

УДК 549.0

**КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ
(начало XX – начало XXI в.). ЧТО НА СМЕНУ? – ОНТОГЕНИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА**

М.Ю. Поваренных

*Институт Истории Естествознания и Техники им. Н.И. Вавилова РАН; Москва
mpovarennykh@mail.ru*

**CRYSTAL-CHEMICAL PARADIGM OF MODERN MINERALOGY
(FROM THE BEGINNING OF THE 20 TH CENTURY INTO THE 21 TH CENTURY).
WHAT'S THE NEXT? – ONTOGENICAL PARADIGM**

M.Yur. Povarennykh

*Vavilov Institute for History of Natural Science and Technology, RAS (IET), Moscow;
mpovarennykh@mail.ru*

*К 100-летию со дня рождения
русского минералога и кристаллохимика
академика АН УССР А.С. Поваренных*

Смена парадигм (от английского *paradigm shift*) — термин, впервые введённый историком науки Томасом Куном в книге «Структура научных революций» (1962 г.) для описания изменения основополагающих посылок внутри комплекса ведущих теорий науки. Согласно Куну, научная революция происходит тогда, когда учёные обнаруживают аномалии, которые невозможно объяснить при помощи действующей парадигмы, в рамках которой до этого момента происходил научный прогресс. С его точки зрения, парадигму следует рассматривать не просто в качестве текущей теории, но – целого научного мировоззрения, в котором она существует вместе со всеми выводами, совершаемыми благодаря ей: разных способов измерений, наблюдения и описания явлений, разных практик. «Новая научная истина не достигает триумфа путём убеждения своих оппонентов и их просветления, но это, скорее, происходит оттого, что её оппоненты в конце концов умирают и вырастает новое поколение, с ней знакомое... Решение отказаться от парадигмы всегда одновременно есть решение принять другую парадигму, а приговор, приводящий к такому решению, включает как сопоставление обеих парадигм с природой, так и сравнение парадигм друг с другом».

За последние более чем 350 лет развития минералогии она претерпела три смены научных парадигм (от *морфологической* – на *химическую* и далее – на *кристаллохимическую*).

Морфологическую парадигму минералогии творили великие учёные: Иоганн Кеплер (1571–1630), Никола Стено (1638–1687), Михайло Васильевич Ломоносов (1711–1765), Ж. Роме-Делиль (1736–1790), аббат Р.Ж. Гаюи (1743–1822).

Творцами *химической парадигмы* минералогии можно считать таких учёных, как Абраам Готлиб Вернер (1749–1817), Антуан Лоран Лавуазье (1743–1794), Йенс Якоб Берцелиус (1779–1848), Василий Михайлович Севергин (1765–1826), Густав Розе (1798–1893), Эйльхард Митчерлих (1794–1863), Анри Луи Ле Шателье (1850–1936), норвежский учёный Виктор Мориц Гольдшмидт (1888–1947), Джеймс Дуайт Дэна (1813–1895).

Отцами-основателями *кристаллохимической парадигмы* минералогии можно считать таких учёных, как Огюст Браве (1811–1863), Иоганн Фридрих Христиан Гессель (1796–1872), Аксель Вильгельмович Гадолин (1828–1892), Евграф Степанович Фёдоров (1853–1919), Артур Мориц Шёнфлис (1853–1928), Макс фон Лауэ (1879–1960), немецкий учёный Виктор Мордехай Гольдшмидт (1853–1933), Лайнус Карл Полинг (1901–1994), Уильям Генри Брэгг (1862–1942) и Уильям Лоренс Брэгг (1890–1971), Георгий Викторович Вульф (1863–1925), Алексей Васильевич Шубников (1887–1970), Николай Васильевич Белов (1891–1982), Александр Сергеевич Поваренных (1915–1986), Вадим Сергеевич Урусов (1936–2015).

