

От минералогии горелых отвалов – к концепции симметричного единства царства кристаллов

Б. В. Чесноков

Материал лекции, подготовленной мною по случаю вручения мне Демидовской премии, составляет первую часть данной статьи. За прошедшие с тех пор 7 лет исследования в области минералогии техногенеза продолжались, возникали новые проблемы и задачи, к настоящему времени частично разрешенные и во многом далекие, на первый взгляд, от исходной тематики. Произошла естественная трансформация научного направления, находящегося пока еще в «живом» состоянии. Вторая часть статьи посвящена результатам наших работ за 1994–2000 гг.

Минералогия техногенеза – одна из главных составных частей современной минералогии

Современная минералогия – наука о естественном кристаллическом веществе Вселенной. Это вещество может иметь земное происхождение (большинство известных в настоящее время минералов), а может возникнуть и в совершенно иных условиях и в совершенно другом месте. Так, гипотетический кристаллический водород, предполагаемый в ядрах некоторых космических объектов, будет считаться минералом. К минералам относятся и кристаллические соединения, возникшие в природе как следствие технической деятельности человека. Масштабы этой деятельности непрерывно растут, поэтому минеральные продукты данного типа появляются во все больших (до угрожающих!) количествах. Минералогические и геохимические последствия технической деятельности человека академик А. Е. Ферсман предложил называть техногенезом. В конце XX в. оформилось новое научное направление – геохимия техногенеза. основополагающие работы в этом направлении выполнены белорусскими геохимиками. Минералогия техногенеза оформилась несколько позднее, трудами минералогов Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина (г. Миасс).

Общую структуру современной минералогии мы представляем следующим образом. Ее ядро – минералогия Земли, Луны, метеоритов и других космических тел. Вторая часть – биоминералогия, предметом которой являются биоминералы. Они возникают в организмах

как жизненно необходимые части (кости скелета и др.) или как патологические образования (почечные и другие «камни» и др.). Многие минералы образуются в результате биохимического воздействия организмов на окружающую среду. Третья часть современной минералогии – минералогия техногенеза. Примером «техногенного минерала» является обычная ржавчина на железных предметах. Человек изготовил железное изделие, а природа «хочет», чтобы оно снова превратилось в устойчивое оксидное состояние. И она успешно реализует это свое «желание»: от ржавчины за год гибнет железа не меньше, чем его добывается из руд.

Особенно интенсивно процессы техногенеза идут в разнообразных отвалах горнодобывающих предприятий. Урал в этом отношении – великолепный подарок для минералога-«техногенщика». Спектр объектов весьма широк: огромные холмы каменной соли, плоскогорья отходов добычи и переработки асбеста, дымные конусы отвалов угольных шахт-терриконов и т. д. Особенно активные процессы идут в горящих терриконах угольных шахт. Поэтому в качестве главного объекта минералогии техногенеза и были выбраны горящие и прогоревшие отвалы Челябинского угольного бассейна. Кроме того, район этот легкодоступен (3 часа езды от Миасса), а ведущиеся разработки горелых терриконов (в основном на нужды дорожного строительства) предоставляют уникальные возможности наблюдения во всех частях отвалов – от вершины до подошвы.

Шахтный террикон – конусообразное образование высотой до 50–70 м, объемом до 1 млн. м³. Он состоит из обломков углевмещающих пород, в основном глинистых (глины, аргиллиты). Практически во всех отвалах присутствуют обломки песчанистых пород (алевролиты, песчаники), сидеритов и других карбонатов. Значительная часть карбонатных пород представлена кусками окаменевших стволов деревьев, диаметр которых обычно не превышает 20–30 см. Как правило, они сложены доломитом или анкеритом. Попадают в отвалы и куски угля, причем иногда в значительном количестве. Поэтому отвал начинает гореть уже с самого начала отсыпки. Процесс этот самопроизвольный. Иногда «случайные» самосвальные кучи породы, обычные вдоль местных дорог, начинают тлеть и дымить уже через несколько суток. Горение террикона с разной интенсивностью продолжается десятки лет. Сейчас почти все терриконы Челябинского бассейна в основном прогорели. Но еще сохранились места, опасные для посещения из-за возможных провалов в выгорающих участках. С разной степенью детальности нами изучены все (около 50) терриконы

и хребтовидные отвалы шахт и обогатительных фабрик в Копейске, Коркино, Еманжелинске и Красногорске.

