

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ: ГДЕ ИХ ОТКРЫВАЮТ

И. В. ПЕКОВ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

NEW MINERALS: WHERE ARE THEY DISCOVERED

I. V. PEKOV

The principles of new minerals extraction are outlined, along with the dynamics of recent discoveries. Geological and genetic conditions, which favor most the discovery of new minerals nowadays, are reviewed; the reasons for mineral diversity and for the occurrence of minerals with unusual chemical composition and crystal structure are discussed. Geological entities, where the highest number of minerals is being discovered, are named and briefly described.

Рассмотрены принципы выделения новых минералов, приведена динамика открытий за последние годы. Рассказано о геолого-генетических обстановках, в которых сегодня обнаруживается наибольшее число новых минералов, проанализированы причины формирования минерального разнообразия и появления необычных по составу и кристаллической структуре минералов. Перечислены и кратко охарактеризованы геологические объекты – рекордсмены по числу открытых минералов.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Зачем открывают новые минералы? Каковы цели их изучения? Для чего вообще нужны редкие минералы, что привлекает нас в этих, как правило невзрачных, порой чрезвычайно мелких кристалликах и зернышках, почему мы отдаем столько сил и времени таким, как может показаться, ничтожным капризам Природы? Наверное, в первую очередь потому, что стремление открыть что-то ранее неизвестное заложено в самой натуре человека. Установление каждого нового минерала, пусть даже редчайшего и микроскопического, — это фундаментальное открытие в области естественных наук, обогащающее не только минералогию и геологию, но и физику твердого тела, химию, кристаллографию. Число открытых минералов — один из важных количественных показателей успехов минералогической науки той или иной страны, и в России, как и ранее в СССР, он остается высоким: по числу открытых минералов мы уступаем только США.

Изучение новых минералов, многие из которых обладают поистине удивительными химическим составом и кристаллической структурой, оказывается очень важным для понимания законов строения вещества. Обнаружение того или иного минерала, пусть даже и в незначительном количестве, может очень многое сказать специалисту, шаг за шагом проникающему по отрывочным следам в сложнейшую историю процессов, происходящих не только в глубине Земли и на ее поверхности, но и во вземных объектах, тоже “поставляющих” новые минералы.

В настоящее время установлено около 4100 минералов, и эта цифра кажется очень скромной по сравнению с почти десятью миллионами известных синтетических химических соединений. Однако для половины минералов искусственные аналоги так и не получены, хотя попытки синтезировать многие из них предпринимались: Природа хранит тайны своей лаборатории. Природные соединения зачастую оказываются носителями ранее неизвестных свойств, которые, без сомнения, еще найдут свое практическое применение. Стремительно меняется сегодня и характер минерально-сырьевой базы: все чаще происходит так, что минералы,

лишь несколько лет назад считавшиеся редкими, обнаруживаются в виде крупных скоплений и становятся полезными ископаемыми. Яркие примеры этого – бариопирохлор $(\text{Ba, Sr})_2(\text{Nb, Ti})_2(\text{O, OH})_7$, установленный в коре выветривания карбонатитов Бразилии и ставший главным сырьем для получения ниобия, лейкофан $\text{NaCaBeSi}_2\text{O}_7$ и бертрандит $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_4$, превратившиеся из раритетов в важные рудные минералы бериллия.

Нередко приходится слышать мнение, что в геологии и минералогии все, что можно было открыть, уже давно открыто. Это неверно, и открытия новых минералов, происходящие в наши дни, – наглядное тому подтверждение. Где и в каких геологических условиях в наше время выявляются неизвестные науке минералы и почему именно здесь – этим вопросам посвящена данная статья.

ЧТО ТАКОЕ НОВЫЙ МИНЕРАЛ

Чтобы ответить на вопрос о том, что же такое новый минерал, необходимо четко определить главное понятие минералогии – термин “минерал”. Основной таксон в минералогической номенклатуре – минеральный вид. Когда мы в своей повседневной практике пользуемся словом “минерал”, то подразумеваем в подавляющем большинстве случаев именно минеральный вид, то есть эти понятия – синонимы. Итак, минерал – это твердое кристаллическое вещество определенного химического состава с определенными кристаллографическими характеристиками, возникшее в природе в результате геологических процессов на Земле или внеземных объектах (исключений из этого определения в минералогии мало, и практически все они дань истории).