Предпосылки смены современной кристаллохимической парадигмы минералогии возникли за последние 50–70 лет благодаря работам таких учёных, как Пётр Андреевич Земятченский (1856–1942), Георгий Глебович Леммлейн (1901–1962), Владимир Иванович Вернадский (1863–1945), Александр Евгеньевич Ферсман (1883–1945), Дмитрий Павлович Григорьев (1909–2003), Аркадий Григорьевич Жабин (1934–2007), Николай Павлович Юшкин (1936–2012), Пауль Ниггли (1888–1953), Исиро Сунагава (1924–2012), Николай Наумович Шефталь (1902–1987), Илларион Илларионович Шафрановский (1907–1994), Борис Валентинович Чесноков (1928–2005), Юрий Максимович Дымков (1926–2014), Николай Дмитриевич Самотоин (1935–2014), Отто Вильгельмович Эстерле (1940–2002), Нинель Захаровна Евзикова, Владимир Анатольевич Попов, Валентина Ивановна Попова и других.

За последние 40–45 лет, в основном, в связи с появлением локальных методов исследования минерального вещества в минералогии накапливались факты и наблюдения, с большим трудом совместимые с ныне принятой кристаллохимической парадигмой. К подобным можно отнести находки биопироболов, квазикристаллов, неоднородных аperiodических и смешаннослойных кристаллов, установление существования обратных связей между минералами и минералогенетической средой с элементами саморегуляции, их способностью накапливать, хранить и наследовать определённую генетическую информацию. Ныне принятая парадигма не в состоянии удовлетворительно объяснить не только вышеназванные факты и наблюдения, но и ряд давно известных явлений, таких как зонарность и секториальность любого минерального тела, способность к структурно-морфологической и химической эволюции, нестехиометричность, метамиктность и ряд других. Довольно давно в минералогии нет конструктивного подхода к решению вопроса о принадлежности к минеральному царству таких «камней» как опалы, угольные мацералы, твёрдые битумы (кериты), янтари. В последние годы появилось большое число публикаций о находках в природе и синтезе углеродных нанокластеров и их аналогов, по своим размерам соответствующим минеральным зародышам и нашим представлениям о *протоминерале*, что способствует постановке вопроса о размерных границах минералов и их существенных свойствах (Поваренных, Матвиенко, 2014).

Жизненность новой парадигмы была продемонстрирована автором при интерпретации синтезированных физико-химиками в 90-х годах XX века углеродных фуллеренов и нанотрубок (а также их неуглеродных аналогов) и ставших первыми представителями подцарства кавикластов (впоследствии выяснилось, что микро- и нанотрубки и сфероиды, свойственные не только углероду, но и кварцу, флюориту, галиту и многим другим природным минеральным образованиям, были давно известны, но не находили себе места в кристаллохимической систематике).

Наметились пути к адекватному минералогическому описанию и классификации минералоидов («минералов пограничья», по образному выражению Н.П. Юшкина) и построению Периодической Системы Минералов (Поваренных, Матвиенко, 2014).

Таким образом, к концу XX – началу XXI века в современной минералогии сложился целый комплекс неразрешённых вопросов, назрела необходимость провести ревизию основных понятий нашей науки и, возможно, перейти от кристаллохимической парадигмы к новой, онтогенетической, включающей её в себя как свою составную часть. Кратко этот переход можно сформулировать следующим образом: от парадигмы, ядром которой является представление, что «*минерал суть кристалл, кусок кристаллического пространства*», к парадигме «*минерал суть суперпозиция траекторий перемещения его поверхностей – элементарных слоёв*».

Согласно знаменитой *теореме о неполноте* Курта Фридриха Гёделя (1906–1978), чтобы определить основополагающие системные признаки, необходимо выйти за рамки рассматриваемой системы. Руководствуясь этой теоремой и положениями *Общей Теории Систем Урманцева* ОТС(У) (Урманцев, 1988), нами выработаны основные принципы новой минералогической парадигмы, включающей в себя кристаллохимическую как свою составную часть (Поваренных, 1988, 1989, 1991, 1996, 1998, 2000; Поваренных, Оноприенко, 1986; Поваренных, Матвиенко, 2014) и позволяющей строго выделять среди объектов минералогии представителей трёх подцарств: *кавикластов* (наноминералов), *кристаллов* и *минералоидов*. Согласно ОТС(У), «минерал» есть объект-система, в которой выделяются:

а) триада его *составляющих «первичных элементов»*, считающихся неделимыми на данном уровне рассмотрения (**mE** – минеральный зародыш или протоминерал, **siS** – совокупность внутренних поверхностей, слагающих его «кристаллическое тело», и **oS** – внешняя поверхность);

б) *отношения единства, связи между первичными элементами*, скрепляющие их в единое целое (закон действующих масс; принцип Ле Шателье; законы массо- и теплопереноса; коллоидно-химические законы адсорбции-десорбции Дерябина и Ребиндера; положение Дистлера о превалирующей роли электростатического дальнего действия активных точек кристалла над геометрией его поверхности; закон минералогического резонанса; принцип наследования в минералогенезисе Юшкина-Хомякова; правило полярности Лодочникова-Евзиковой; принцип суперпозиции симметрии Кюри-Шубникова-Шафрановского-Нойманна; постулат Шефтеля о влиянии минералообразующей среды на индивид главным образом путем её вхождения в его матрицу, дополненный принципами Ракина-Асхабова о взаимном влиянии матрицы и среды; закон Бергло-Нэрнста; синергетические законы Руденко-Булкина-Эстерле о неравновесности и нелинейности процессов зарождения и роста минералов в открытых системах; теорема Пилипенко; теорема Силаева о космогеохимической обусловленности видообразования минералов);

в) *условия, ограничивающие отношения единства*, или так называемые *законы композиции* (и, в частности, главный закон онтогении минерала или 1-й постулат Поваренных о вложении его первичных элементов один в другой по формуле $M = mE \in \text{si}S \in \text{oS}$; постулаты Стенона и Бекке об обязательном зонарно-секториальном строении кристаллов минералов, уточнённые Шубниковым и Григорьевым; положение Галиулина о возможности существования минералов только в трёх пространствах постоянной кривизны: сферическом (с положительной кривизной), гиперболическом (с отрицательной кривизной, пространство Лобачевского) и евклидовом (с нулевой кривизной); законы кристаллохимической конституции; 2-й постулат Поваренных о взаимосвязи филогенеза минералов как характера минеральных поверхностей, их образования и развития с конденсирующим влиянием гравитации в ходе структурно-вещественной эволюции Вселенной (Галиулин, 1994; Евзикова, 1965; Жабин, 1982, 1983; Поваренных, 1988–2013; Поваренных, Матвиенко, 2014; Поваренных, Оноприенко, 1986; Povarennykh, 1990, 1997, 2007; Силаев, 1999; Труфанов, 1976; Труфанов и др., 1982; Урманцев, 1988; Хомяков, Юшкин, 1981; Шубников, 1936; Эстерле, 1985, 1990; Юшкин, 1977, 1984; Юшкин, Хомяков, Евзикова, 1984; Юшкин, Шафрановский, Янулов, 1987; Юшкин, Эстерле, 1980; Buseck, 1993; Buseck, Tsipursky, 1992; Fullerenes and atomic clusters, 1995).