Минералы горящих терриконов изучались и ранее, во многих странах. Но в основном это были отложения из горячих газовых струй на поверхности отвала или близ нее, поскольку разработки отвалов не производились по той или иной причине (например, в Пенсильванском бассейне в США).

Уникальные результаты наших исследований обеспечены тем, что в Челябинском бассейне значительное время горелые отвалы разрабатывались «всеми, кто хотел». Материал отвалов шел на засыпку местных дорог, на производство «шлакоблоков», кирпича и др. Когда стоишь в экскаваторном забое и видишь вертикальную стенку площадью в сотни квадратных метров, есть возможность достоверно читать следы прошедших (и происходящих) процессов. Конечно, открываются и широкие возможности для сбора минералов и других проб. Кроме того, наши работы велись планомерно, целенаправленно и отнюдь не представляли собою «набеги варягов», столь известные в уральской геологической действительности. Велись они с 1982 по 1997 г. Результаты их в общем можно представить в таком виде.

В горелых отвалах Челябинского бассейна установлено более 200 минералов-новообразований (минералы исходных отвальных пород не учитывались). Среди них около 50 новых минеральных видов, ранее не известных. Названия новым минералам давались по разным признакам: по месту нахождения (копейскит, коркиноит, красногорит), по особенностям химического состава и свойств (амми-нит, оксиферберит, рорисит), в честь уральских ученых и инженеров (альбовит, афанасьеваит, баженовит, дмиштейнбергит, игумновит, кутюхинит, малаховит, перковаит, подногинит, редикорцевит, рукавишниковит, святославит, торбаковаит, юниковит). Особо отметим сложный силико-оксид-демидовскит, названный в честь Демидовского научного фонда.

Установлен ряд минералов (среди новых минеральных видов), представляющих до того не известные в «Системе минералогии» химические соединения: полисульфид-тиосульфат-гидроксид кальция, водный (баженовит); сульфид-карбонат железа и кальция, водный (игниколорит); сульфид-оксид-карбонат железа и кальция (овчинниковит); ряд силикооксидов (силикохлормайенит, демидовскит, малаховит); высокохлористые силикаты (содержание хлора в интервале 6–31 масс. %) (ритмит, игумновит, альбовит, хлоргибшит, чесофиит, афанасьеваит); ферриты кальция (сребродольскит, ацикулит,

грандиферрит, суперферрит, торбаковит, малаховит); минерал, содержащий NH_3 (амминит).

Установлены новые полиморфы – два аналога анортита: ромбический святославит (назван в честь Святослава Несторовича Иванова) и гексагональный дмиштейнбергит (в честь Дмитрия Сергеевича Штейнберга). Находка полиморфов самого распространенного минерала, анортита, по нашему убеждению, – минералогическая находка века, наряду с открытием плотных модификаций SiO_2 (коэзит и стишовит) и гексагональной модификации углерода (лонсдэлит).

Достоверно установлены исчезнувшие минералы, превращенные в другие минеральные продукты: безводный сульфат магния, высокоуглеродистый карбид железа FeC_4 , кубический суперферрит $\text{CaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$.

