

УДК 549.0

О СОВРЕМЕННОЙ ПАРАДИГМЕ МИНЕРАЛОГИИ КАК ОТРАЖЕНИИ ЗАКОНОВ АНАТОМИИ КРИСТАЛЛОВ

В.А. Попов

*Институт минералогии УрО РАН, 456317, Россия, г. Миасс, Ильменский заповедник;
popov@mineralogy.ru*

ABOUT CURRENT PARADIGM OF MINERALOGY AS A REFLECTION OF CRYSTAL ANATOMY LAWS

V.A. Popov

Institute of Mineralogy UB RAS, 456317, Russia, Miass, Ilmen State Reserve; popov@mineralogy.ru

Весь твердотельный мир создан природным явлением кристаллизации – выстраиванием атомов и атомных группировок в дальний порядок. «Живой» и «косный» миры являются единым минеральным (кристаллическим) миром. Между органическими и неорганическими соединениями (минералами) нет принципиальных различий. Все химические «соединения» являются минералами. В процессе кристаллизации всегда происходит диссимметризация пространства, ведущая к возникновению многих физических явлений – электрических, магнитных, оптических и других. В процессе роста всегда возникают неоднородные кристаллы в соответствии с законами ростовой анатомии.

Илл. 4. Библ. 15.

Ключевые слова: минералогия, парадигма, кристаллы, анатомия.

The entire solid-state world is formed by natural phenomenon of crystallization: atoms and atomic groups arranged to a long order. The «alive» and «rigid» worlds comprise one mineral (crystal) world. There are no fundamental differences between organic and inorganic compounds (minerals). All chemical «compounds» are minerals. During crystallization, the space is always dissipated, leading to numerous physical phenomena: electrical, magnetic, optical, etc. The process of growth always results in the formation of heterogeneous crystals consistent with growth anatomy laws.

Figures 4. References 15.

Key words: mineralogy, paradigm, crystals, anatomy.

«Кристаллографические элементы организованности, характерные для белков, обещают нам наиболее глубоко проникнуть в тайны управляемых белками жизненных процессов»

Академик Н.В. Белов
(Из вступительной лекции
по кристаллографии в МГУ)

С точки зрения физики, вещества существуют в трёх агрегатных состояниях – твёрдом, жидком и газообразном. Твёрдое тело обладает свойством

твёрдости (механической прочности). Свойство твёрдости возникает как следствие кристаллизации – явления выстраивания атомов и атомных группировок в дальний порядок. Все твёрдые тела мира (космоса, Вселенной) обязаны своим возникновением природному явлению – кристаллизации, то есть являются минеральными телами. Твёрдый – значит, кристаллический. Кристаллические (минеральные) тела могут быть простыми и сложными, мельчайшими (нанокристаллы) и гигантскими (планеты). Исследованием минеральных тел зани-

мается наука минералогия, которая в процессе своего развития в разные времена при изучении своих объектов использовала различные основополагающие научные идеи и представления – парадигмы. Во второй половине XX века в минералогии наметилось понимание необходимости пересмотра действующей кристаллохимической парадигмы.

Основания для пересмотра парадигмы минералогии в значительной мере заложены Д.П. Григорьевым (1971) в формулировках законов анатомии кристаллов и в высказывании: *«Базирующаяся на термодинамике теория, обобщая наблюдения, абстрагируется от признаков конкретных тел, отвлекаясь при этом слишком далеко от натуры, и видит в минералах лишь физико-химические фазы на равных правах с расплавами, жидкостями и газами. Такая точка зрения явно недостаточна без учёта кристаллического устройства минералов, принципиально отличающего объекты нашей науки от всех других»* (Григорьев, 1998, с. 57). Под кристаллическим устройством Д.П. Григорьев понимал не только виртуальную атомную структуру минералов, но и анатомическое устройство кристаллов (зональность, секториальность и прочие неоднородности). Из его высказываний следует, что минералы не являются фазами и объектами равновесной термодинамики, которая рассматривает системы с эмерджентным свойством – возможностью обмениваться веществом и энергией между частями системы, что приводит к равновесному состоянию. Этим свойством обладают газовые и жидкостные системы. В минералах атомы элементов закреплены кристаллической решёткой и, судя по ростовой анатомической картине, их концентрации, в общем случае, не выравниваются ни внутри кристаллов, ни между зёрнами минералов. Фактически кристаллизация ведёт к обязательной диссимметризации пространства, а диссимметрия, соответственно, творит явления (оптические, электрические, магнитные, гравитационные и другие).