Новая парадигма минералогии – онтогенетическая – в отличие от ныне принятой, позволяет ввести в минералогии временную ось, а предлагаемое понятие минерала является по-существу возвратом на новом витке развития науки к расширительному определению, данному В.И. Вернадским в 1906 году (Вернадский, 1923). Однако это определение необходимо дополнить основополагающим принципом классификации – наличием «первичной или эффективной ростовой поверхности» – замкнутого трёхмерного образования толщиной $n - 10n \text{ \AA}$ (развитие идеи «элементарного слоя», предложенного сначала П. Ниггли (Niggli, 1919), а затем И. Сунагавой (Sunagawa, 1961) и Н.З. Евзиковой (Евзикова, 1965) и переходом в структурном анализе к группам гомологии В.И. Михеева (1961) и Д.В. Наливкина (1925), частным случаем которых являются используемые ныне группы симметрии Е.С. Фёдорова. Новая парадигма минералогии позволяет перейти к таким основополагающим понятиям «жизни минералов», как: а) *элементарный слой* (это понятие более первично, чем «элементарная ячейка»); б) *зонарно-секториальному внутреннему строению* любого минерального индивида; в) *росту и растворению любого минерала поверхность за поверхностью*; г) *эволюции онто- и филогенеза* (временная ось и кристаллическая решётка по определению не совместимы, и последняя не отвечает трём основополагающим постулатам синергетики природных процессов: необратимости, нелинейности и неравновесности), а также включить в Царство минералов подцарства минералоидов и кавикластов (наноминералов) наравне с активно изучаемыми ныне кристаллами. Действительно, вся история «жизни» минерала от зарождения до распада – онтогенез – запечатлён в его поверхностях, и кристаллическое (или некристаллическое) «тело» минерала – это, по-существу, область развития былых или ныне существующих его поверхностей. Минерал создаётся перемещением поверхностей и является суперпозицией траекторий этих перемещений. Любая точка внутри минерала была в определённый момент времени точкой его былой поверхности. Именно на поверхностях минерала «записывается» вся генетическая информация как мера неоднородности в пространственно-временном распределении энергии и вещества в минералообразующей среде, которая закрепляясь в строении растущего минерала, проявляется в его свойствах и определяет в каждом конкретном случае меру негэнтропии.

В условиях отсутствия гравитации или при микрогравитации (а также при резких, взрывоподобных перепадах давления и температуры) в результате гомогенного зародышеобразования первыми (как бы протоминералами) будут возникать системы минералов с преобладанием в их строении элемента **mE**, которые предлагается называть *кавикластами* (или наноминералами, их первыми представителями являются углеродные фуллерены, тубелены, бареллены и их неуглеродные аналоги) (Поваренных, 1988, 1990).

Не только само существование протоминералов, но и некоторые их свойства (такие, как минимальные размеры, некристаллографичность, простота химического состава и его вторичность, целостность и необратимый характер индивидов, отсутствие у них кристаллического строения, простота химического состава, обладание первичной поверхностью и высокая способность к морфолого-структурно-химической эволюции) были предсказаны автором «на кончике пера» задолго до их обнаружения в природе и появления первых публикаций по фуллеренам (Поваренных, Оноприенко, 1986; Поваренных, 1988, 1990).

По мере возрастания гравитирующих масс (планетозимали → планетосферы → планеты), синтеза одних и «выгорания» других элементов, в результате гетерогенного (на кавикластах как матрицах для осаждения) зародышеобразования будут возникать системы (подцарства) минералов с преобладанием элемента **siS** в их строении: $S(1 \rightarrow 2)M = \{ (mE), siS, (oS) \} = S(siS)M$ (их предложено называть **кристаллами**), а с возникновением у планет газовой, а затем и жидкой (например, водной, как у Земли) оболочек – системы минералов с преобладанием элемента **oS**: $S(1 \rightarrow 2 \rightarrow 3)M = \{ (mE), siS, oS \} = S(oS)M$ (их предложено называть **минералоидами**) (Поваренных, 1988–2013; Поваренных, Матвиенко, 2014).

В целом эволюция минерального царства (в терминах предложенной модели) в ходе общей эволюции Вселенной могла, по-видимому, идти от объект-систем (минеральных подцарств) с преобладанием элемента **mE** к таковым с преобладанием элемента **siS**, а далее **-oS**, что сопровождалось такими явлениями: уменьшением относительной распространённости в космосе, снижением энергии образования, симметрии, химической однородности, коэффициента заполнения пространства при упаковке частиц, дисперсности, так и увеличением сложности образующихся объект-систем.

Сопоставление на временной оси «узловых точек» существования материи (газовая туманность → газо-пылевое облако → планетозимали → планетосферы → планеты → звёзды → гиганты → сверхгиганты → чёрные дыры) и эволюции элементного состава Вселенной (синтез одних элементов и «выгорание» других) с вышеназванными тенденциями для минерального царства позволяет наметить общие черты построения «естественной» (по Г.Б. Бокию, 1998) систематики минералов – Периодической Системы Минералов (Поваренных, 1988–2013; Поваренных, Матвиенко, 2014).