В горелых отвалах открыты «черные блоки» – участки отвальной массы, сильно покаленные в восстановительных условиях. Они резко выделяются черным цветом на кирпично-красном фоне горелых пород в стенках экскаваторных забоев. Черный цвет этих блоков обусловлен значительным количеством тонкодисперсного углерода типа газовой сажи и плохо окристаллизованного графита. Часть этого углерода отложена за счет преобразования углеводородов, а часть – за счет углеродизации карбонатов. Последний процесс приводит к образованию сажистых или волокнистых псевдоморфоз углерода по кускам доломитов, сидеритов и других карбонатов. Объемный вес таких псевдоморфоз доходит до $0,4 \text{ г/см}^3$. Наблюдения эти имеют очень важное общегеологическое значение. До сих пор в геологии возможным процессам углеродизации карбонатных пород не придавалось практически никакого значения.

Минерализация черных блоков уникальна. Кроме безводных силикатов Ca , Mg , Fe здесь присутствуют уникит, графит, самородное железо, карбиды Fe , моносulfиды железа, хлориды и фториды Ca и Mg , хлоро- и фторосиликаты и др. В некоторых черных блоках температура достигала 1200°C и выше (происходило плавление ранее выделившихся кристаллов FeS).

В тех случаях, когда к черному блоку осуществляется доступ кислорода, происходит горение (тление разной интенсивности). Черная масса блока в итоге переходит в рыхлую массу розового или серого цвета. Углерод, карбиды и сульфиды при этом сгорают.

Установлен закон горения больших масс углеродосодержащих пород: при полном прогорании больших масс углеродосодержащих пород вместо исходной массы, состоящей из водных и безводных силикатов,

карбонатов, оксидов и др., угля, битумов, технического мусора образуются в основном только безводные силикаты и оксиды.

В подавляющем большинстве случаев высокотемпературные процессы минералообразования в горящих участках и в черных блоках идут при решающем участии горячих газов. В коническом отвале формируются более или менее постоянные газовые струи, проходящие как через горелые породы, так и через черные блоки. Если в областях питания этих струй содержание хлора и фтора в породах менее 0,1 %, то на пути уже оформившихся струй могут отлагаться (локально) минералы, содержание хлора и фтора в которых достигает десятков процентов. Это результат длительного прохождения потока с низкой концентрацией: струйный транзитный концентрационный эффект. Результаты его действия в горелых отвалах встречаются повсеместно. По-видимому, следы этого эффекта присутствуют в значительных масштабах и в обычных геологических объектах.

В отвальную массу попадают разнообразные металлические предметы: стальные детали машин, рельсы и трубы, стальная, медная и алюминиевая проволока и т. д. Под действием агрессивной среды в горящем отвале все это сильно изменяется – происходит минерализация металлических предметов. Впечатляюще выглядят минерализованные рельсы и трубы, разлетающиеся на куски при ударе молотка. Медные предметы обычно полностью возгоняются, и вокруг места их бывшего нахождения в горелой породе наблюдается только обширный ореол, в котором на стенках полостей породы находятся тончайшие черные листочки оксида меди – тенорита. Алюминий плавится и стекает по полостям вниз, образуя причудливые слитки с выделениями темных пластинок силицида алюминия. При обжиге железные предметы «распухают» и средняя часть их постепенно разрыхляется. Например, за счет железного стержня образуется довольно четко выраженная труба. При этом ближайшие к стержню частицы горелой породы оказываются включенными в гематит и магнетит стержня. Следовательно, идет центробежный массоперенос при минерализации металлических предметов.

В черных блоках железные предметы замещаются иоцитом (воститом), моносulfидами железа и карбидами, от когенита (цементита) до высокоуглеродистого карбида FeC_4 . Характерно, что неминерализованные реликты (например, в рельсе) становятся из тонкозернистых (исходный металл) крупно- или даже гигантозернистыми. Встречаются образцы, где зерна металла бывшего рельса достигают 2 см в поперечнике. Медные троллейные провода в черных блоках

полностью возгоняются. На месте куска провода в породе остается полость – точный отпечаток исходного куска, а вокруг нее в породе выделяются скопления сульфидов меди – халькопирита или халькозина. Это – яркие примеры упомянутого центробежного массопереноса.