Более двухсот лет назад в химии произошло разделение на органическую и неорганическую части без особых фундаментальных их различий. При образовании Российского минералогического общества, 200-летие которого мы отмечаем, было подчеркнуто, что оно объединяет исследователей неорганической части природы. Академик В.И. Вернадский (1960) разделил телесный мир на «живой» и «косный» (минеральный). Научный

мир воспринял такое разделение как должное и понятное. Но почти в это же время появились книги «Жизнь кристаллов» (Вульф, 1922) и «Жизнь минералов» (Жабин, 1976), где слово «жизнь» воспринимается, по-видимому, иначе, чем у В.И. Вернадского.

Далее появилась книга А.А. Кораго (1992) «Введение в биоминералогию», где автор формулирует тезис: «Человек – это, по сути, минералообразующая система» (с. 230). В конце XX века академик Н.П. Юшкин (2006) создал «концепцию кристаллизации жизни». Любой организм как тело зарождается и растёт за счёт кристаллизации органических и неорганических минералов. Размножение (деление) клеток происходит вследствие кристаллизации внутриклеточных минеральных систем (ядер, органелл, оболочек и т.д.), сложенных разными минералами и парагенезисами органических и неорганических минералов, которые химиками называются соединениями. Таким образом, «живой» и «косный» миры являются частями единого минерального (кристаллического) мира. Различие заключается только в особенностях функционирования разных минеральных систем, в том числе – самоорганизующихся.

Кристаллизация (образование минералов) – природное явление. Оно не бывает искусственным, хотя может происходить в искусственно созданных человеком системах. Следовательно, искусственных минералов не существует. Все «химические соединения», полученные химиками в искусственных (экспериментальных) системах, являются минералами. Все металлы, сплавы и стёкла, полученные металлургами в различных технических установках, являются минералами и их агрегатами. Все органические соединения (в том числе – полимеры), образующие тела, выросшие в организмах, растениях, искусственных системах – тоже минералы (нередко наноразмерные). Химикам известны уже миллионы соединений (веществ), и они склонны утверждать, что многие из них якобы *не встречаются в природе* (в минералогии на настоящее время известно всего около 5 000 минералов). Представление об искусственной кристаллизации – это, конечно, сильное преувеличение человеческих возможностей. Химики и биохимики уверены, что они сами синтезируют (кристаллизуют) химические соединения, не называя их минералами. Но они всего лишь подбирают варианты кристаллизационных систем (РТХ-условия), а рост кристаллов минералов осуществляет природное явление кри-

сталлизации. Образно говоря, природа «знает» о мире минералов необозримо больше человека.

А.Г. Жабин (1985, с. 20) прямо заявил о необходимости смены парадигмы в минералогии: «Пришло время сформулировать новую парадигму минералогии, в которой были бы отражены в самом общем генерализованном виде фундаментальные проблемы минералогии». Формулировок действующей (старой) парадигмы и новой им не предложено.

Теоретическая часть минералогии в XX столетии может быть отражена учением о типоморфизме минералов, куда можно отнести и парагенетический анализ. В связи с развитием в конце XIX–начале XX веков физической химии и равновесной термодинамики, в минералогии стихийно на уровне интуиции возникла соответствующая им парадигма, которую никто не пытался сформулировать, тем более что методологического термина «парадигма» ещё не существовало. В методологическом плане термин «парадигма» (*paradigma – пример, образец*) означает: общенаучная руководящая идея, цементирующая все компоненты знания, понятийные и инструментальные средства в единую схему. Равновесная термодинамика в начале XX века казалась наукой, объясняющей многие явления, происходящие с веществом, и это характеризует возникшую особенность несформулированной парадигмы минералогии. Научному сообществу казалось важным бросить все силы на развитие теории типоморфизма минералов – главной выразительницы парадигмы минералогии XX века.