Таким образом, две ключевые характеристики в совокупности определяют самостоятельный минеральный вид: химический состав и способ расположения атомов в объеме кристалла. Этот способ определяет понятие “структурный тип”, а места в кристаллической структуре, которые занимают атомы, называются кристаллографическими или структурными позициями. Обнаруженное в природе вещество признается новым минералом в том случае, если по любому из двух признаков оно не может быть отождествлено ни с одним из известных минеральных видов. Границы царства минералов, таким образом, задаются разнообразием структурных типов природных соединений и возможными комбинациями химических элементов в их рамках. Если новый минерал – представитель известного структурного типа, то главным критерием новизны является нахождение хотя бы в одной позиции его структуры атомов иного химического элемента по сравнению с уже известными минералами. Вопрос проведения границы между близкими видами в сериях твердых рас-

творов в настоящее время решен формально [1], и это, видимо, единственный однозначный путь его разрешения: самостоятельные названия приписываются конечным членам изоморфных серий, а граница устанавливается в точке с равными содержаниями всех компонентов (в двухкомпонентных системах этот принцип носит название “правило 50%”). Наглядный пример – серия оливина $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$, в которой конечными членами являются форстерит Mg_2SiO_4 и фаялит Fe_2SiO_4 : минерал, состав которого попадает в пределы от Mg_2SiO_4 до $(\text{Mg}_{0,5}\text{Fe}_{0,5})_2\text{SiO}_4$, носит название форстерит, а если его состав находится в промежутке от $(\text{Fe}_{0,5}\text{Mg}_{0,5})_2\text{SiO}_4$ до Fe_2SiO_4 , то он будет называться фаялитом.

Конечно, правила номенклатуры пишутся со стремлением к максимальной простоте, а это не может не приводить к появлению случаев, не вписывающихся в такие упрощенные классификационные схемы, ведь Природа намного разнообразнее наших моделей. Вот и получается, что принципы, очень удобные для одних групп минералов, порождают трудные “номенклатурные ловушки” для других.

ДИНАМИКА ОТКРЫТИЙ МИНЕРАЛОВ СЕГОДНЯ

Проблема максимально возможного числа минеральных видов – тема для отдельного обсуждения; здесь мы отметим только, что на этот счет существуют две противоположные точки зрения. Сторонники одной из них считают, что минералов в природе объективно немного – первые тысячи, приверженцы же другой утверждают, что разнообразие минеральных видов намного шире – десятки, если не сотни тысяч.

Практика последних десятилетий показывает, что сокращения числа открываемых видов не происходит, и за прошедшие 30 лет количество известных минералов выросло почти вдвое. После всплеска открытий в период 70-х – начала 80-х годов XX века, когда в широкую минералогическую практику вошли локальные методы исследования (в первую очередь электронно-зондовый) и значительно шагнула вперед по степени эффективности рентгеновская аппаратура [2], этот процесс несколько стабилизировался. В табл. 1 приведены статистические данные о числе новых минеральных видов, официально признанных – утвержденных Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации, за период с 1994 по 1999 год, и о соотношениях вновь открываемых минералов с уже известными. Из табл. 1 видно, что число новых видов, описываемых за год, стабильно удерживается в пределах 49 ± 5 , то есть по одному минералу открывают почти каждую неделю. Половина от общего числа минеральных видов, обнаруживаемых в наше время, имеет в минеральном царстве

Таблица 1. Число минералов, открытых за период с 1994 по 1999 год

Год	Число открытых минералов	Химические и структурные аналоги ранее известных минералов
1994	46	17
1995	50	34
1996	54	21
1997	44	17
1998	54	29
1999	47	30
Всего за 6 лет	295	148 = 50,2%

ранее открытые структурные аналоги и/или полиморфные модификации. Анализируя объективные и субъективные факторы, влияющие на число открытий, можно предсказать, что и в ближайшие одно-два десятилетия, если принципиально не изменятся критерии выделения минеральных видов, темп процесса останется близким к сегодняшнему и к 2020 году число минералов достигнет пяти тысяч.

ГДЕ ОТКРЫВАЮТ НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

Вероятность найти неизвестный ранее минерал есть всегда и в любом геологическом объекте. Можно привести немало примеров, когда новые виды обнаруживали в весьма обыкновенных, самых, казалось бы, неподходящих для этого обстановках. Однако если говорить о том, где эта вероятность объективно выше и где реально открывали и открывают наибольшее число новых минералов, то сразу четко вырисовывается круг геолого-геохимических обстановок и соответственно круг объектов – рекордсменов в отношении числа новых минералов (рис. 1).

Так, очевидна прямая связь между общим числом минералов, известным на месторождении или в массиве горных пород, и вероятностью найти здесь новые виды. Однако обширность минерального кадастра месторождения в большой мере зависит и от субъективного фактора – степени изученности: внушительный список может состоять преимущественно из обычных минералов, выявленных за долгие годы внимательного исследования. Пример – гигантское вольфрам-молибденовое месторождение Тырныауз на Северном Кавказе, детально изучаемое уже более 60 лет: его минеральный кадастр огромен – более 250 видов, но только два из них открыты здесь. Другой подобный пример – знаменитая Дальнегорская группа полиметаллических и борных месторождений в Приморье, где установлено более 150 минералов, но не открыто ни одного нового вида.

