

ЗАКОНЫ МИНЕРАЛОГИИ. ИСТОРИЯ И ТИПИЗАЦИЯ

О.К. Иванов

Уральский институт минерального сырья, г. Екатеринбург; okivanov@gmail.com

THE LAWS OF MINERALOGY. HISTORY AND TYPISATION

O.K. Ivanov

Uralian institute of mineral deposits, Ekaterinburg; okivanov@gmail.com

Квинтэссенцией любой науки являются её законы. Е.С. Фёдоров в 1907 г. заметил: *«Множество работ последнего типа (т.е. не вносящего ничего существенно нового, а только обогащающие её мелкими деталями), резко обозначая опытность их авторов в обращении с научными приёмами известного разряда, не могут идти в сравнение даже с одной научной работой, результатом которой явилось установление нового закона или хотя бы новой точки зрения, нового метода или приёмов исследования; детали навсегда останутся деталями; новые же законы или приёмы есть зародышевые снежные комья на поле рыхлого снега»* (Шафрановский, 1996, с. 68).

И.П. Шарапов (1985) считал: *«Каждая наука должна иметь собственные законы. Без них нет и не может быть никакой науки»*. Законы той или иной науки являются признаком её зрелости (Шарапов, 1988), а зрелая наука отличается разработкой номологических определений и законов, чего нет в минералогии. На этом основании И.П. Шарапов даже высказался, что минералогия – полунаука-полуискусство. И с этим нельзя не согласиться.

Доказанные законы минералогии в максимальной степени обобщают достижения описательной и генетической минералогии, предотвращают дублирование исследований и позволяют делать прогностические выводы.

Основное внимание в современной минералогии следует придавать не только описанию минералов и их ассоциаций, но и выяснению закономерностей образования минералов, их состава, формы (облика, габитуса и огранения) и выяснению причин этого. С этой целью ниже предпринята попытка суммировать все известные минералогические законы или те законы, которые приписываются минералогии, произвести их критическую оценку и выделить законы, относящиеся к самой минералогии.

История выделения законов минералогии

Первые законы, касающиеся минералогии, лежали в области чистой кристаллографии и кристаллогенеза (Стенон, Роме де-Лиль, Гаюи, Беке; и др.). Н.П. Юшкин (1988, с. 7) полагал, что первый закон минералогии, *«являющийся основой современной генетикоинформационной минералогии»*, а также кристаллогенеза и минералогенеза, который охватывает всю геологию и даже больше – это закон Стенона (1669 г.): *«при данном теле определённой формы, созданном согласно законам Природы, в самом теле находим доказательства, раскрывающие место и способ его создания»*. По нашему мнению, это не столько закон, сколько парадигма минералогии и геологии и всего естествознания.

В XIX веке первые законы, касающиеся минералогии, формулировались сначала в области кристаллогенеза и петрографии магматических пород.

Одним из первых минералогических, точнее кристаллогенетических, законов следует считать предположение Браве (1851 г.), что форма кристалла определяется ретикулярными плотностями его граней. Правило Браве многократно дополнялось и исправлялось и сейчас носит название принципа (или закона) Браве-Фидлера-Доннея-Харкера. Над этим правилом активно работали Фридель, Ниггли, Донней, Харкер, Шафрановский, Уэллс, Евзикова и другие исследователи. И до сих пор на него идут ссылки. Последняя формулировка правила Браве: *«Относительное развитие простых форм на кристалле пропорционально ретикулярной плотности соответствующих этим граням плоскостей решётки или же*

величинам соответствующих межплоскостных расстояний» (Берри и др., 1987, с. 46). Однако многочисленные исключения делают его достаточно сомнительным (Иванов, 2012).

В конце XIX столетия Бекке сформулировал закон конусов роста кристаллов (по: Григорьев, 1971). В «Кристаллографии» Д.Н. Артемьева (1923) в разделе «Законы кристаллизации» были суммированы известные законы формы кристалла – закон рациональности отношений Гаюи, закон кристаллизации Браве и закон кристаллографических пределов Е.С. Фёдорова. Из них только закон Браве, который Д.Н. Артемьев назвал *законом наибольших плотностей сеток*, может считаться кристаллогенетическим.

