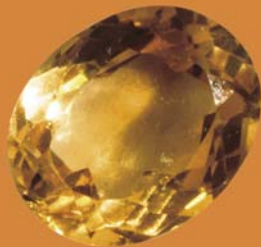
Топаз



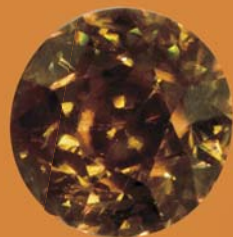
Хромдиопсид



Фианит



Цитрин



Гиацинт

Ограненный кристалл гиацинта – прозрачной красновато-оранжевой разновидности циркона – благодаря яркой окраске и сверкающему, «алмазному» блеску ничуть не уступает по красоте другим драгоценным камням



В Катугинском массиве щелочных гранитов (Восточная Сибирь) были обнаружены свидетельства интересного природного процесса – «отсадки» ранних мелких кристаллов циркона в виде полос, в результате которой в породе образуются участки, содержащие до 70 % циркона.



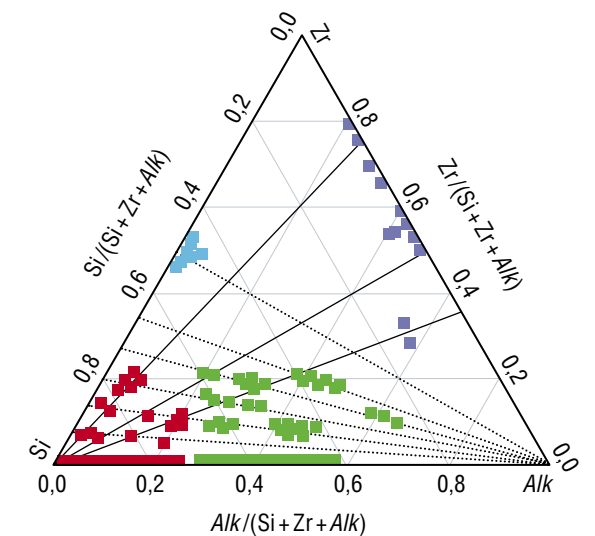
В полевом шпате встречается минерал астропфиллит, иглы которого, выросшие из единого центра кристаллизации, напоминают солнечные лучи. Хибинский горный массив, Кольский п-ов

Помимо цирконосиликатов, там были найдены минералы с содержанием титана, ниобия и редкоземельных элементов.

Чтобы наглядно изобразить связь химического состава редких минералов и вмещающих их пород, можно воспользоваться диаграммой концентрационных соотношений между минералообразующими элементами – цирконием, кремнием и «щелочами» (суммой щелочных и щелочноземельных металлов) на примере Бурпалинского горного массива.

Все двенадцать обнаруженных там цирконосиликатов располагаются на этой диаграмме компактными кластерами. При перемещении от одного кластера к другому по линиям, идущим из щелочного угла, структура силикатной группы сохраняется, изменения происходят лишь в «щелочах» – например, натрий заменяется на кальций.

Интересно отметить, что по мере следования по направлению к кремниевому углу (при этом отношение циркония к «щелочам» остается постоянным) в химической формуле минерала последовательно усложняется главный структурный элемент – силикатная группа: от SiO_4 в цирконе до Si_6O_{15} в эльпидите. Последний минерал из всего семейства цирконосиликатов наиболее кремнекислый, он содержит до 60% SiO_2 . В этом же ряду соизмеримо возрастает и кремнекислотность породы, вмещающей соответствующий цирконосиликат, – от ультраосновных пород через сиениты до гранитов. Эта закономерность говорит о четкой связи кристаллохимии минерала с химизмом магмы, из которой он кристаллизуется (Владыкин, 1979).



- Минералы ультраосновных пород и карбонатитов
- Минералы щелочных гранитов
- Минералы щелочных и нефелиновых сиенитов
- Циркон

Линии стехиометрических соотношений:

- $\text{Zr} : \text{Alk} = \text{const}$
- $\text{Si} : \text{Zr} = \text{const}$

Диаграмма, на которую нанесены данные по относительному числу атомов кремния, циркония и суммарного числа атомов щелочных и щелочноземельных металлов ($\text{Alk} = \text{Na} + \text{K} + \text{Ca}$), содержащихся в цирконосиликатах из Бурпалинского массива, позволяет наглядно классифицировать эти минералы по химическому составу и показать связь между химическим составом минералов и вмещающих их пород. По: (Владыкин, 1979)

«Космические» минералы

Именно в щелочных агпаитовых породах автором был обнаружен новый минерал, впоследствии названный *армстронгитом* в честь американского космонавта Н. Армстронга.

В 1968 г. автор вместе с коллегой, будущим академиком В. И. Коваленко, в качестве участника советско-монгольской геологической экспедиции АН СССР и МНР приехал в Гоби на Хан-Богдинский гранитный массив. Первые же минералогические находки убедили исследователей, что они имеют дело с агпаитовыми щелочными гранитами.

Затем геологи обнаружили присутствие в гранитах ярко-красного цирконосиликата *эльпидита*, размер кристаллов которого доходил до 10 см (Владыкин и др., 1972). Эта находка, важная сама по себе, дала основания для поиска на массиве редкого минерала *гагаринита* – сложного фторида, содержащего тяжелые редкоземельные элементы.

Этот минерал, названный в честь первого космонавта Ю. А. Гагарина, был открыт в 1961 г. в агпаитовых щелочных гранитах в Казахстане. Гагаринит представляет для про-

мышленности большую ценность, однако в породах содержится лишь в небольших количествах. К счастью, параллельно с гагаринитом из магматического расплава кристаллизуется и хорошо видный в породах красный эльпидит, притом в намного больших количествах. Поэтому эльпидит является своего рода «маркером» на гагаринит, так же как находка кристаллов обычно многочисленного пиропса говорит о возможном присутствии алмазов.