Получается, что оценки одного только минерального разнообразия мало для прогнозирования возможных открытий. Что же требуется еще? Необычность, экстремальность обстановки либо в геохимическом отношении, либо по физическим параметрам, а лучше и то и другое вместе. Новые минералы отличаются от старых по составу и/или структуре; для реализации этого нужны и соответствующие условия. Какие же факторы могут привести к появлению таких минералов? Обратимся к наиболее важным.

Первый среди них – аномально высокие содержания в минералообразующей среде каких-либо элементов, особенно редких, тех, которых мало в природе. Это способствует кристаллизации обогащенных ими минералов и ионному обмену, который “работает” и в природе. Практически все типы рассматриваемых ниже объектов в той или иной мере характеризуются такими условиями.

Очень интересный случай – аномальное обогащение компонентом, способным даже при незначительных колебаниях условий минералообразования образовывать соединения близкого валового состава, но с существенно различающимися кристаллическими структурами. Примерами такого рода могут служить месторождения боратов, где известен широкий спектр минералов со схожими химическими формулами, но совершенно разными способами соединения BO_3 -треугольников, BO_4 - и $\text{B}(\text{OH})_4$ -тетраэдров. Другой пример – приповерхностная зона урановых месторождений со всем разнообразием солей уранила – катиона $(\text{UO}_2)^{2+}$, возникающих при контакте первичных урановых руд с атмосферными кислородом и влагой.

Порождать необычные минералы способно не только изобилие тех или иных химических элементов, но и, как это ни парадоксально на первый взгляд, их дефицит. Отсутствие каких-либо компонентов, и в первую очередь тех, которые являются очень важными для большинства геологических систем, приводит к формированию собственных минералов более редких элементов, “освободившихся из-под гнета” распространенных, а также к появлению комбинаций химических элементов, необычных для природных соединений. Так, отсутствие сульфидной серы (аниона S^{2-}) при обилии так называемых халькофильных элементов (Pb, Sb, Cu, Zn, Bi, Hg и некоторых других), тех, что обычно встречаются в природе в виде сульфидов, арсенидов, теллуридов и им подобных бескислородных минералов, приводит к образованию в эндогенных условиях разнообразных соединений этих элементов с кислородом и галогенами, а также к выделению их в самородной форме. Дефицит кремнезема порождает специфические минеральные ассоциации, сложенные в основном оксидами алюминия, магния, бериллия и других элементов,