В петрографии магматических пород законы предлагались Науманном, Ротом, Ласпейресом и Вейншенком. Науманн в 1858 году предложил 5 петрографических законов (по: Карпинский, 1870, с. 39):

1. *«По первому из них, те породы, которые содержат в виде существенных составных частей ортоклаз, санидин, альбит или олигоклаз вместе с кварцем, могут заключать роговую обманку, но никогда не содержат ни авгита, ни лабрадора».*

2. *«Второй закон указывает на вероятность нахождения в лабрадорových породах авгита, отвергая в то же время возможность присутствия в них роговой обманки и кварца».*

3. *«По третьему закону породы с удельным весом меньшим, нежели удельный вес лабрадора, не могут состоять из этого последнего минерала и авгита».*

4. *«Четвертый закон утверждает, что породы, не содержащие водных цеолитов, не могут быть базальтами».*

5. *«Наконец, по пятому закону, те силикатовые породы, которые содержат роговую обманку и удельный вес которых ниже удельного веса этого минерала, должны содержать кварц».*

Н.П. Юшкин (1988) упомянул также о законе агрегации Науманна (1859 г.).

Все это не столько законы, сколько частные эмпирические минералогические закономерности для магматических горных пород.

В статье Рота (1864 г.) приведены 5 других более общих законов (по: Карпинский, 1870, с. 39):

1. *«Первый закон или «закон количества», по которому существенные составные части горных пород в количественном отношении подвергаются колебаниям».*

2. *«Второй закон, утверждающий, что все минералы (в горных породах с порфировым или порфировидным сложением), выделяющиеся из основной массы, входят в состав последней, но что те минералы, которые образуют основную массу, могут и не выделяться из нее порфирообразно».*

3. *«Третий закон..., по которому горные породы, содержащие в основной массе свободный кремнезём, т.е. кварц, могут заключать этот минерал в виде выдающихся по величине кристаллов (т.е. в виде неделимых, порфирообразно выделяющихся из основной массы)».*

4. *«Четвертый закон, в силу которого так называемые щелочные полевые шпаты не могут встречаться в горных породах вместе с полевыми шпатами известковыми».*

5. *«Пятый закон или так называемый «закон ассоциации», относящийся до совместного нахождения и образования как существенных составных частей горных пород, так и минералов, являющихся в них в виде посторонних примесей».*

Эти законы были критически проанализированы и опровергнуты в статье Ласпейреса (1869 г.), переведённой на русский язык и дополненной А.П. Карпинским. «... мы видим, что почти все вышеприведённые положения, представляющие так называемые законы ассоциации минералов, должны почитаться в настоящее время окончательно несостоятельными, как явно несогласные с добытыми в последние годы данными» (Карпинский, 1870, с. 45); автор считал, что большая часть петрографических законов опровергнута, но они «послужили и ещё послужат материалом для выводов, более близких к истине, чем они сами». Н.П. Юшкин (1988) упомянул о законе увеличения разнообразия Чермака (1884 г.).

Известный основатель петрологической минералогии Вейншенк в своём учебнике (1906 г.) привел 13 эмпирических закономерностей, подтверждённых огромным числом наблюдений для магматических горных пород (по: Заварицкий, 1955). Вот один из примеров: *«Кварц как самостоятельный элемент совершенно отсутствует в изверженных горных породах, бедных кремнезёмом, и особенно в тех, которые богаты щелочами. Он не встречается совместно с нефелином или лейцитом; понятно, что в кислых породах кварц вообще попадает чаще, чем в основных».* Остальные 12 законов в том же духе.

Считать их законами неверно – это эмпирические закономерности, но открывающие путь к установлению законов.

В XX столетии открытие и формулировку законов минералогии удобно рассматривать не хронологически, а по направлениям. Среди них важнейшие – общие законы роста кристаллов, законы анатомии кристаллов, законы соответствия и равновесия, выводы о преимущественном удлинении (формы) кристаллов, информационные законы; наконец, суммирование законов и оценка их значимости.