Очень интересен процесс изменения кусков дерева (шпалы, крепь и др.) в черных блоках – древесина превращается в крепкий и «звонкий» древесный уголь, не пачкающий рук. В трещинах усадки таких кусков на стенках часто встречаются великолепные кристаллы моносульфидов железа (троилит, пирротин), когенита, силикатов (анортит, фторфлогопит и др.). Здесь же были найдены и кристаллы святошлавита и дмишштейнбергита.

Произведена предварительная минералого-технологическая характеристика всех отвалов бассейна как возможных источников минерального сырья (производство кирпича и др.), составлен альбом-кадастр отвалов. Эти данные были использованы при проектировании и постройке двух кирпичных заводов производительностью по 60 млн. штук в год. В полной мере в строй эти предприятия, в связи с событиями последнего десятилетия, так и не вступили. Внедрено в промышленное производство окаменелое дерево из отвалов (завод «Уральские самоцветы»). Породы черных блоков рекомендовано использовать в качестве топливной добавки при производстве кирпича и другой грубой керамики. В музее Ильменского заповедника создана постоянная выставка «Минералогия техногенеза». Образцами новых минералов снабжены музеи Урала, России и ряда зарубежных стран.

Ознакомление с горелыми отвалами других угольных бассейнов (Южно-Уральский, Егоршинский, Кизеловский, Сахалинский, Донбасский) показало, что в принципе там шли те же процессы минералобразования, что и в Челябинском бассейне. Но в последнем они проявлены в гораздо более ярком виде. Обусловлено это тем, что ряд отвалов (например, в Копейске) состоял из более грубообломочного материала, чем обычно. Это обстоятельство (и незначительное количество глинистой мелочи) значительно облегчало аэрацию внутренних частей терриконов, что усиливало интенсивность горения. Горение в одном из отвалов в Коркино было настолько интенсивным, что плавилась значительные объемы пород. Расплавы стекали вниз и, заполняя трещины усадки отвальной массы, формировал дайкоподобные тела мощностью до 0,5 м и более. Поскольку остывание таких тел происходило не быстро, формировалась «магматическая» порода зернистого строения. По составу и структуре она соответствует долериту (базальту).

Необходимо отметить, что с 1982 г. ряд терриконов в Челябинском бассейне полностью уничтожен экскаваторной разработкой. Среди них находятся и практически все наиболее интересные отвалы. Уничтожение это полное. На месте террикона (а он всегда рядом с шахтой) сейчас глубокая и обширная яма: после закрытия шахты и разработки террикона здесь шла добыча угля из так называемого шахтного целика. Указанное обстоятельство значительно повышает ценность собранного нами материала и произведенных наблюдений и документации.

«Дальние последствия» детального изучения одного из техногенных объектов

1. *Новая классификация минералов.* Широкое развитие в горелых отвалах межвидовых и межклассовых переходов типа оксид–силикат, силикат–хлорид, сульфид–карбонат и др., ранее сложившееся убеждение автора об условности классификаций, сходство свойств кислородных соединений позволили предложить такую классификацию минералов. В ней все кислородные соединения объединены в типы оксидов:

Тип I. Кислородные соединения (оксиды).

Классы: Простые оксиды.

Сложные оксиды (алюминаты, ферриты, манганаты, ниобаты и др.).

Карбонатооксиды, сульфатооксиды, силикатооксиды и др.

Тип II. Бескислородные соединения.

Классы: Самородные элементы.

Интерметаллиды.

Карбиды, нитриды, фосфиды и др.

Сульфиды.

Фториды, хлориды, бромиды, иодиды.

Тип III. Кислородные и бескислородные органические соединения.

На основе данной классификации, по нашему мнению, удалось более четко обозначить ряд нижеследующих минералогических и геохимических проблем. Вообще же кислород, как главный элемент земной коры, «должен быть основанием» и при решении многих проблем наук о Земле.