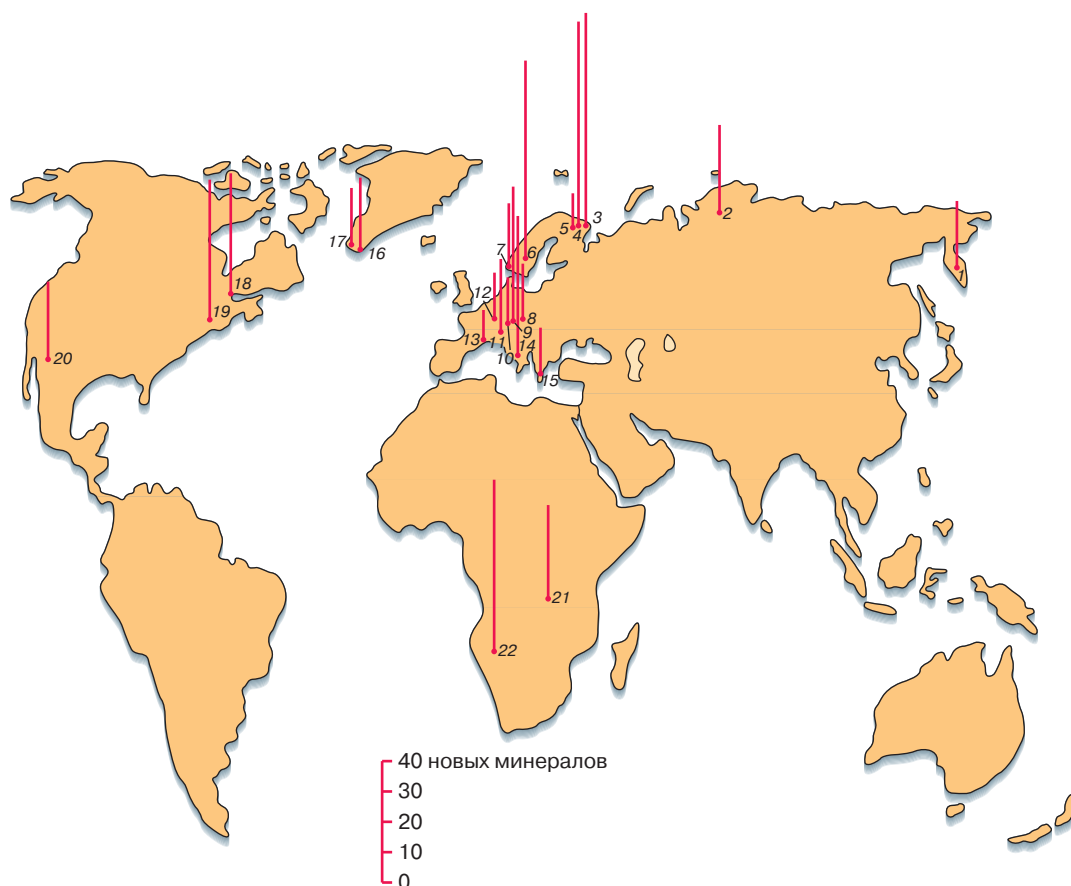


Рис. 1. Расположение объектов – рекорсменов по числу открытий новых минералов (соответствует табл. 2): 1 – Толбачик, 2 – Норильск, 3 – Ловозеро, 4 – Хибиньы, 5 – Ковдор, 6 – Лонгбан, 7 – Лангезундфьорд, 8 – Яхимов, 9 – Шнееберг, 10 – Хагендорф, 11 – Ленгенбах, 12 – Клара, 13 – Кап-Гаронн, 14 – Везувий, 15 – Лаврион, 16 – Илимаусак, 17 – Ивигтут, 18 – Сент-Илер, 19 – Франклин и Стерлинг-Хилл, 20 – Моктецума, 21 – Шинколовбе, 22 – Цумб. Составлено с использованием материалов А.А. Евсеева (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва)

обычно входящих в состав силикатов. Отсутствие свинца позволяет реализоваться многообразию сульфосолей серебра, тогда как в обычных сульфидных рудах серебро в основном присутствует в качестве примеси в галените PbS . Хочется особо обратить внимание читателей на этот крайне важный фактор дефицитности (механизмы выведения распространенного компонента из минералообразующей системы могут быть самыми разными), так как ему уделяют незаслуженно мало внимания минералоги и геохимики.

Нельзя не отметить экстремальные условия по давлению и/или температуре, где, конечно же, возникают необычные минералы. Это, например, обстановки сверхвысоких давлений в глубине Земли, где кристаллизуются минералы с очень плотными структурами. Другой случай – минеральные ассоциации, возникшие

при очень высоких температурах, но близком к атмосферному давлению: на контакте горячих лав с карбонатными породами у поверхности Земли.

Интересны аномально окислительные или аномально восстановительные обстановки минералообразования. Первые реализуются, например, в залежах селитры или зонах выхода сульфидных месторождений на земную поверхность, где в процесс включается природная серная кислота, возникающая при окислении пирита FeS_2 . Резко восстановительные условия предполагаются в родительских телах метеоритов, а на Земле они зафиксированы, например, на контакте базальтовых лав с углями.

В последние десятилетия установлено активное участие в процессах минералообразования живых организмов, и в первую очередь бактерий, провоцирующих

окислительно-восстановительные процессы. Это наиболее важно для зоны поверхностного изменения сульфидных и арсенидных руд [3], где формируется, например, такой широко известный минерал, как малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$.

Помимо этих и других внешних причин, оказывающих влияние на формирование минерального состава геологических объектов, отметим и иную группу факторов. Так, очень важны спокойные условия роста, благоприятствующие глубокой дифференциации компонентов между одновременно или последовательно кристаллизующимися минералами. Здесь в наибольшей мере реализуется так называемая избирательность или селективность различных структурных типов в отношении определенных химических элементов: большинство элементов получает возможность концентрирования в определенных структурных позициях, даже те, что присутствуют в минералообразующей среде в мизерных количествах. В таких условиях нередко формируются сложные по составу минералы с высокоупорядоченными кристаллическими структурами. В виде примеров можно привести любые сложно эволюционирующие природные системы, а сами механизмы кристаллохимической дифференциации наиболее наглядно проявляются в разделении между разными минералами близких по свойствам элементов: лантаноидов, калия и рубидия, циркония и гафния.

Напротив, кристаллизация при резко меняющихся физических и/или химических условиях тоже приводит к появлению необычных минералов. Это происходит на фронте быстрой смены температур, при стремительном росте или падении давления, на геохимических барьерах — узких зонах контакта сред с контрастными окислительно-восстановительными или иными параметрами. Как правило, кристаллы здесь зарождаются и растут с большой скоростью, что нередко приводит к возникновению нестабильных минералов, подчас с крайне неупорядоченной структурой. Примеры высокоскоростных процессов — кристаллизация из газовых взрывов в вулканических fumarолах или при подземных пожарах в горных выработках, сезонное минералообразование на земной поверхности, возникновение минеральных ассоциаций в результате ударного метаморфизма при падении метеорита.