В теории типоморфизма минералов основополагающим тезисом является: конституция и свойства минерала определяются физико-химическими условиями его кристаллизации. Отсюда вытекает ретросказание: по конституции и свойствам минералов можно говорить об условиях их кристаллизации. Термин *типоморфный* в минералогии означает *образец типичной (для конкретных условий) формы, типичного физического свойства, типичного химического состава, типичных кристаллохимических особенностей*. Производя анализ учения о типоморфизме минералов, А.Г. Жабин (1985, с. 16) был потрясён его состоянием: «В качестве впечатляющего примера отсутствия теоретических разработок проблемы при великом множестве частных данных можно привести учение о типоморфизме и типохимизме минералов. Эффективность научного осмысливания и практического использования этого колоссального объёма частных данных о типоморфизме будет низкой до тех пор, пока...

мы окажемся неспособными определить саму сущность типоморфизма...».

В минералогии постепенно накопились наблюдения, не встраивающиеся в разрабатываемую теорию типоморфизма. С появлением раздела минералогии с названием «онтогенез минералов» (Григорьев, 1961; Григорьев, Жабин, 1975) стала ясна недостаточность тезиса «конституция и свойства минералов определяются физико-химическими условиями их кристаллизации». Опубликованы формулировки *законов ростовой анатомии кристаллов*, в которых утверждается, что выросшие кристаллы всегда зональны и секториальны, а элементы ростовой анатомии кристаллов физически и химически различны (Григорьев, 1971). Изотопная секториальность кристаллов надёжно подтверждена исследованиями В.И. Поповой (1995). Создававшаяся и создаваемая теория типоморфизма минералов не учитывает законы анатомии кристаллов, чем демонстрирует свою устарелость и неадекватность природе. Эта теория оперирует кристаллическим телом (индивидом, агрегатом) в целом, считая процессы кристаллизации равновесными.

Если считать, что кристаллизационная среда имеет симметрию шара $\infty L_{\infty} \infty PC$, то рост любого кристалла следует относить к диссимметризации пространства (симметрия кристаллического вещества, например, $L_2 PC$, ниже симметрии шара; L – ось, P – плоскость, C – центр симметрии). Рост граней разных простых форм происходит в общем случае разными механизмами и вносит дополнительную диссимметризацию кристаллического пространства таким образом, что элементы анатомии кристалла структурно чем-либо отличны от идеализированной структуры кристалла (например, наличием центров окраски). Диссимметрия реальных кристаллов создаёт широкий спектр их свойств, которые можно использовать в каких-либо целях, а виртуальные однородные кристаллы не имеют такого спектра свойств. В нанокристаллических объектах органической химии, биологии, медицины всё ещё не используются представления о диссимметрии кристаллов (нанокристаллов) минералов.

Все минералы имеют множество потенциальных простых форм (например, у кальцита их реализовалось более 100, у кварца – 60). Реализация разных простых форм на кристаллах в природе ясно указывает на наличие множества механизмов роста (разными строительными частицами). В кри-

сталлизиционных средах в общем случае находится некоторое множество типов строительных частиц (объёмных пазлов!), отличающихся составом (в том числе – изотопным), структурированием, сольватацией, гидратацией и т.п. **Относительная скорость роста граней разных простых форм определяется количественными соотношениями типов строительных частиц в среде.** Таким образом, *в процессе роста кристалл выполняет функцию великого разделителя атомов элементов и их изотопов через механизмы роста разными строительными частицами.* Типы строительных частиц задаются физическими условиями кристаллизации и химическим составом среды. **Форма кристаллов в процессе роста выполняет созидательную функцию, т.е. реальная анатомическая картина кристалла задаётся его формой.**

Грани всех простых форм любого минерала могут иметь множество типов скульптур, несколько типов разноориентированных штриховок (например, типы бугров роста на гранях ромбоздров и призм кристаллов кварца, типы штриховок на гранях разных простых форм пирита – рис. 1). Это