2. *Минералогические типы геосфер, планет, их спутников и метеоритов.* Главный элемент литосферы Земли – кислород (около 50 масс. %). По этому признаку литосферу называют оксисферой.

Такое название отражает геохимический характер этой геосферы. А главную ее минералогическую особенность будет отражать название оксидосфера. Можно предложить и минералогическое название для зоны гипергенеза литосферы. Поскольку для нее характерны гидроксиды, назовем ее гидроксидосферой.

Планеты земной группы и их спутники во внешних своих «геосферах» – тела каменные, состоящие в основном из силикатоксидов. Следовательно, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Луна – планеты оксидного типа.

Метеориты можно разделить на типы: оксидные (каменные) и безоксидные (железные).

3. *Оксидизация Земли – главное минералогическое и геохимическое последствие технической деятельности человека.* В процессе оксидизации Земли кислород атмосферы и гидросферы переводится в состав оксидов: в минералы (в том числе лед), воду и газы (CO_2 , SO_2 , оксиды азота и др.). Оксидизация Земли идет естественным путем и в результате технической деятельности человека.

Техническая оксидизация Земли началась с широкого применения огня и вспашки земель. В настоящее время ведущее значение приобрели:

1) сжигание горючих веществ и материалов. Главные оксиды – CO_2 , SO_2 , H_2O , оксиды азота и разнообразные золы;

2) производство работ, обеспечивающих доступ кислорода к природным и искусственным образованиям;

3) производство легко окисляющихся продуктов;

4) внесение искусственных оксидов в природную среду;

5) разрушение озонового слоя Земли за счет связывания кислорода с рядом технических продуктов;

6) культивирование организмов, производящих оксиды, и другие процессы.

Как долго будет продолжаться более или менее активный процесс оксидизации Земли, по крайней мере, естественный? Он будет идти до тех пор, пока не иссякнет кислород в атмосфере и гидросфере или пока по той или иной причине не прекратится доступ кислорода к еще не окисленным частям планеты. По-видимому, примером «хорошо оксидизированной» планеты является Марс. Возможно, на нем почти весь кислород атмосферы израсходован на оксидизацию литосферы, включая образование части поверхностного и «подземного» льда.

4. *Большие пожары в истории Земли.* Горючие вещества всегда находились на Земле «в избылии». Их возгорание – обычный процесс

в настоящее время и, по-видимому, он был не редок и в давно минувшие эпохи. Геологам известны случаи нахождения следов горения пластов каменного угля, прошедшего в доисторические времена.

В первую очередь речь идет о горении больших масс жидких и газообразных углеводородов (нефть, газ) и ряда твердых горючих масс (торф, угли, сланцы и др.). Такие пожары могли возникнуть после «распечатывания» горючих залежей вследствие крупномасштабных событий – тектонических, вулканических, импактных и др.

Материал, подготовленный нами при изучении горелых отвалов, – готовое пособие для начала исследования проблемы «Минералогические следы больших пожаров в истории Земли».

5. *Огонь и вода, ангидриты и гидриты.* Контрастные проявления типа «огонь – вода» на горелом (и особенно на горящем) отвале встречаются повсеместно. Резко контрастируют безводные высокотемпературные минерализации горелых пород и черных блоков и водные, низкотемпературные, отложения поверхностных частей отвалов. Безводные минералы нами названы ангидритами, а «водные» (содержат H_2O , OH^- или H^+) – гидритами. Возник вопрос – в чем же их главные отличия? Поскольку все минералы – вещества кристаллические, главные различия между гидритами и ангидритами нужно искать в области их симметрии – главном свойстве кристаллических тел.

С указанной целью нами определены распределения по кристаллографическим сингониям: кубической (К), гексагональной (Г), тригональной (ТР), тетрагональной (Т), ромбической (Р), моноклинной (М) и триклинной (ТК), отдельно для гидритов и ангидритов.