Общие законы роста кристаллов

По мнению В.Д. Кузнецова (1953 г.), **закон роста кристаллов** впервые предложен И.И. Андреевым (1908), сделавшим пять выводов, из которых для нас важнейшие 1 и 5: 1) скорость роста и растворения граней кристалла подчиняется законам диффузии Фика: «Скорость роста равняется скорости диффузии...»; 5) во время роста грани кристалла с большими скоростями постепенно зарастают, т.е. кристалл по мере роста покрывается наиболее растворимыми гранями. Нетрудно заметить, что в формулировке И.И. Андреева закон не отвечает на самые простые вопросы: какие формы имеют кристаллы и почему?

Г. Бакли (1954, с. 98) считал: «Идея о том, что скорость движения граней вперед от центра кристаллизации пропорциональна их поверхностным энергиям, впервые была сформулирована Г.В. Вульфом» (1895–1896 гг.). Редакторы русского перевода этой книги О.М. Аншелес и В.А. Франк-Каменецкий в примечаниях к главе IV «О так называемой скорости роста кристаллов» написали (с. 98): «Речь идёт о «законе роста кристаллов», носящем имя Г.В. Вульфа. Впервые этот закон сформулирован в его докторской диссертации, опубликованной в виде монографии в Варшаве в 1895 г. На основании теоремы Вульфа «**скорость роста грани тем больше, чем больше её поверхностная энергия**». Эта идея первоочередной важности, но мы мало знаем о поверхностной энергии граней. При этом ни Вульф, ни его последователи не указали, какими должны быть формы кристаллов.

Закон о влиянии гравитации. Д.П. Григорьев (1963, с. 304) указывал: «В особой серии работ Г.Г. Леммлейн открывает законы роста кристаллов минералов. Характеризуя эти его работы, особенно следует выделить открытие в 1941 г. правила, которому подчиняется форма кристаллов кварца (позднее другими авторами было показано и для прочих минералов), растущих в растворе, где имеет место гравитация – влияние силы тяжести».

Закон геометрического отбора. «В 1945 г. Г.Г. Леммлейн вводит в минералогию ранее намеченное физиками понятие о законе «геометрического отбора» (там же).

Законы анатомии кристаллов. После работы Бекке (1894 г.) по анатомии кристаллов, выделившего конусы роста кристаллов, Д.П. Григорьев (1971) сформулировал 5 законов анатомии кристаллов. Позднее В.А. Попов уточнил формулировки Д.П. Григорьева (Павлишин и др, 1988, с. 42) и свои первоначальные (Попов, 1984), авторизовал их и привел формулировки 7-ми законов анатомии кристаллов:

- 1) закон перемещения элементов огранения кристаллов (закон Бекке-Леммлейна-Григорьева);
- 2) закон Шефталя: «реальный кристалл всегда зонален»;
- 3) закон мозаичности Ерофеева;
- 4) закон полярности Шубникова;
- 5) закон диссимметризации, или закон Шубникова-Леммлейна-Шафрановского;
- 6) закон вырождения (и регенерации) (В. Попов);
- 7) закон усложнения (В. Попов).

Эти законы были критически проанализированы и дополнены с указанием, что зональность, мозаичность, диссимметризация и т.д. обусловлены степенью неравновесной кристаллизации, и вместо семи законов было предложено объединить их в общий закон анатомии кристаллов (Иванов, 2012).

Информационные законы

Н.П. Юшкин (1977) выделил семь законов «функционирования минералогенетической информации», а именно:

- 1) закон минералогенетического резонанса;
- 2) закон обязательного наличия генетической информации в минерале;
- 3) закон сложения минералогенетической информации;
- 4) закон вытеснения первичной минералогенетической информации информацией наложенных процессов;
- 5) закон инерции в приложении к минералогенетической информации;
- 6) закон многообразия форм записи минералогенетической информации;
- 7) закон сохранения суммарной минералогенетической информации.

Отношение к этим законам двойственное. Н.П. Юшкин на них больше не ссылался, И.П. Шарапов (1988) слегка похвалил, другие исследователи отнеслись индифферентно. По нашему мнению, это была попытка перенесения некоторых законов информатики в минералогия.