Отметим непосредственное наследование отдельных компонентов или целых структурных фрагментов ранних минералов при замещении их другими в изменившихся условиях. Этот феномен, проявляющийся зачастую крайне локально, развит в природе необычайно широко — примеры можно найти практически в любых геологических объектах. Он играет огромную роль в формировании минерального разнообразия: за счет одного и того же минерала — родоначальника мо-

гут возникать в разных случаях десятки различных продуктов, нередко тесно соседствующих друг с другом. Так, блеклая руда $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Hg})_{10}(\text{Fe}, \text{Zn})_2(\text{As}, \text{Sb})_4\text{S}_{13}$ при разложении на земной поверхности дает более тридцати различных арсенатов и сульфатов меди, самородные серебро, медь и ртуть, куприт Cu_2O , оксиды сурьмы и много других минералов.

Заслуживает упоминания и еще одно интересное явление — некоторые минералы охотнее зарождаются и растут “при поддержке родственников”, в ориентированном (эпитаксиальном) положении на поверхности структурно близкого кристалла. Это дает им более легкую возможность преодолеть энергетический барьер при образовании зародышей кристаллов из раствора или расплава. Не редкость, например, случаи ориентированного нарастания ксенотима YPO_4 на циркон ZrSiO_4 , имеющий такую же кристаллическую структуру.

Конечно, наибольший эффект в формировании минерального разнообразия достигается там, где сочетаются несколько благоприятных факторов. Объекты-рекордсмены характеризуются обширным списком минералов, до четверти которого могут составлять виды, впервые открытые здесь. Необходимым условием являются многообразие и контрастность локальных обстановок внутри массива или месторождения, когда каждый прожилок, каждая минерализованная полость отличаются от соседних.

Таким образом, девиз чемпионов — разнообразие и своеобразие. В каких же именно геолого-геохимических обстановках и объектах открытия минералов происходят наиболее часто, где концентрация новых видов на единицу площади особенно высока? Таких мест на Земле сравнительно немного, они перечислены в табл. 2.

В первую очередь это высокощелочные, резко пересыщенные натрием и/или калием магматические породы и особенно их производные — пегматиты и гидротермалиты, то есть продукты кристаллизации из остаточных магм и горячих водных растворов, аномально обогащенные гаммой редких (Nb, Zr, REE, Sr, Ba, Be, Li, Th) и летучих (F, Cl, CO_2) компонентов. К этой генетической группе относится абсолютный чемпион — Хибино-Ловозерский комплекс на Кольском полуострове (рис. 2) [5], где в настоящее время установлено 136 новых минералов (рис. 3), а также щелочные массивы Сент-Илер (Канада), Илимаусак (Гренландия) (рис. 4), Лангезундфьорд (Норвегия), Дара-Пиоз (Таджикистан), Мурун (Сибирь). Новые минералы нередко имеют сложный состав, и поражают воображение сложностью и изяществом кристаллические постройки, где многие, даже самые дефицитные элементы находят свое место (рис. 5). Так, недавно открытый в массиве Сент-Илер хомьяковит имеет формулу $\text{Na}_{12}\text{Sr}_3\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{WSi}_{25}\text{O}_{73}(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{OH}, \text{Cl})_2$. В некоторых минералах щелочных

Таблица 2. Геологические объекты – рекордсмены по числу открытых минералов (см. также рис. 1)