прямое указание на множественность механизмов роста кристаллов (разными типами строительных частиц, разными объёмными пазлами). Химики-органики нередко пользуются моделями полимеров в виде одномерной цепочки мономеров, в то время как полимеры являются трёхмерными кристаллами (рис. 2), часто имеющими нитевидный облик. По-видимому, кристаллы полимеров растут не путём присоединения готовых строительных частиц в виде весьма длинных многоатомных «молекул», а субизометричными нуклеотидами в виде объёмных пазлов (рис. 3). Модель спирали ДНК является, по-существу, мотивом объёмной структуры ДНК, а кристаллы могут выглядеть пряморёберными без скручивания (Попов, 2017) или со скручиванием, расщеплением, блочностью. Генетическая информация должна быть преимущественно сосредоточена объёмно собственно в кристаллах ДНК подобно кристаллам неорганических минералов. В современных моделях генов всё ещё фигурирует полимер в виде двойной (тройной, четверной) спирали (мотива структуры), в то время как необходимо использовать генную информацию от зонально-секториальных органических кристаллов (см. рис. 2)

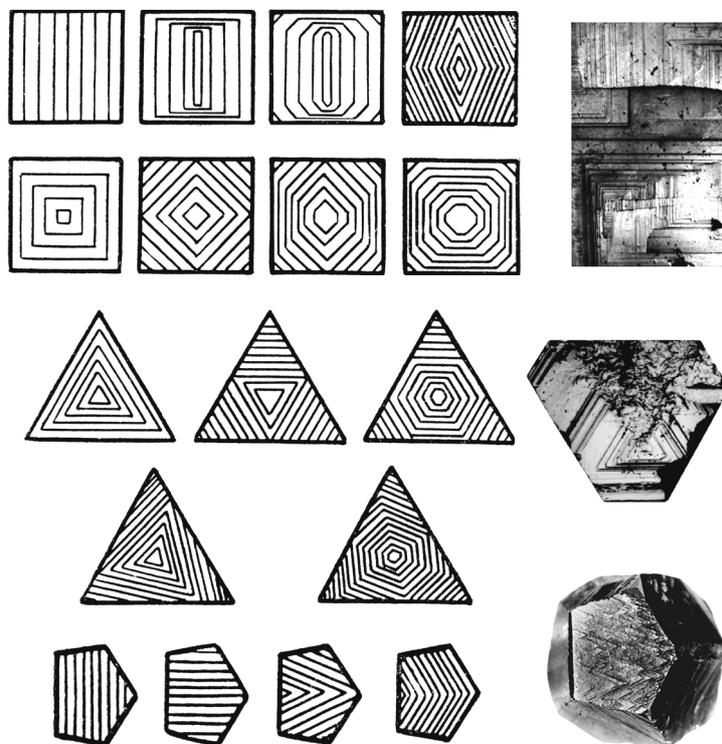


Рис. 1. Типы штриховок на гранях кристаллов пирита – куба, октаэдра и пентагондодекаэдра.

Fig. 1. Types of hatches on the faces of pyrite crystals: cube, octahedron and pentagondodecahedron.

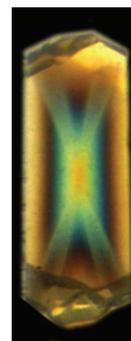
и их синтаксических и эпитаксических срастаний с другими минералами.

Законы анатомии кристаллов диктуют необходимость принятия основополагающего тезиса: *в процессе кристаллизации происходит взаимодействие кристалла со средой, они взаимно влияют друг на друга. Кристалл во время роста производит разделение атомов элементов и их изотопов гранями разных простых форм по-разному.* Это можно продемонстрировать на множестве минералов (Попова, 1995). В минералах встречается весьма контрастное различие элементов анатомии вплоть до разных минеральных видов в одном индивиде. Такая ситуация противоречит философской установке: в биологии и минералогии вид представлен бесконечным рядом индивидов. Факты в минералогии далеко не всегда вписываются в это представление. Ясно, что контрастные анатомические картины в кристаллах могут сильно повлиять на использование классификаций минералов и их номенклатуры: уже сейчас известны примеры минеральных индивидов, в которых можно насчитать до 3–4 минеральных видов по современным классификациям (рис. 4). *В разных пирамидах роста кристалла бывает несколько различающаяся структура минерала вследствие разного химического состава.*

Разделение кристаллом изотопов в процессе роста ставит проблему изменения моделирования «абсолютного» возраста в геологии (яркое проявление фундаментальности минералогии!). Модели из экспериментально-физических должны стать

Рис. 2. Зонально-секториальный кристалл белка (<http://ru.wikipedia.org/wiki/Белки>).