Известно, что элементы отличаются друг от друга своей стабильностью. Так, наиболее стабильны те из них, которые обладают так называемым «магическим» количеством протонов (2, 8, 14, 20, 28, 50 и 82) и нейтронов (2, 8, 14, 20, 28, 50, 82 и 126) в ядре. К ним, например, относятся ${}_{20}\text{Ca}$, ${}_{50}\text{Sn}$, ${}_{82}\text{Pb}$, характеризующиеся наибольшим числом изотопов; ${}_{36}\text{Kr}^{86}$ и ${}_{54}\text{Xe}^{136}$ – отвечающие «магическому» числу нейтронов и обладающие сильными внутриядерными связями; ${}_{2}\text{He}^4$, ${}_{8}\text{O}^{16}$, ${}_{14}\text{Si}^{28}$, ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ – элементы, чьи ядра имеют дважды магические числа (и протонов, и нейтронов), а также элементы группы железа (и вообще средней части таблицы Менделеева с $50 < A < 80$), энергетически более выгодно построенные и чаще образующиеся за счёт более лёгких ядер при нуклеосинтезе, так и в результате распада тяжёлых элементов. Отсюда следует, что в ходе эволюции газовой туманности (на месте взрыва Сверхновой) будет происходить не только определённая *пространственная дифференциация* элементов (Ларин, 1980), но *временная*: в более древних образованиях значительной части элементов уже не будет в наличии, они просто «выгорят» внутри содержащих их минералов (в связи, с чем последние неизбежно изменят свою конституцию). Поэтому наряду с известным относительным обогащением внутренних планет земного типа металлами и внешних планет-гигантов элементами с высокими потенциалами ионизации первого электрона, в характере распределения элементов в их недрах по планетосферам (от ядра к коре) должно наблюдаться относительно большее единообразие: увеличение доли менее стабильных изотопов химических элементов. В целом же в ходе эволюции газовой туманности наиболее широкий спектр изотопов (как необходимой вещественной наряду с термодинамикой предпосылки для создания минералов) будет

создаваться именно на планетах, а не в газо-пылевом облаке или внутри звезды, где нуклеосинтез ещё не завершён, либо распад преобладает над синтезом. Кстати говоря, и термодинамические рамки условий минералообразования на планетах также, по-видимому, более широки и ёмки, чем на остальных «узловых точках» существования материи.

Исходя из вышеизложенного, можно предложить в качестве Периодов «естественной» Системы Минералов те уровни организации материи, где происходят скачки, появление новых сущностей, «отрицание отрицания». Это, например, переход от газовой туманности к газо-пылевой, где появляется *протоповерхность* (или полый *кватарон*, по (Асхабов, Галиулин, 1998; Асхабов, Юшкин, 1999), а с ней и *первый минерал* – *космическая пыль*, первое отрицание), а затем – к планетозимали и ядру планеты (появление *протоагрегата минералов* в связи с единым процессом – парагенезиса минералов, *первой горной породы*, второго отрицания) (Зубков, 1979). Следующий скачок, по-видимому, происходит при образовании из совокупностей горных пород планетосфер, а затем из последних – планет. Далее планеты формируют звёздно-планетные системы, которые в свою очередь формируют галактики. Это скачкообразное развитие материи сопровождается постоянной эволюцией изотопного состава составляющих её химических элементов и закономерным изменением физико-химических условий, что приводит к вариации спектров образующихся и существующих в разных периодах подсистем минералов, относящихся к трём основным системам (подцарствам) минерального царства – кавикластам (наноминералам), кристаллам и минералоидам. Этот подход позволяет по-новому взглянуть на такую кажущуюся парадоксальной для большинства современных минералогов точку зрения Владимира Ивановича Вернадского (1923) о включении в число объектов минералогии нефтей, природных вод и газов. На смену ныне принятой парадигмы минералогии, кристаллохимической, идет новая – онтогеническая – где кристаллы займут своё достойное, но вполне определённое место среди подцарств минералов наравне с кавикластами и минералоидами.

