



## Из опыта преподавания. XI. История и философия в курсах кристаллографии и минералогии

Ю. Л. Войтеховский

Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты;  
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург; *Voytekhovskiy\_YuL@pers.spmi.ru*

Статья посвящена истории и философии кристаллографии и минералогии. Составленная из отдельных сюжетов, в целом она показывает широкий диапазон тем, которые целесообразно обсудить со студентами-геологами по мере прохождения курсов «Кристаллография» и «Минералогия». Это можно сделать в ходе лекций во время пауз, рекомендуемых действующими педагогическими методиками, или факультативно. Приведен обширный список первоисточников и свежей литературы для подготовки бесед. Их цель видится в том, чтобы привлечь студентов к чтению серьезной литературы по истории и философии изучаемых наук.

**Ключевые слова:** кристаллография, минералогия, история и философия науки.

## From teaching experience. XI. History and philosophy at the crystallography and mineralogy courses

Yu. L. Voytekhovsky

Geological Institute of FRC KSC RAS, Apatity;  
Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg

The article is devoted to the history and philosophy of crystallography and mineralogy. Composed from individual plots, in general, it shows a wide range of topics advisable to discuss with geological students at the Crystallography and Mineralogy courses. This can be done in the framework of the lectures during pauses recommended by the current pedagogical methods, or optionally. An extensive list of primary sources and fresh literature is given to prepare conversations. Their goal is attracting students to read a serious literature on the history and philosophy of the studied sciences.

**Keywords:** crystallography, mineralogy, history and philosophy of science.

### Введение

Методологи университетского образования требуют, чтобы лектор делал паузы. Помнится, их делали и наши профессора, но без указки, по мере необходимости. Чем же заполнить паузы, чтобы и это время использовать оптимально? Исходя из своего многолетнего опыта, рекомендуем делать экскурсии в историю и философию науки, в нашем случае — кристаллографии и минералогии. В части истории у нас есть богатейший источник сведений, хотя бы в книгах и статьях И. И. Шафрановского. С философией дело обстоит хуже. Но к ней обращаться важно, ибо она стремительно уходит из естественных наук, оставляя по себе лишь английское наименование ученой степени Ph. D., т. е. Philosophy Degree. А диссертации при этом становятся все более приборными, аппаратными, аналитическими. Да, каждый новый анализ добавляет толику знания о минерале или горной породе. Но добавляет ли он понимания, т. е. предельного, далее не интерпретируемого знания о природе? А ведь философия апеллирует именно к пониманию... Пожалуй, ныне лишь Юшкинские чтения (Институт геологии им. Н. П. Юшкина, Сыктывкар) раз в два года предусматривают в программе секцию истории и философии кристаллографии и минералогии. Да еще философский семинар при НПО

«Радиевый институт им. А. Г. Хлопина» (Санкт-Петербург) ежемесячно сводит вместе философов и представителей естественных наук. (Заметим, что институт основан В. И. Вернадским, короткое время его директором был А. Е. Ферсман.) Статья моделирует лекционные паузы в цикле «Из опыта преподавания».

### История

Студенты с интересом слушают исторические анекдоты, т. е. забавные истории с участием выдающихся личностей. Ниже сформулированы темы, которые легко развить в более или менее продолжительные беседы.

1. До Н. Стено (1638—1686) полагали, что кристаллы растут подобно растениям, питаются соками земли через корни. Он первый догадался об отложении вещества на гранях кристаллов, правильно интерпретировал их зональность и сформулировал первый эмпирический закон кристаллографии «о постоянстве углов между соответственными гранями кристаллов» [43]. Между тем мы и сегодня говорим о диффузии атомов и вакансий через кристаллическую решетку: прямом обмене атомов, кольцевом обмене, перемещении по междоузлиям, эстафетной диффузии (краудион), пе-

**Для цитирования:** Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. XI. История и философия в курсах кристаллографии и минералогии // Вестник геонаук. 2022. 6(330). С. 44–52. DOI: 10.19110/geov.2022.6.5.

**For citation:** Voytekhovsky Yu. L. From teaching experience. XI. History and philosophy at the crystallography and mineralogy courses. Vestnik of Geosciences, 2022, 6(330), pp. 44–52, doi: 10.19110/geov.2022.6.5.



ремещении по вакансиям, диссоциативном перемещении, миграции по протяженным дефектам (дислокациям, дефектам упаковки, границам зерен)... Так старые представления отчасти уходят, отчасти трансформируются и обретают новую жизнь.