Rice. 2. Zonal-sectorial protein crystal (<http://ru.wikipedia.org/wiki/Белки>).



минералогическими. То же предстоит сделать с теориями роста кристаллов минералов – из абстрактно-физических (точнее – энергетических) их надо трансформировать в минералогические (пространственно-временные). Теории должны отразить различие механизмов роста граней разных простых форм, чем и обуславливается явление разделения атомов элементов и их изотопов.

В новой теории роста кристаллов необходимо уйти от представлений о «равновесии». За долгое время использования термина «равновесие» так и не было сформулировано: между чем и чем должно установиться равновесие? Почему «равновесная форма» должна рассчитываться из абстрактной структуры кристалла, если кристаллизация определяется средой? Почему сокристаллизуются полиморфы? Почему в природе так много синтаксических срастаний разных минералов, в том числе на наноуровне? Почему синтаксические сростки образуют близкие по составу полиморфы амфиболов, пироксенов, слюд, хлоритов и т.д., вместо

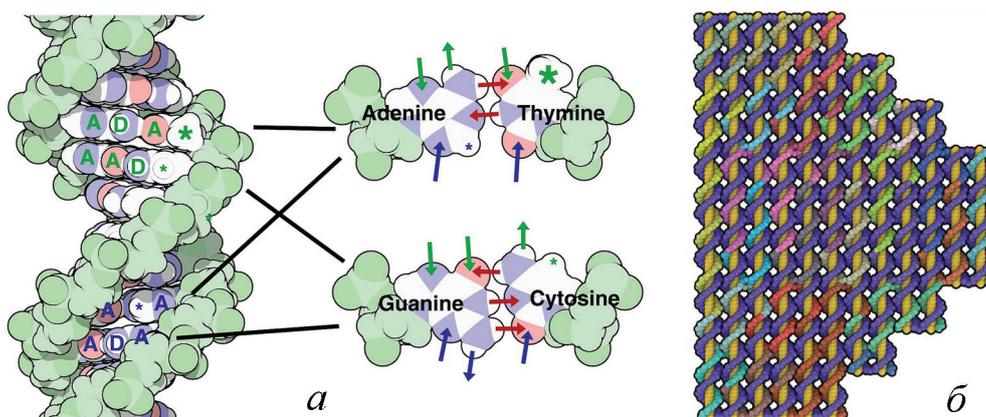


Рис. 3. Модель двойной спирали ДНК и модели нуклеотидов (а), которые могут быть строительными частицами (объёмными пазлами) для образования кристалла ДНК (б). Рисунок по данным: fb.ru/article/255828.

Fig. 3. Models of DNA double helix and nucleotide (a), which can be building particles (volume puzzles) for the formation of the DNA (b) crystal, composed on the basis of fb.ru/article/255828.

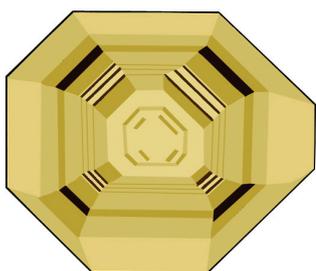


Рис. 4. Зональность и секториальность в кристаллах набокоита, содержащих элементы анатомии из атласовита (чёрные), Камчатка (Попова и др., 1987).

Fig. 4. Zoning and sectoriality of crystals of nabokoite with elements of atlasovite anatomy (black) from Kamchatka (Popova et al., 1987).

того, чтобы образовывать переходные по составу минералы?

Ясно, что кристаллизация может осуществляться только из пересыщенных (переохлаждённых) сред. Понятие «пересыщение» далеко не просто сформулировать, поскольку виртуальные компоненты какого-либо вещества находятся реально в среде во множестве типов частиц, из которых не все могут участвовать в строительстве кристалла. Следовательно, «пересыщение» относится только к концентрации тех частиц, которые идут на рост кристалла. У исследователей пока нет хороших инструментов, чтобы реально различать эти частицы и рассчитывать действительные пересыщения. Логически понятно, что кристаллизация – явление, **вынуждаемое** преобладанием сил связи частиц в кристалле над силами связи этих же частиц с частицами «растворителя» в конкретных условиях. Никакой биологической «самосборки» в недосыщенных (или перегретых) средах не существует.