Литература

- Асхабов А.М., Галиулин Р.В. Кватаронный механизм образования и роста кристаллов // Докл. РАН. 1998. Т. 363. № 4. С. 513–514.
- Асхабов А.М., Юшкин Н.П. Кватаронный механизм генезиса некристаллографических форм наноструктур // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 1. С. 84–86.
- Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 1. Петербург. 1923.
- Галиулин Р.В. Идеальные кристаллы в пространствах постоянной кривизны // Кристаллография. 1994. Т. 39. № 4. С. 581–585.
- Евзикова Н.З. Принципы структурно-геометрического анализа граней кристаллов // Зап. ВМО. 1965. № 2. С. 129–142.
- Жабин А.Г. Новая парадигма генетической минералогии / Редкие элементы в геологии. М.: Наука, 1982. С. 110–120.
- Жабин А.Г. Понятия онтогенеза и филогенеза в эволюционном направлении генетической минералогии / Проблемы кристаллохимии и генезиса минералов. Л.: Наука, 1983. С. 21–26.
- Зубков И.Ф. Проблема геологической формы движения материи. М.: Наука, 1979. 259 с.
- Ларин В.И. Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Недра, 1980. 211 с.
- Поваренных М.Ю. Значение понятия «поверхность» при рассмотрении основного объекта минералогии / Теория минералогии, 1988. С. 20–22.
- Поваренных М.Ю. Развитие представлений о минерале // Идея развития в геологии. Вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 92–104.
- Поваренных М.Ю. О применении Общей Теории Систем ОТС(У) в минералогии // Теория минералогии. Тез. докл. II Всес. совещ. Т. 1. Сыктывкар. 1991. С. 30–32.
- Поваренных М.Ю. Фуллерены как протоминералы // Зап. ВМО. 1996. № 5. С. 97–103.
- Поваренных М.Ю. Дихотомия и гомология в новой минералогической парадигме // Тез. докл. Междунар. конф. Тюмень: ТюмГНГУ. 1998. С. 49–52.
- Поваренных М.Ю. От протоминерала к Периодической Системе минералов // Система Планета Земля. М.: МГУ. 2000. С. 63–72.
- Поваренных М.Ю. Минеральные ритмы и циклы // В сб. «Система Планета Земля». М.: МГУ. 2002. С. 45–52.
- Поваренных М.Ю. О новой парадигме Минералогии для описания минерального разнообразия // Сохранение минерального разнообразия. Матер. Междунар. конфер. София, 2010. С. 121–130.