2. Второй эмпирический закон «рационального отношения параметров» открыт иностранным почетным членом Петербургской академии наук (1806) и Российского минералогического общества (1820) Р. Ж. Гаюи (1743—1822) в 1784 г. без отрыва от исканий в смежных областях знания [47]. Дж. Дальтон (1766—1844) вскоре сформулировал закон кратных отношений для химических соединений (1803). Полезно сравнить обе формулировки и показать, что они легли в основание современных представлений об атомном строении вещества. Между тем в любую эпоху во всяком архитектурном стиле узнаваем тот или иной закон пропорциональности [18]. Кратность целого и частей на фоне диалектики дискретного и непрерывного таится глубоко в замыслах природы и структурах нашего сознания. Последний теоретический прорыв в понимании этого — «Фрактальная геометрия природы» [32]. Тема плавно переливается в философскую.

3. Всему миру известно, как Р. Ж. Гаюи разбил замечательный кристалл исландского шпата в форме тригонального скаленоэдра [3, 50]. Собирая осколки, он увидел, что все они — спайные выколки в форме искаженных ромбоэдров, т. е. косоугольных параллелепипедов. Эврика! Кристаллы состоят из одинаковых кирпичиков, грань к грани, у каждого минерала свой кирпичик. Потом начались трудности и попытки Р. Ж. Гаюи спасти гипотезу. Не видно шероховатости на гранях скаленоэдра, потому что ромбоэдрические кирпичики слишком малы. Но как быть со спайными октаэдрами, которые в принципе не могут заполнить пространство флюорита? Р. Ж. Гаюи не смог ответить на этот вопрос. Между тем октаэдрами и тетраэдрами заполнить пространство можно. Догадайся он об этом, мог бы предвосхитить теорию плотнейших упаковок У. Барлоу. Не случилось... Борьба классика за свою гипотезу интересна даже с психологической точки зрения. А сюжет о кирпичиках исчерпал Е. С. Федоров в теории параллелоэдров. Вывод: всякую идею следует доводить до конца. С другой стороны, как его узнать?

4. О. Браве (1811—1863) сломал ногу во время экспедиции на Шпицберген в 1839 г. и был вынужден все лето ждать товарищей на берегу в Хаммерфесте. Его «Мемуар о системах точек, правильно распределенных на плоскости или в пространстве», в котором он вывел 14 решеток, решительно заменив полиэдрические молекулы Р. Ж. Гаюи их центрами тяжести и направив развитие кристаллографии по новому пути, вышел в 1850 г., а «Кристаллографические этюды» — вообще в 1866 г. [14, 50]. Но по ряду признаков можно заключить, что, уже хромя в гипсе по берегу Норвежского моря, он усиленно работал над проблемой. Совет студентам: в дальних походах иметь блокнот со списком фундаментальных проблем. Вдруг что... М. Франкенгейм опередил О. Браве на 10 лет, но посчитал одну моноклинную решетку дважды: один раз как базоцентрированную с прямоугольным основанием, другой — как примитивную с ромбическим основанием. История науки таких ошибок не прощает. Второй совет: перед опубликованием результаты на-

до обсуждать с коллегами. Что написано пером — потом не вырубишь топором...

5. «Простой, тихий и скромный» марбургский профессор И. Гессель (1796—1872) вывел все виды симметрии конечных фигур в 1829 г. (после него — Е. С. Федоров в 1883 г. и П. Кюри в 1884 г.) и опубликовал результат в местном малотиражном «Физическом словаре» в 1830 г. «Никто не станет утверждать, что последовательное развитие таких теорий бесполезно для науки. Никто также не будет меня порицать за то, что, помимо систем фигур, образующихся в мире кристаллов, здесь надлежащим образом разобраны также все мыслимые системы фигур» [50, с. 111]. Никто и не порицал, но издание не было замечено современниками. Лишь в 1890 г. ему воздал должное Л. Зонке (1842—1897). Генерал артиллерии А. В. Гадолин (1828—1892) независимо вывел 32 вида симметрии именно для кристаллов в 1867 г. (после него — Б. Миннигероде в 1887 г. и А. Шенфлис в 1891 г.) и скоро (благодаря минералогу Н. И. Кокшарову) стал известным, что подтверждено академической Ломоносовской премией и избранием в почетные члены Российского минералогического общества (1868). Вывод: актуальную проблему не надо топить в еще более общей проблеме, а солидный результат надо печатать в подходящем издании.

6. Число сингоний на текущий момент равно 7. Но еще век назад их было 6. После Е. С. Федорова из гексагональной была выделена тригональная со специальной ромбоэдрической установкой кристаллов. Но до сих пор и навсегда они связаны общей гексагональной установкой. Кристаллография и минералогия концептуально и методически быстро захватывают пограничные области. И вот уже в наших пределах появились не просто квазикристаллические сплавы [63], а природные, предположительно метеоритного происхождения квазикристаллы [52, 53], углеродные и металлокарбонные фуллерены [24] и даже икосаэдрические вирусы [19, 31, 61]. Пришло время учредить еще одну, додекаэдро-икосаэдрическую сингонию с 8 простыми формами. Е. С. Федоров [45] и В. В. Доливо-Добровольский [25] рассматривали их в ранге системы и указывали на связь с кубической сингонией. В формуле Браве  $6L_5 10L_3 15L_2 15PC$  додекаэдра и икосаэдра есть  $4L_3$  и  $3L_2$ , а еще 3 взаимно перпендикулярные плоскости, располагающиеся как в кубической сингонии. Простые формы додекаэдро-икосаэдрической системы — это комбинации некоторых простых форм кубической сингонии при углах между гранями, запрещенных решетчатым строением кристаллов.