Занявшись поисками гагаринита, геологи попутно провели детальное исследование пород массива, обнаружив рудные участки с содержанием эльпидита до 20 %, что говорило о наличии крупного циркониевого месторождения (Коваленко и др., 1977).

На одном из участков (впоследствии названном Армстронгитовой горкой) был обнаружен необычный «эльпидит» – коричневого цвета. Анализы, проведенные позже в Иркутске, показали, что его химическая формула отличается от эльпидита. Дальнейшие детальные исследования минерала убедительно засвидетельствовали, что он является ранее неизвестным крайним кальциевым членом эльпидитового ряда.

Но какое же имя дать новому минералу? Проще всего было назвать его по составу входящих в него элементов, например, кальцирсит, но в то время уже имелся близкий по созвучию кальциртит.

Идея пришла неожиданно. Летом того же года, когда исследователи искали гагаринит, американцы впервые высадились на Луну. Гагарин был первым человеком в космосе, а Армстронг – первым человеком на другой планете. Пейзаж же «моря гранитов» Хан-Богдо с его обветренными, обожженными солнцем серо-коричневыми скалами чем-то напоминал



Гагаринит – редкий минерал, используемый в промышленности для получения тяжелых редкоземельных элементов. Он образуется в щелочных породах вместе с цирконосиликатом эльпидитом. *На фото: вверху* – красноватый гагаринит в биотите, *слева* – гагаринит в белом криалите (Катугинский горный массив, Сибирь), *справа* – желтый гагаринит в кварце (горный массив Эспе, Восточный Казахстан)



На Хан-Богдинском гранитном массиве рудные участки с эльпидитом могут образовывать очень необычные расслоенные жильные тела, состоящие из мелкозернистых гранитов и среднезернистых пегматитов (*справа внизу*) (Владыкин, 1983). Протяженность таких жильных тел составляет до 2 км при толщине до 15 м. И граниты, и пегматиты имеют одинаковый минеральный состав, куда входит до 20 % эльпидита.

Справа вверху – фрагмент расслоенного жильного тела: красный минерал – эльпидит, черный – арфведсонит, белый – микроклин, серый – кварц

лунный. Почему бы тогда не назвать новый минерал армстронгитом?

Сейчас это предложение кажется вполне «невинным», но не надо забывать, что дело происходило в разгар «холодной войны» – противостояния СССР и США! Поэтому история с армстронгитом получила соответствующее духу времени продолжение.

Статья с описанием нового минерала и актом экспертизы с разрешения тогдашнего директора Института геохимии, чл.-корр. Л. В. Таусона, была послана

в международную комиссию на утверждение. Однако против этого решения категорически выступил председатель партбюро на том основании, что уже существует минерал *армолколит*, названный в честь трех американских астронавтов, привезших его с Луны. Вышел строгий приказ – название заменить!

По международным правилам выбор названия для нового минерала является личным делом его первооткрывателя: никто не имеет права запретить то или иное название; другое дело, что его могут не утвердить. Так как описание минерала уже было отправлено, после жарких дебатов Таусон разрешил оставить прежнее название в надежде, что его «все равно не утвердят». Но эти ожидания не оправдались, и на «геологической карте» появился армстронгит!

Армстронгит – редкий минерал. Кроме Хан-Богдо, он был обнаружен только в одном другом месте – на массиве Странж Лайк в Канаде. Однако канадский армстронгит представляет собой мельчайшие зерна, которые удалось проанализировать только с помощью микронда; на Хан-Богдинском же массиве был найден кристалл размером 3×5×7 см!

Такие цирконосиликаты, как армстронгит и эльпидит, являются богатой цирконосодержащей рудой. Их запасы в Хан-Богдинском массиве велики, а в Хибинском массиве много эвдиалита. Нужда в цирконии с каждым годом растет – растут и цены на него. К сожалению, промышленные технологии извлечения циркония из этих силикатов пока не разработаны – руда будущего ждет своих исследователей.

Литература

Белов Н.В. *Очерки по структурной минералогии*. М.: Недра, 1976.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. и др. *Первая находка эльпидита в Монголии / Вопросы минералогии изверженных пород и руд Вост. Сибири*. Иркутск, 1972. С. 6–14.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. и др. *Новый силикат кальция и циркония – армстронгит // ДАН СССР*, 1973. Т. 209. № 5. С. 1185–1188.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И., Дорфман М.Д. *Минералогические и геохимические особенности Хан-Богдинского массива щелочных гранитов*. М.: Наука, 1981.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. *Минералого-геохимические особенности редкометалльных гранитоидов Монголии*. Новосибирск: Наука, 1983.

В публикации использованы фото В. Короткоручко и фото из архива автора

Согласно международным правилам, требуется получить формальное разрешение у человека, в честь которого называют новый минерал. Американский астронавт Н. Армстронг с благодарностью принял предложение российского геолога, дав письменное согласие. Справа – письмо Н. Армстронга, в котором он благодарит за присланный образец минерала, названного в его честь

Обнаруженный среди «лунных пейзажей» моря гранитов Хан-Богдинского массива минерал армстронгит внешне схож с эльпидитом ($\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), но имеет другую химическую формулу ($\text{CaZr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$). Слева – коричневые выделения армстронгита в щелочном граните; справа – самый крупный в мире кристалл армстронгита. Хан-Богдинский массив, МНР