Законы формы кристаллов

Эта группа законов имеет длительную историю и идёт от Джонсона (1910 г.) (Шубников, 1935). П. Ниггли (1922 г.) предположил, что минимальные параметры элементарной ячейки кристалла соответствуют наибольшей силе связи, и в направлении их следует ожидать наибольшей скорости роста. Это подтверждало и *правило Марка* (1928 г.), по которому удлинение волокнистых кристаллов идёт в направлении, совпадающем с наиболее коротким параметром кристаллической решётки, что отмечали Брэгг и Леммлейн для широкого круга минералов (Костов, 1962) – *закон Ниггли-Костова* (Иванов, 2013). Исходя из теоретических рассуждений и расчётов Странского и других, был разработан метод периодических цепочек связи Хартмана (1967) и математические программы, использующие метод для расчёта равновесных форм кристаллов, что способствовало его широкому распространению. Однако отсутствие понимания необходимости знания признаков равновесного кристалла делает его сомнительным.

Изучение вопроса показало, что форма кристаллов определяется многими факторами, но решающее значение имеют два – структура кристалла и скорость кристаллизации, что позволило сформулировать *структурно-кинетический закон формы кристаллов* (Иванов, 2014).

Эволюция формы кристаллов

От представлений о незакономерном изменении форм кристаллов постепенно пришло осознание закономерной эволюции форм в зависимости от температуры, рН, последовательности кристаллизации, положения в пространстве, глубины кристаллизации, и т.д. Сформулирована кристаллогенетическая закономерность (Евзикова, 1958; Григорьев и др., 1981), проявленная в том, что *«изменение формы кристаллов минералов в пределах эволюционных габитусных рядов характеризуется тенденцией появления граней в определенной последовательности: вначале происходит увеличение, а в конце – уменьшение их ретикулярных плотностей»*.

Законы соответствия

Известны *принцип соответствия и общий принцип фазового соответствия* (Перчук, 1970;). *Принцип соответствия*, заключающийся в том, что *минералы, образовавшиеся совместно и одновременно, обнаруживают какие-либо соответствия состава и формы друг другу и минералообразующей среде* (Попов, 1984), а *правило кристалломорфологического соответствия* (Евзикова, 1979) – *«...габитусы кристаллов минералов, кристаллизующихся одновременно или почти одновременно, находятся в соответствии друг с другом»* – также считаются законами минералогии (Юшкин, 1988; Иванов, 2007). В.А.Попов (1994), обсуждая работу В.В. Бескрованова по онтогении алмаза, отмечал, что именно понятие «соответствия» должно лежать в основе типоморфизма минералов, но никак не «равновесия». Это применимо и к исследованиям ортомагматических горных пород (Иванов, 2006) – *можно говорить о соответствии состава минерала и состава породы, минеральной ассоциации – условиям кристаллизации породы, и т.д.*

То есть, как минимум, в трёх науках – физхимии, кристалломорфологии и петрологии – с разной степенью обоснованности сформулирован принцип, правило или закон соответствия.

Если суммировать все частные формулировки и для полноты добавить недостающие, то смысл закона будет такой: *под законом или принципом соответствия понимается соответствие состава, спектра, морфологии, размерности и внутреннего строения минералов составу и свойствам минералообразующей среды и условиям кристаллизации.*

Законы равновесной-неравновесной кристаллизации

Представления о равновесных процессах, разработанные в термодинамике, использовались в экспериментальной минералогии и петрографии, петрологии, минералогии и кристаллогенезе. Большое значение придается кинетическим факторам – пересыщению растворов и переохлаждению расплавов, определяющих скорость кристаллизации (Иванов, 2007, 2014). Предлагается не термодинамическое, а геологическое понимание равновесного процесса как процесса очень медленной кристаллизации, близкой равновесной (Иванов, 2006, 2014).

Закономерности распределения форм кристаллов

Данные многочисленных исследователей таких закономерностей в пределах камеры, жилы и рудного поля противоречивы. Есть примеры зонального распределения форм кристаллов касситерита, флюорита, пирита (Евзикова, Попов, Костов и др.).