Объекты, их географическое положение	Общее число открытых минералов	В том числе открыто за период 1991–2000 гг.	Генетические типы, дающие новые минералы	Краткая характеристика новых минералов
Объекты, в которых открыто не менее 15 минералов				
Ловозерский массив, Кольский п-ов, Россия	77	24	Высокощелочные пегматиты и гидротермалиты	Только кислородные соединения, в подавляющем большинстве силикаты, преимущественно высоконатриевые, сложного состава
Хибинский массив, Кольский п-ов, Россия	70	26	Высокощелочные пегматиты и гидротермалиты	Преимущественно щелочные силикаты, карбонаты, фосфаты сложного состава
Лонгбан, Вермланд, Швеция	68	5	Специфические контактовые породы, сформированные в окислительной обстановке	Только кислородные соединения, нередко с хлором: силикаты, оксиды, арсенаты, бораты марганца, свинца, железа, сурьмы, бериллия, кальция, магния
Везувий, Кампанья, Италия	60	2	Сложный вулканический комплекс: щелочные лавы и зоны их контакта с мраморами (скарны), продукты фумарольной деятельности	Разнородные минеральные ассоциации: щелочные алюмосиликаты (лавы), силикаты кальция и магния (скарны), таллоиды и сульфаты (возгоны фумарол)
Цумб, Намибия	57	12	Зона окисления сульфидных руд, в меньшей степени первичные руды	Преимущественно арсенаты, в меньшей степени другие кислородные соединения цинка, свинца, меди, германия, железа; в первичных рудках – германий- и галлийсодержащие сульфиды
Франклин, Нью-Джерси, США	45	5	Специфические контактовые породы, сформированные в окислительной обстановке	Только кислородные соединения: преимущественно силикаты и арсенаты марганца, цинка, кальция, свинца
Сент-Илер, Квебек, Канада	41	27	Высокощелочные пегматиты и гидротермалиты	Преимущественно высоконатриевые силикаты и карбонаты сложного состава
Шнееберг, Саксония, Германия	38	10	Зона окисления арсенидных и урановых руд	Преимущественно арсенаты, в меньшей степени другие кислородные соединения висмута, урана, кобальта, никеля, кальция
Норильская группа, Сибирь, Россия	30	2	Медно-никелевые сульфидные руды, связанные с базальтоподобными магматическими породами	Преимущественно интерметаллиды, арсениды, сульфиды, теллуриды палладия и платины, сульфиды меди, железа и никеля
Шинколобве, Катанга, Заир	30	1	Зона окисления урановых руд	Преимущественно сложные водные оксиды урана и соли уранила – карбонаты, силикаты и фосфаты
Ленгенбах, Валлис, Швейцария	25	7	Гидротермальная сульфидная минерализация в карбонатных породах – доломитах	Только мышьяковые сульфосоли свинца, таллия, серебра, меди
Илимаусак, ЮЗ Гренландия, Дания	25	1	Высокощелочные пегматиты	Преимущественно натрийсодержащие силикаты сложного состава, также сурьмяные сульфосоли меди и таллия

Объекты, их географическое положение	Общее число открытых минералов	В том числе открыто за период 1991–2000 гг.	Генетические типы, дающие новые минералы	Краткая характеристика новых минералов
Яхимов, Богемия, Чехия	24	4	Зона окисления арсенидно-сульфидных и урановых руд, в меньшей степени первичные руды	Преимущественно соли уранила; также арсенаты, в меньшей степени сульфиды
Толбачик, Камчатка, Россия	23	13	Продукты современной фумарольной деятельности на активном вулкане	Преимущественно сульфаты, селениты, арсенаты, хлориды, ванадаты меди, алюминия, щелочных металлов
Лангезундфьорд, Телемарк, Норвегия	23	1	Щелочные пегматиты	Преимущественно щелочные и кальциевые силикаты с титаном, цирконием, бериллием, редкоземельными элементами, торием, бором
Моктедума, Сонора, Мексика	23	–	Зона окисления теллуридных руд	Только кислородные соединения теллура
Стерлинг-Хилл, Нью-Джерси, США	22	–	Специфические контактовые породы, сформированные в окислительной обстановке	Только кислородные соединения: преимущественно арсенаты и сульфаты, в меньшей степени оксиды и силикаты марганца, цинка, магния, кальция
Ивигтут, ЮЗ Гренландия, Дания	18	1	Продукты воздействия высокофтористых растворов (флюидов) на щелочные граниты	Фторалюминаты натрия и щелочноземельных элементов, серебряно-висмутовые сульфосоли
Клара, Шварцвальд, Германия	17	3	Зона окисления арсеносульфидных руд	Преимущественно арсенаты, вольфраматы, фосфаты меди, свинца, железа, кальция, бария
Лаврион, Атика, Греция	16	4	Зона окисления сульфидных руд, а также минерализованные в морской воде шлаки античных плавильных печей	Преимущественно сульфаты, арсенаты, хлориды свинца, меди, цинка
Хагендорф, Бавария, Германия	15	1	Гранитные пегматиты фосфатного типа	Фосфаты марганца, железа, цинка, кальция
Другие объекты, в которых за период 1991–2000 гг. открыто не менее 10 минералов				
Ковдор, Кольский п-ов, Россия	13	10	Гидротермалиты, связанные с доломитовыми карбонатами – магматическими карбонатными породами	Преимущественно водные фосфаты щелочноземельных элементов
Кап-Гаронн, Вар, Франция	11	10	Зона окисления арсеносульфидных руд	Арсенаты и сульфаты меди и цинка, сульфогалогениды ртути и серебра
Магматические комплексы и рудные районы, объединяющие по два или более объектов близкого генетического типа				
Хибинско-Ловозерский аптаитовый комплекс, Кольский п-ов, Россия	136	48	См. выше	См. выше
Лонгбанский рудный район, Вермланд, Швеция	97	7	См. выше	См. выше
Рудный район Франклин, Нью-Джерси, США	65	5	См. выше	См. выше