6. *Закон симметричного распределения кристаллов.* Оказалось, что симметричные распределения гидритов и ангидритов резко различны. Это подтвердилось при исследовании гидритов и ангидритов самых различных объектов: литосферы Земли, биоминералов, синтетических кристаллических неорганических соединений, литосферы Луны, метеоритов и ряда локальных земных объектов. Таким образом был установлен новый фундаментальный закон природы: «Все кристаллы, вне зависимости от их происхождения, делятся на гидриты (содержат H^+ , OH^- или H_2O) и ангидриты, резко различающиеся по симметричным характеристикам: распределение гидритов по сингониям резко выраженное моноклинное (земной тип распределения), а ангидритов – неконтрастное ромбо- или моноклинно-кубическое (лунный тип распределения).

7. *Возрождение кристаллохимического закона Грота – Федорова.* Известно, что существует множество исключений из статического

кристаллохимического закона Грота–Федорова: чем сложнее химический состав кристаллического вещества, тем ниже его симметрия. Многие минералы и синтетические кристаллы сложного химического состава обладают высокой симметрией (относятся к кубической или иной «высокой» сингонии). Теперь эти исключения стали понятны: закон Грота–Федорова реализуется только в приложении к ангидритам. В отношении гидритов реализуется другая закономерность: чем сложнее состав гидритов, тем в общем выше их симметрия. Ранее рассматривались смеси гидритов и ангидритов, что и служило причиной «плохой работы» закона Грота–Федорова. Теперь его работа «значительно улучшилась».

8. Главные сингонии. Распределение кристаллов по главным сингониям. Более 100 лет назад установлено, что большинство кристаллов относится к моноклинной, ромбической и кубической сингониям. По этому признаку данные сингонии мы называем главными. Весьма примечательно, что для всех генеральных объектов количество кристаллов главных сингоний составляет около 66 %, т. е. к этим сингониям относится $2/3$ царства кристаллов:

Литосфера Земли	65,1 %
Биоминералы	67,4 %
Синтетические соединения	66,3 %
Литосфера Луны	64,8 %
Метеориты	66,7 %
Среднее	66,1 %

Такие же цифры (около 66 %) относятся и к числам гидритов и ангидритов в данном объекте (проценты здесь вычислялись отдельно, от общего числа гидритов и от числа ангидритов). Наиболее четко закономерности их распределения выражены у синтетических соединений и у биоминералов. Вот как выглядит распределение для биоминералов (%): гидриты – $K \approx 0$, $P \approx 22$, $M \approx 44$, сумма ≈ 66 %; ангидриты – $K \approx 44$, $P \approx 22$, $M \approx 0$, сумма 66 %. Таким образом, сумма 66 % получена и другим, независимым способом. Распределения других объектов имеют усложнения, но общие суммы ($K + P + M$) ≈ 66 %. Особо отмечаем, что процент P как для гидритов, так и для ангидритов – около 22.

9. Группы сингоний. Распределение кристаллов по группам сингоний. В ходе наших работ установлено, что использование общеизвестных категорий кристаллографических сингоний (высшей, средней

и низшей) малоэффективно. Мы приняли рабочее подразделение сингоний на три группы (обоснования здесь опускаются): первая (К+ТР+Т), вторая (Р+Г) и третья (М+ТК). Первую группу условно называем кубической, вторую – ромбической, и третью – моноклинной. Как видим, во главе групп стоят вышерассмотренные главные сингонии.