Суммирование законов минералогии

Сведение имеющихся законов минералогии произошло только в конце прошлого столетия, хотя их анализа при этом не производилось. Наряду с чётко сформулированными законами, существуют нечётко сформулированные положения, которые после дальнейшей разработки могут рассматриваться в качестве законов минералогии. В 1985 г. в Сыктывкаре прошло Всесоюзное совещание «Теория и методология минералогии»; в трудах этого редкого по важности поднятых проблем совещания на тему законов минералогии высказались И.П. Шарапов, Н.П. Юшкин и Ю.Б.Марин.

И.П. Шарапов (1985) в заметке «О законах минералогии» дал толчок мыслям минералогов в направлении выделения и суммирования законов минералогии и позднее (Шарапов, 1988) провёл критический анализ ранее сформулированных информационных законов Н.П. Юшкина (1977). По мнению И.П. Шарапова, с точки зрения формальной логики среди этих законов к собственно минералогическим можно отнести с натяжкой только законы № 1, 2, 4, 5, 6 и 7 (см. выше); он предложил аннулировать закон № 3, уточнить № 5, перевести № 6 в класс метаминералогических, а № 7 – перевести в класс постулатов. Он же полностью отверг геогенетический закон Д.В. Рундквиста, как взятый по аналогии из биологии.

Позднее Н.П. Юшкин (1988) привёл список минералогических законов, начиная с закона Стенона (1669 г.), включив в него закон агрегации Науманна (1859 г.), закон увеличения разнообразия Чермака (1884 г.), закон кристаллографической индукции А.Е. Ферсмана. Кроме того, он отметил, что «Н.З.Евзикова строит кристалломорфологические основы учения о типоморфизме минералов на: 1) законе целых чисел; 2) принципе динамического поведения одной и той же структуры в различных средах; 3) принципе взаимодействия собственной симметрии кристалла с симметрией питающей среды; 4) правиле пульсационного изменения ретикулярных плотностей; 5) правиле кристалломорфологического соответствия; 6) тенденции зонального распределения кристаллов в пространстве; 7) принципе вместимости». Если отметить, что закон целых чисел идёт от Гаюи, принцип динамического поведения структуры – от И.И. Шафрановского, тенденции зонального распределения кристаллов – от Н. Варламова, то с этим можно согласиться. Почему-то были пропущены некоторые кристаллогенетические законы и законы анатомии кристаллов Д.П. Григорьева (1971) и В.А. Попова (1984). Возможно, что Н.П. Юшкин посчитал их чисто кристаллографическими.

Ю.Б. Марин (1988) также привёл несколько законов, правил и зависимостей, которые он считал минералогическими, а именно:

- закон обязательного наличия генетической информации в минерале;
- закон инерционности или существования минералогенетической памяти;
- законы изоморфизма, действующие в определённых термодинамических условиях;
- закон действующих масс с минералогическими следствиями;
- закон фазового соответствия минеральных парагенезисов;
- правило Гиббса-Коржинского; и ряд других, менее чётко определённых.

Из них первые два закона Н.П. Юшкина и законы изоморфизма не сформулированы, как и закон действующих масс, а закон фазового соответствия предложен Л.Л. Перчуком (1970).

И.П. Шарапов в монографии «Метагеология. Некоторые проблемы» (1989) дал логический анализ ряда законов, описанных в «Геологическом словаре» (1973 г.). Он насчитал для минералогии и петрографии 5 законов, 6 принципов и 8 правил, всего 19 номологических положений. При этом никаких высказываний по поводу анализа собственно минералогических законов у него не было. Среди анализированных законов к формально минералогическим можно отнести:

- закон изоморфизма геогенетический;
- закон последовательности кристаллизации, правило Ферсмана;
- правило Лагорио;
- правило Розенбуша;
- правило парагенетическое Гесса-Ферсмана;
- правило фаз Коржинского;
- правило фаз минералогическое;
- принцип (закон) Рикке;
- принцип идиоморфизма.