Рис. 2. Ловозерские тундры на Кольском полуострове – не только “чемпион мира” по числу впервые открытых минералов, но и одно из самых живописных мест Европейской России. Фото Н.А. Пековой



Рис. 4. Илимаусакские горы в Юго-Западной Гренландии: отсюда в начале XIX века были привезены в Европу первые образцы высокощелочных пород с неизвестными минералами. Фото автора



Рис. 3. Раит $\text{Na}_3\text{Mn}_3\text{Ti}_{0,25}[\text{Si}_2\text{O}_5]_4(\text{OH})_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – минерал из Ловозерского щелочного массива на Кольском полуострове, названный в честь международной научной экспедиции 1969–1970 гг. на папирусной лодке “Ра” под руководством Тура Хейердала. Диаметр самой крупной “шишки” 2 мм. Образец из коллекции А.С. Подлесного, фото Н.А. Пековой

пегматитов присутствует до 4–5 различных анионных группировок, занимающих собственные структурные позиции: таков, например, минеевит $\text{Na}_{25}\text{Ba}(\text{Y}, \text{Gd}, \text{Dy})_2(\text{CO}_3)_{11}(\text{HCO}_3)_4(\text{SO}_4)_2\text{F}_2\text{Cl}$ – новый минерал из Ловозерского массива. Содержания натрия и калия при формировании пород этого типа настолько велики, что лишь очень немногие из сотен известных здесь минералов не содержат этих элементов: щелочные ме-



Рис. 5. Фекличевит $\text{Na}_{11}\text{Ca}_9(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Zr}_3\text{Nb}[\text{Si}_{25}\text{O}_{73}](\text{OH}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl}, \text{O})_5$ – новый минерал из Ковдорского щелочного массива на Кольском полуострове, открытый в 2000 году и названный в память о российском минералогe В.Г. Фекличеve. Кристалл имеет 1 см в поперечнике. Фото Н.А. Пековой

таллы входят даже в сульфиды (расвумит KFe_2S_3 , эрдит $\text{NaFeS}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), что является большой редкостью для минерального царства.

Немного уступают высокощелочным массивам по концентрации новых минералов специфические контактовые образования – скарны и скарноиды лонгбанского типа, возникшие в резко окислительной обстановке при внедрении магмы в карбонатные породы – известняки и доломиты. Они очень бедны сульфидной серой и в то же время обогащены Mn, а также Zn, As, Sb, Pb. К этому генетическому типу относятся объекты знаменитых рудных районов Лонгбан в Швеции и Франклин в Нью-Джерси, США. Господство окислительных условий ярко демонстрируется распространенностью

эндогенных арсенатов и соединений пятивалентной сурьмы. Место магнетита $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$ здесь занимают франклинит $ZnFe_2^{3+}O_4$, магнезиоферрит $MgFe_2^{3+}O_4$, яacobсит $MnFe_2^{3+}O_4$, поскольку железо не может находиться в двухвалентной форме. Халькофильные элементы вынуждены приспосабливаться к отсутствию S^{2-} : только в Лонгбане можно встретить самородки свинца массой до 50 кг или минералы с такими необыкновенными для природных объектов сочетаниями элементов, как сведенборгит $NaBe_4Sb^{5+}O_7$, хьярнеит $(Ca, Na)_2(Zr, Mn)_5(Sb^{5+}, Ti, Fe)_2O_{16}$, джосмитит $PbCa_2(Mg, Fe)_5Si_6Be_2O_{22}(OH)_2$ [4].

Окисленная зона рудных месторождений (в первую очередь сульфидных, арсенидных и урановых) — третий главный поставщик новых минералов. Зона окисления — это приповерхностные части рудных жил, где их минералы взаимодействуют с атмосферой, подземными водами, органическими компонентами почвы, а также становятся жертвами атаки микроорганизмов. Здесь господствуют кислородные соединения, по большей части водосодержащие: сульфаты, арсенаты, карбонаты, фосфаты, ванадаты, оксиды и др. Самые знаменитые объекты — Цумб в Намибии, пояс немецких и чешских Рудных гор с такими “звездами”, как Шнееберг и Яхимов, урановые месторождения Катанги в Заире, Моктецума в Мексике, рудники Корнуолла в Англии, Чукикамата в Чили, Брокен-Хилл в Австралии.

Среди объектов “второго эшелона” по числу впервые найденных минералов выделяются свои генетические группы. Так, широко известны гидротермальные, то есть сформировавшиеся посредством кристаллизации из горячих водных растворов, рудные месторождения, где спектр новых минералов представлен различными сульфидами (самое знаменитое, безусловно, Ленгенбах в Швейцарии) и теллуридами (Сэкэрымб в Румынии, Калгурли в Австралии). В основном магматическое происхождение имеют сульфидные медно-никелевые месторождения Норильской группы в Сибири, чью славу составляют разнообразные минералы палладия и платины — интерметаллиды, арсениды, теллуриды, сульфиды.