Прогноз развития минералогии и попытку заглянуть в её будущее сделал Н.П. Юшкин (1999). По его представлениям, нас ожидает синтез минералогического знания и синтез живого и косного миров в единый минеральный мир. Накопившиеся факты и открытие новых явлений в минеральном мире ведут к пересмотру или корректировке парадигмы минералогии XX столетия. Она объединяет ранее разделённые «живой» и «косный» миры в единый минеральный мир твёрдых тел разной организации и устройства. **Новая парадигма утверждает необходимость исследования явления и механизмов разделения атомов элементов и их изотопов в процессе образования кристаллов минералов (возникновение зональности, секториальности и вообще диссимметризации**

пространства) и использования их для создания новой теории роста кристаллов, обновлённой теории типоморфизма минералов, широкого применения в науке, технике и технологиях (например, технологиях обогащения изотопов).

Другое рассмотрение представлений о необходимости создания новой парадигмы минералогии – онтогенической – дано в серии работ М.Ю. Поваренных (2016 – обобщение), где «основополагающим принципом классификации считается наличие первичной или эффективной ростовой поверхности» (с. 25). Автор полагает, что «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» (с. 25). По-видимому, далее следует специальное определение «первичной эффективной поверхности» и определение «негэнтропии» в кристаллах для практического применения в исследовании явления кристаллизации.

Итак, всё твёрдое вещество Вселенной (мира, космоса) представлено кристаллами минералов. Вообще, свойство твёрдости (механической прочности) возникает только при выстраивании атомов и атомных группировок в структуры с дальним порядком. Это явление называется кристаллизацией. Явление кристаллизации «осуществляет» сама Природа. Искусственно кристаллизацию осуществить невозможно, подобно другим природным явлениям – гравитации, электричеству, магнетизму. Однако создать искусственные (экспериментальные) кристаллизационные системы можно подбором физических и химических условий, но минералы при этом «вырастит» сама Природа. Минеральные индивиды (органические и неорганические) несопоставимы по сложности устройства с индивидами-организмами. Организмы, в общем случае, сложены системами систем минералов и минеральных парагенезисов, в том числе – самоорганизующимися. Минеральный мир (живой и косный) един, а структурная организация его в разных случаях различна. Кристаллы органических и неорганических минералов принципиально ничем не отличаются, между ними есть все постепенные переходы по составу и структуре, а также ориентированные сращения.

Отметим, что парадигма – это лишь общенаучная руководящая идея в некоторый исторический отрезок времени. Она не может охватить все научные и практические стороны, связанные с минеральным миром. Как будет развиваться минералогия в новом веке и новом тысячелетии – покажет история, но уже сейчас ясно, что минералогия является фундаментальной наукой всего естествознания, поскольку его объектами в общем случае являются твёрдые (кристаллические, минеральные) тела или, по-другому, весь твердотельный мир.