Распределения кристаллов по группам сингоний определялись с учетом кристаллохимической природы объектов. Последние разделили на две части: гидритные объекты (в них гидриты если и не преобладают, то находятся в значительном количестве) и ангидритные (в них гидриты особой количественной роли не играют). К ангидритным объектам были отнесены литосфера Луны, метеориты и синтетические соединения. К гидритным – литосфера Земли и ряд крупных земных локальных объектов (Ильменские горы и др.). Вот как выглядят распределения кристаллов ангидритных объектов по группам сингоний (%): 1-я (кубическая) ≈ 44 ; 2-я (ромбическая) ≈ 28 ; 3-я (моноклинная) ≈ 28 , сумма ≈ 100 %. Для гидритных объектов: 1-я ≈ 28 , 2-я ≈ 28 , 3-я ≈ 44 %, сумма ≈ 100 %. И здесь также особо отмечаем, что количества кристаллов ромбической группы как для ангидритных, так и для гидритных объектов равны (около 28 %).

10. *Особенности симметричных распределений кристаллов ромбической сингонии.* Количество кристаллов ромбической сингонии (гидриты и ангидриты вместе) для разных объектов стабильно и составляет около 22% от общего числа кристаллических веществ в объекте:

Литосфера Земли	23,4 %
Биоминералы	22,4 %
Синтетические соединения	22,4 %
Литосфера Луны	22,2 %
Метеориты	20,5 %
Среднее	22,2 %

Кристаллы других сингоний таким постоянством распределений не обладают.

Во всех генеральных (общих, «глобальных») объектах, перечисленных выше, число ромбических гидритов и ангидритов составляет также около 22 % от общего числа гидритов и от числа ангидритов в объекте.

Следующее замечательное свойство ромбических кристаллов: отношение количества ромбических гидритов к количеству ромбичес-

ких ангидритов (в процентах от общего числа кристаллов в объекте) равно общему отношению всех гидритов и всех ангидритов объекта:

Объект	Ромбическое отношение, %	Общее отношение, %
Литосфера Земли	1,01	1,02
Биоминералы	1,20	1,04
Синтетические соединения	0,35	0,36
Метеориты	0,13	0,17

На Луне гидритов практически нет, поэтому она не включена в список.

Далее: при полиморфных превращениях кристаллов чаще всего реализуются ромбические структуры (анализ данных справочников по минералам и синтетическим соединениям). Элементы и бинарные соединения исключены, поскольку, согласно закону Грога–Федорова, они в основном кубические.

Только в ромбических структурах реализуется полный набор ячеек Браве: примитивная, базоцентрированная, объемноцентрированная и гранецентрированная. На это резкое отличие ромбических структур от прочих не обращалось должного внимания.

Таким образом, выявлена особая роль ромбических структур в царстве реальных кристаллов.

11. *Закон симметричного единства царства реальных кристаллов.* Общий анализ «сильных тенденций» в симметричных распределениях кристаллов самого различного происхождения позволяет сделать заключение: «Все кристаллы ромбичны или близки к ним». Это и есть закон симметричного единства царства реальных кристаллов. Аппарат математической кристаллографии не смог бы его «вычислить». К формулировке закона привело исследование того, «что есть в природе».

Закон формально сконструирован по образцу закона кристаллографических пределов Е. С. Федорова: все кристаллы идеальны или близки к ним. Идеальность кристаллов, по Е. С. Федорову, заключается в том, что они относятся к одному из двух обобщенных типов – кубическому или гексагональному. Царство кристаллов, по Е. С. Федорову, в симметричном отношении двулико (кубическое и гексагональное). По нашим данным, оно в этом отношении единое (ромбическое). При некотором «улучшении» ромбических ячеек можно

ячейки вышестоящих сингоний, вплоть до кубических, а при «ухудшении» нижестоящих – моноклинной и триклинной. Операции эти производятся путем простейших деформаций ромбических ячеек.

В кристаллохимическом отношении Е. С. Федоров считал царство кристаллов единым, что выражено законом Грота – Федорова (см. выше). По нашим данным, оно в этом отношении двулико (гидриты и ангидриты).

Таков путь, пройденный «от дымного террикона» до царства реальных кристаллов. Выводы наши, как и полагается, не бесспорны, но мы надеемся, что этот путь может быть продуктивен.

⁸ Органические кристаллические соединения нами не рассматривались.