Немало открытий новых минералов происходит на вулканах с активной фумарольной деятельностью. Наиболее знамениты в этом отношении Толбачик на Камчатке, Везувий в Италии, Исалько в Сальвадоре.

Заслуживают упоминания и гранитные пегматиты — продукты кристаллизации насыщенных летучими и редкими элементами (F, B, Li, Cs, Be, Sn, Ta) остаточных гранитных расплавов. Главным источником новых минералов в этой генетической группе являются пегматиты, богатые литием и фосфором: Хагендорф в Баварии, Воронья Тундры на Кольском полуострове, Са-

пукайя в Бразилии, Тип-Топ в Южной Дакоте, США. Из объектов этого типа происходят практически все минералы тантала, многочисленные фосфаты лития, бериллия, марганца, железа.

Наконец, упомянем боратные месторождения разных генетических типов (Долина Смерти в Калифорнии, США; Северный Прикаспий в Казахстане; Забайкалье и Северный Урал в России) — объекты, где по праву торжествует структурная минералогия в чистом виде. При незначительном числе катионов (в основном это Ca и Mg, реже Na, K, Fe, Mn) разнообразие боратов здесь достигает нескольких десятков исключительно благодаря способности бора легко создавать соединения самых различных структурных типов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Еще раз коснемся проблемы максимально возможного числа минеральных видов. Кто все-таки прав: сторонники представлений о резко ограниченном их числе или же противники этих взглядов, считающие, что и десять, и двадцать тысяч минералов — это не предел для Природы? Видимо, скорее всего, вторые: ведь минеральное разнообразие прямо зависит от многообразия условий, где зарождаются и растут кристаллы, а спектр различных обстановок, особенно локальных, в одной только земной коре, как уже ясно сегодня, необычайно широк, среди них все чаще обнаруживаются экстремальные, крайне необычные по геохимическим или физическим параметрам. Именно такие объекты при всей своей незначительности в геологических масштабах поставляют в наши дни основную долю новых минералов. Сами эти минералы тоже удивительны: кто бы тридцать лет назад мог предположить существование природных сульфидов и боратов ниобия, цезиево-таллиево-ртутных сульфосолей, сульфато-оксалатов редкоземельных элементов, собственных минералов рубидия, промышленных скоплений сульфида рения. Именно такие “чудеса”, абсолютно не вписывающиеся в представления традиционной геохимии, стали реальностью в последние годы. Их список можно продолжить, и тенденции к его расширению очевидны. Однако и приверженцы теории ограниченности числа минеральных видов со своей стороны в чем-то правы: они ведь говорят в основном о минералах распространенных, породообразующих, а их как раз среди новых немного — два-три из сотни и приходится признать, что шансы открыть ранее неизвестный минерал, сколь-либо значимый в геологических масштабах, сегодня невелики, хотя и вполне реальные.

Разнообразие минерального царства, где более 80% видов относятся к редким, — замечательное явление Природы, которое, безусловно, заслуживает не только внимания, но и бережного сохранения не в меньшей

степени, чем разнообразие биологическое. Специфика мира минералов в отличие от мира животных и растений такова, что наилучшим способом сохранения минерального разнообразия является создание и систематическое пополнение научных музеев. Минералогические коллекции – важный, неотъемлемый пласт нашей материальной и духовной культуры. Таким образом, открывая, исследуя и передавая в музеи новые минералы, ученые вносят и существенный вклад в дело сохранения для потомков Природы во всем ее великом многообразии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никель Э.Х., Грайс Дж.Д. Комиссия по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации: Правила и руководства по номенклатуре минералов, 1998 // Зап. Всеросс. минерал. о-ва. 1999. Ч. 128, вып. 2. С. 51–65.
2. Пушаровский Д.Ю. Открытие и систематика минералов // Соросовский Образовательный Журнал. 1999. № 3. С. 88–94.
3. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука, 2000. 335 с.
4. Langban: The Mines, Their Minerals, Geology and Explorers / Ed. by D. Holstam, J. Langhof. Munich: Christian Weise Verlag, 1999. 215 p.
5. Пеков И.В. Lovozero Massif: History, Pegmatites, Minerals. Moscow, 2000. 480 p.

Рецензент статьи Д.Ю. Пушаровский

* * *

Игорь Викторович Пеков, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник геологического факультета МГУ. Область научных интересов – генетическая минералогия, кристаллохимия минералов. Открыл 19 новых минералов. Автор двух монографий и более 80 научных статей.