Литература

- Вернадский В.И. (1960)** Избранные сочинения. Т. V. М., Из-во АН СССР. 211 с.
- Вульф Г.В. (1922)** Жизнь кристаллов. М., Кооп. изд-во науч. работников, 92 с.
- Григорьев Д.П. (1961)** Онтогенез минералов. Львов, Изд-во Львов. ун-та, 284 с.
- Григорьев Д.П. (1971)** О законах анатомии кристаллов. *Кристаллография*, **16**(6), 1226–1229.
- Григорьев Д.П. (1998)** Рассуждения о минералогии. Сыктывкар, Геопринт, 85 с.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г. (1975)** Онтогенез минералов. Индивидуалы. М., Наука, 339 с.
- Жабин А.Г. (1976)** Жизнь минералов. М., «Советская Россия», 220 с.
- Жабин А.Г. (1985)** Фундаментальные проблемы минералогии. *Проблемы онтогенеза минералов*. Л., Наука, 10–21.
- Кораго А.А. (1992)** Введение в биоминералогия. СПб., Недра. 280 с.
- Поваренных М.Ю. (2016)** Кристаллохимическая парадигма современной минералогии и один из её столпов – русский академик АН УССР А.С. Поваренных. Что дальше? *Уральский геологический журнал*, (3), 18–32.
- Попов В.А. (2017)** Топоминералогия: современное состояние и перспективы развития. *Уральская минералогическая школа-2017*. Екатеринбург, «Альфа Принт», 140–145.
- Попова В.И. (1995)** Нейтронно-активационная радиография минералов. Миасс, ИМин УрО РАН, 188 с.
- Попова В.И., Попов В.А., Рудашевский Н.С., Главатских С.Ф., Поляков В.О., Бушмакин А.Ф. (1987)** Набокоит $Cu_7TeO_2(SO_4)_5 \cdot KCl$ и атласовит $Cu_6Fe^{3+}Bi^{3+}O_4(SO_4)_5 \cdot KCl$ – новые минералы вулканических эксгаляций. *Записки ВМО*. **116**(3), 358–366.
- Юшкин Н.П. (1999)** Минералогия на пороге нового тысячелетия. *Уральский минералогический сборник № 9*. Миасс, ИМин УрО РАН, 3–21.
- Юшкин Н.П. (2006)** Наука: труд, поиск, жизнь. Екатеринбург, УрО РАН, Институт геологии, 463 с.

References

- Vernadsky V.I. (1960)** Selected works. T. V. M., USSR Academy of Sciences, 211 p. (in Russian)
- Grigoriev D.P. (1961)** [Ontogeny of minerals]. Lviv: publishing house of Lviv. University press, 284 p. (in Russian)
- Grigoriev D.P. (1971)** [On the laws of crystal anatomy]. *Crystallographiya [Crystallography]*, **16**(6), 1226–1229. (in Russian)
- Grigoriev D.P. (1998)** [Arguments about Mineralogy]. Syktyvkar, Geoprint, 85 p. (in Russian)
- Grigoriev D.P., Zhabin A.G. (1975)** [Ontogeny of minerals. Individuals]. M., Science, 339 p. (in Russian)
- Korago A.A. (1992)** Introduction to biomineralogy. SPb., Nedra. 280 p.
- Popov V.A. (2017)** [Topomineralogy: current state and prospects of development]. *Uralskaya mineralogicheskaya shkola-2017 [Ural mineralogical school-2017]*. Ekaterinburg, «Alpha Print», 140–145. (in Russian)
- Popova V.I. (1995)** [Neutron-activation radiography of minerals]. Miass, IMin UB RAS, 188 p. (in Russian)
- Popova V.I., Popov V.A., Rudashevsky N.S. Glavatskiy A.F., Polyakov V.O., Bushmakina A.F. (1987)** [Nabokoite $Cu_7TeO_2(SO_4)_5 \cdot KCl$ and atlasovite $Cu_6Fe^{3+}Bi^{3+}O_4(SO_4)_5 \cdot KCl$ – the new minerals of volcanic exhalations]. *Zapiski VMO [Proceedings of Russian Mineralogical Society]*, **116**(3), 358–356. (in Russian)
- Povarennikh M.Yu. (2016)** [Crystal-chemical paradigm of modern mineralogy and one of the pillars of Russian Academy of Sciences of the Ukrainian SSR A.S. Povarennikh. What next?]. *Uralskiy geologicheskyy zhurnal [Ural geological journal]*, (3), 18–32. (in Russian)
- Wolfe G.V. (1922)** [Life of crystals]. M., 92 p. (in Russian)
- Yushkin N.P. (1999)** [Mineralogy on the threshold of the new Millennium]. *Uralskiy mineralogicheskyy sbornik № 9 [Ural mineralogical collection № 9]*. Miass, IMin UB RAS, 3–21. (in Russian)
- Yushkin N.P. (2006)** [Science: work, search, life]. Ekaterinburg: UB RAS, Institute of Geology, 463 p. (in Russian)
- Zhabin A.G. (1976)** [Life of minerals]. M., «Sovietskaya Rossiya», 220 p. (in Russian)
- Zhabin A.G. (1985)** [Fundamental problems of Mineralogy]. *Problemy ontogenii mineralov [Problems of ontogeny of minerals]*. Leningrad, Science, 10–21. (in Russian)

Поступила в редакцию 27 мая 2018 г.