Как видно, этот список гораздо короче реального. Суммируя все изложенное, можно видеть, что в рассматриваемой области царит изрядный беспорядок. Даже строгий подход И.П. Шарапова мало помог делу, ибо он, всё-таки, специалист в логике и номологии, а не в минералогии. По нашему мнению, в области минералогии следует в первую очередь типизировать законы, отделить чисто минералогические законы от геологических, петрографических и иных, проанализировать их самостоятельность и наметить необходимые, но ещё не сформулированные законы.

Какими должны быть законы минералогии

Под термином «научный закон» понимается *«связь и взаимозависимость каких-либо явлений объективной действительности»*. По И.П. Шарапову (1988) *«закон – система нетривиальных суждений, между которыми есть диадическое отношение, в данном случае отношение логического следования одного суждения за другим»*. Позже он дал и более простое определение закона: *«Природный закон – это взаимная связь двух объектов или двух групп объектов, причем связь сущностная, объективная, общая в определенной области, необходимая и инвариабельная. Природный закон, будучи сформулирован на языке науки, становится научным законом»*. Очевидно, что законы могут пополняться, уточняться, заменяться или отклоняться.

Законы минералогии, по аналогии с законами физики, должны касаться главнейших особенностей минералов и процессов их образования.

1. Поскольку геология и минералогия относятся к сложным наукам, где действует множество факторов, то, в отличие от таких простых наук как физика, химия и математика, формулировки законов минералогии могут быть преимущественно качественными.

2. Основными единицами минералогии являются кристаллические индивиды в виде «неправильных» кристаллических зёрен и закономерно ограненные кристаллы. Вследствие этого законы должны формулироваться отдельно для «неправильных зёрен» и кристаллов.

3. Основными элементами минералов являются их форма, анатомия, поверхность зёрен и кристаллов и состав, обусловленные последовательностью кристаллизации минералов и условиями их образования. Именно они должны быть главными объектами законов минералогии.

4. Среди условий кристаллизации минералов следует различать, кроме геологических генетических типов, общие вопросы кристаллизации – причины кристаллизации, законы кристаллизации, законы распределения минералов, законы их количества, спектра и разнообразия.

Законы минералогии не повторяют законы физики и химии, а адаптируют их к минералогии в применении к условиям литосферы Земли, планет Солнечной системы, астероидов и космической пыли.

Типизация законов минералогии

Мной предлагается следующая типизация законов минералогии.

I. Общие законы минералогии.

II. Законы, определяющие причины кристаллизации минералов.

III. Законы, определяющие число минералов (правило фаз Гиббса, правило Лагорио, правило Розенбуша, правило Боуэна; и др.).

IV. Законы, определяющие последовательность кристаллизации минералов.

V. Законы, определяющие размеры кристаллов и кристаллических зёрен.

VI. Законы, определяющие состав минералов и его вариации (закон изоморфизма геогенетический, парагенетическое правило Гесса-Ферсмана, закон соответствия составов).

VII. Законы, определяющие парагенезис минералов.

VIII. Законы, определяющие форму минералов (закон кристаллографической индукции Ферсмана, закон индукции Попова).

IX. Законы, определяющие форму кристаллов (закон соответствия Попова, правило кристаллографического соответствия Евзиковой, структурно-кинетический закон формы кристаллов Иванова).

X. Законы, определяющие анатомию минералов и кристаллов (законы анатомии кристаллов Беке-Григорьева, Попова, общий закон анатомии кристаллов Иванова).

XI. Законы, определяющие характер поверхности зёрен и кристаллов.

XII. Законы, определяющие распределение минералов в пространстве (закон соответствия, закон опушки (интерсперсии), закон распределения кристаллов в пространстве Евзиковой).

XIII. Законы, определяющие количество и разнообразие минералов (закон увеличения разнообразия Чермака, закон интерсперсии, закон наложения минералообразующих процессов).

XIV. Законы эволюции формы кристаллов (закон Евзиковой, закон Попова, закон Ниггли-Костова).

Вряд ли предложенная типизация законов останется долго без дополнений и исключений. Но в том-то и состоит цель автора – обратить внимание на эту проблему и, по мере сил, способствовать её решению.

Основная литература

Андреев И.И. Скорость роста и растворения кристаллов // Журнал Русского физ.-хим. об-ва. 1908. Часть химич. Т. 40. Вып. 3. С. 397–444.