- Поваренных М.Ю.* Новая жизнь старого определения понятия «минерал» В.И. Вернадского. Возможность описания новых минералогических подцарств – наноминералов (кавикластов) и минералоидов // Матер. Международ. конфер. «Юшкинские чтения-2013». Сыктывкар, 2013. С. 233–236.
- Поваренных М.Ю.* Минералогия на грани смены парадигм // Матер. Годичной конфер. ИИЕТ РАН. Москва, 2013. С. 213–216.
- Поваренных М.Ю., Матвиенко Е.Н.* Развитие теории минералогии и петрографии. Теоретико-системное обоснование построения естественной классификации минералов и горных пород и Периодической Системы Минералов. Саарбрюккен. LAP Lambert. 2014. 117 с.
- Поваренных М.Ю., Оноприенко В.И.* О сущности минерала // Геол. журнал. 1986. Т. 46. № 5. С. 53–57.
- Попов В.А.* Морфологические законы перекристаллизации // Новые идеи в генетической минералогии. Л.: Наука, 1983. С. 31–38.
- Попов В.А.* Практическая кристалломорфология минералов. Свердловск: УрО АН СССР, 1984. 191 с.
- Силаев В.И.* В память о П.Н. Чирвинском: начальные теоремы из области общей филогении минералов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: Мат. научн. конф. Пермск. ун-т. Пермь. 1999. С. 14–16.
- Труфанов В.Н.* Генетическая информативность репликационно-матричного механизма кристаллизации минералов // Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар. 1976. С. 16–17.
- Труфанов В.Н., Куршев С.А., Майский Ю.Г., Ушак А.Т.* Рост кристаллов при высоких перепадах температур и давлений // Морфология и фазовые равновесия минералов. Матер. XIII Конгр. ММА. Варна. 1982. София. Изд-во Болг. АН, 1986. С.119–124.
- Урманцев Ю.А.* Эволюционика или общая теория развития систем природы, общества и мышления. Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1988. 79 с.
- Хойл Ф.* О происхождении Солнечной туманности // Вопросы космогонии. 1960. Вып.7. С. 15–49.
- Хомяков А.П., Юшкин Н.П.* Принцип наследования в кристаллогенезисе // ДАН СССР. 1981. Т. 256. N5. С. 1229–1233.
- Шубников А.В.* Кристалл-индивидуум и кристаллическая среда / Академику В.И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности. Т.1. Изд-во АН СССР. 1936. С. 97–108.
- Эстерле О.В.* Статистические свойства связанных электронов и эволюция минеральных систем // Теоретические и прикладные исследования в минералогии. Сыктывкар. ИГ Коми ФАН СССР. 1985. С. 70–72.
- Эстерле О.В.* Эволюция косного и живого вещества Земли с точки зрения статистической химии // Идея развития в геологии. Вещественный и структурный аспекты. Новосибирск, 1990. С. 105–110.
- Юшкин Н.П.* Теория и методы минералогии. Л.: Наука, 1977. 286 с.
- Юшкин Н.П.* История минералогии и эволюция фундаментальных минералогических идей // Науч. докл. Коми ФАН СССР. 1984. Вып. 102. 43 с.
- Юшкин Н.П., Хомяков А.П., Евзикова Н.З.* Принцип наследования в минералогенезисе / Препринт. Научные доклады Коми ФАН СССР. 1984. Вып. 93. 67 с.
- Юшкин Н.П., Шафрановский И.И., Янулов К.П.* Законы симметрии в минералогии. Л.: Наука. 1987. 321 с.
- Юшкин Н.П., Эстерле О.В.* Природа шумов и минералогической информации и методы её очистки // Типоморфизм и генетическая информативность минералов. Тр. ИГ Коми ФАН СССР. Сыктывкар, 1980. Вып. 30. Мин. сб. № 6. С. 121–132.
- Buseck P.R., Hua X.* Matrices of carbonaceous chondrite meteorites // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1993. Vol. 21. P. 255–305.
- Buseck P.R., Tsipursky S.J., Hettich R.* Fullerenes from the geological environment // Science. 1992. V. 257. P. 215–217.
- Daly T.K., Buseck P.R., Williams P., Lewis C.F.* Fullerenes from fulgurites // Science. 1993. V. 259. P. 1599–1601.
- Di Brozolo F.R., Bunch T.E., Fleming R.H., Macklin J.* Fullerenes in an impact crater on the LDEF spacecraft // Nature. 1994. V. 369. P. 37–40.
- Fullerenes and atomic clusters.* Abstr. II Int. Worksh.(St-Petersburg, 1995). 1995. 202 p.
- Iijima S.* Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. 1991. V. 354. P. 56–58.
- Mikhail Povarennykh.* On The New Paradigm of Mineralogy For Description of The Mineral Diversity // Proc. IV Int. Conf. Sofia. 2007. Abstr. P. 39–40.
- Niggli P.* Geometrische Kristallographie des Discontinuums. Leipzig, 1919. 135 p.
- Povarennykh M.Y.* Fullerenes as protominerals // Proc. Intern conf. «Fullerenes and atomic clusters». St-Petersburg. 1995. Abstr. P. 191–192.
- Povarennykh Michael.* Development of the idea about the essence of main mineralogical object //Proc of the 15-th Gen Meet. IMA. Beijing. China. 1990. Abstr. V. 1. P. 328–330.
- Sunagawa I.* Step Height of Spirals on Natural Hematite Crystals // Am. Min. 1951. V. 46. N 11–12. P. 1216–1226.