Артемьев Д.Н. Кристаллография. Берлин, 1923. Т. IV. С. 3–160.

Бакли Г. Рост кристаллов. М.: ИЛ, 1954. 406 с.

Берри Л., Мейсон Б., Дитрих Р. Минералогия. М.: Мир, 1987. 592 с.

Григорьев Д.П. Георгий Глебович Леммлейн (23.УШ 1901 – 15.ХІ.1962) // Зап. ВМО. 1963. № 3. С. 302–314.

Григорьев Д.П. О законах анатомии кристаллов // Кристаллография, 1971. Т. 16. Вып. 6. С. 1226–1229.

Григорьев Д.П., Евзикова Н.З., Зидарова Б., Костов И., Кузнецов С.К., Малеев М., Минеев Д.А., Попов В.А., Чесноков Б.В., Шафрановский И.И., Юшкин Н.П. Кристалломорфологическая эволюция минералов. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1981. Научные доклады. Вып. 76. 26 с.

Евзикова Н.З. К вопросу об изменении формы кристаллов минералов в процессе их роста // Зап. ВМО. 1958. № 6. С. 647–656.

Евзикова Н.З. Кристаллографические основы учения о типоморфизме минералов // Региональная и генетическая минералогия. Киев: 1979. Вып.3. С. 3–11.

Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: АН СССР, 1955. 479 с.

- Иванов О.К.* Минералогическое правило фаз для равновесных ортомагматических горных пород // Теория, история, философия и практика минералогии. Сыктывкар. 2006. С. 40–42.
- Иванов О.К.* Закон соответствия в минералогии // Минералогия Урала – 2007. Миасс: 2007. С. 19–21.
- Иванов О.К.* Общий закон первичной анатомии кристаллов // Урал. геол. ж. 2012. № 5 (89). С. 25–32.
- Иванов О.К.* Кристаллогенетический закон Ниггли-Костова – эмпирическая проверка // Урал. геол. ж. 2013. № 2 (92). С. 41–48.
- Иванов О.К.* Структурно-кинетический закон формы роста равновесных и неравновесных кристаллов // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения–2014). Сыктывкар: Геопринт. 2014. С. 222–223.
- Карпинский А.П.* О петрографических законах // Горн. ж. 1870. Т. III. № 5
- Костов И.* Генетические типы габитусов минералов // Минерал. сб. Львовск. ун-та, 1962. С. 75–90.
- Костов И.* Минералогия. М.: Мир, 1971. 584 с.
- Марин Ю.Б.* Теоретический и эмпирический подходы в минералогии // Теория минералогии. Л.: Наука, 1988. С. 15–20.
- Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А.* Онтогенетический метод в минералогии. Киев: Наукова думка, 1988. 119 с.
- Перчук Л.Л.* Равновесие породообразующих минералов. М.: Недра. 1970. 320 с.
- Попов В.А.* Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 191 с.
- Попов В.А.* О книге В.В. Бескрованова «Онтогенез алмаза» // Зап. ВМО. 1994. №3. С. 122–125.
- Хартман П.* Зависимость морфологии кристалла от кристаллической структуры // Рост кристаллов. 1967. Т.VIII. Ч.1. С. 8–24.
- Шарапов И.П.* О законах минералогии // Теория и методология минералогии. Тез. докл. Всесоюзного совещания. Сыктывкар, 1985. С. 5–7.
- Шарапов И.П.* О законах минералогии // Теория минералогии. Л.: Наука, 1988. С. 22–27.
- Шарапов И.П.* Метагеология. Некоторые проблемы. М.: Наука, 1989. 208 с.
- Шафрановский И.И.* Кристаллография в СССР. 1917–1991 г. СПб: Наука, 1996. 191 с.
- Шубников А.В.* Как растут кристаллы. М.-Л.: АН СССР, 1935. 175с.
- Юшкин Н.П.* Теория и методы минералогии. Л.: Наука. 1977. 291 с.
- Юшкин Н.П.* Проблемы и пути развития минералогической теории // Теория минералогии. Л.: Наука. 1988. С. 4–10.