7. Хорошо известно, что геометрических простых форм 47 (по Г. Б. Бокию, физических разновидностей 146, с учетом энантиоморфизма — 193, но не о них речь): в низшей категории — 7, в средней — 27, в высшей — 15. Но в сумме — 49! Почему? Потому что моноэдр и пинакоид учтены в низшей и средней категориях, т. е. дважды. Вопрос на зачете для нерадивого студента... Есть и более содержательный сюжет о простых формах. Однажды в уважаемом американском журнале было указано, что их 48 [62]. К тому времени только-только сформировалась и была опубликована российская систематика и номенклатура простых форм, точечных и пространственных групп симметрии [7, 54]. Реакция А. К. Болдырева была мгновенной. В статье [55] он показал, как важно следовать строгим определениям.



Планальный и аксиальный диэдры с геометрической точки зрения — одно и то же, а простых форм 47.

8. Сколько существует параллелоэдров Е. С. Федорова, т. е. выпуклых полиэдров, заполняющих пространство в параллельном положении грань к грани? С точностью до однородной деформации, сохраняющей параллельность прямых линий, их 5: трипараллелоэдр (куб), тетрапараллелоэдр (гексагональная призма с пинакоидом), 2 гексапараллелоэдра (ромбододекаэдр и «вытянутый ромбододекаэдр», из-за которого весь сыр-бор) и гептапараллелоэдр (архимедов кубооктаэдр). Но в разных работах указано то 5 [23], то 4 [41]. А причина снова в нестрогом следовании определению. За подробностями отсылаем к статье [12].

9. Е. С. Федоров и А. Шенфлис поначалу ошиблись в числе пространственных групп (у первого — 228, у второго — 227), но поправили друг друга и законно делят честь открытия (230), ибо получили результат различными — геометрическим и алгебраическим — методами. Между тем эта фундаментальная теория четверть века была интеллектуальной игрушкой, пока ее не подтвердили расшифровки структур кристаллов рентгеновским методом. Мало известна история о том, что на предвоенном конгрессе кристаллографов звучал термин «группы Шенфлиса». Стараниями И. И. Шафрановского и Г. Б. Бокия были собраны документы, в том числе письма А. Шенфлиса, доказывающие приоритет Е. С. Федорова [6, 36, 58]. Они были сохранены И. И. Шафрановским в блокадном Ленинграде и распространены на первом послевоенном конгрессе. Вот почему имена первооткрывателей стоят сегодня в названии пространственных групп в должном порядке. Между прочим, в астрофизике есть закон: скорость удаления галактики за счет расширения вселенной прямо пропорциональна расстоянию до нее. На основе наблюдений этот закон получен Э. Хабблом в 1929 г. Но еще в 1922 г. А. А. Фридман и в 1927 г. Ж. Леметр вывели его из уравнений Эйнштейна. В 2018 г. на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза принята резолюция о названии «закон Хаббла — Леметра». Не пора ли отечественным астрофизикам вмешаться?

10. Во время поездки 1842 г. по Европе, следовавшей за экспедицией Р. И. Мурчисона (1792—1871), в будущем почетного члена Российского минералогического общества (1867), по европейской части России (1840—1841) Н. И. Кокшаров (1818—1893), в будущем тоже почетный член Российского минералогического общества (1865), посетил в Париже Э. де Бомона (1798—1874), чтобы увидеть в его коллекции уникальный кристалл кварца с гранью пинакоида. Ведь она должна там быть как обладающая самой высокой ретикулярной плотностью! Увы, это оказался не пинакоид, а контактная поверхность [48]. Сегодня отсутствие пинакоида на кварце объясняется с точки зрения кристаллохимии и кинетики роста [2]. Взамен маленькой грани пинакоида щедрый Э. де Бомон предложил Н. И. Кокшарову огромный глобус с нарисованными им тектоническими швами, образующими ребра икосаэдра. Спешивший в театры и на балы молодой Н. И. Кокшаров предложил послать его в Санкт-Петербургский институт корпуса горных инженеров почтой. Известно, что глобус прибыл по назначению. Но где он?... А идея о Земле-икосаэдре (или дуальном

к нему додекаэдре) жива до сих пор, хотя имя автора идеи прочно забыто.

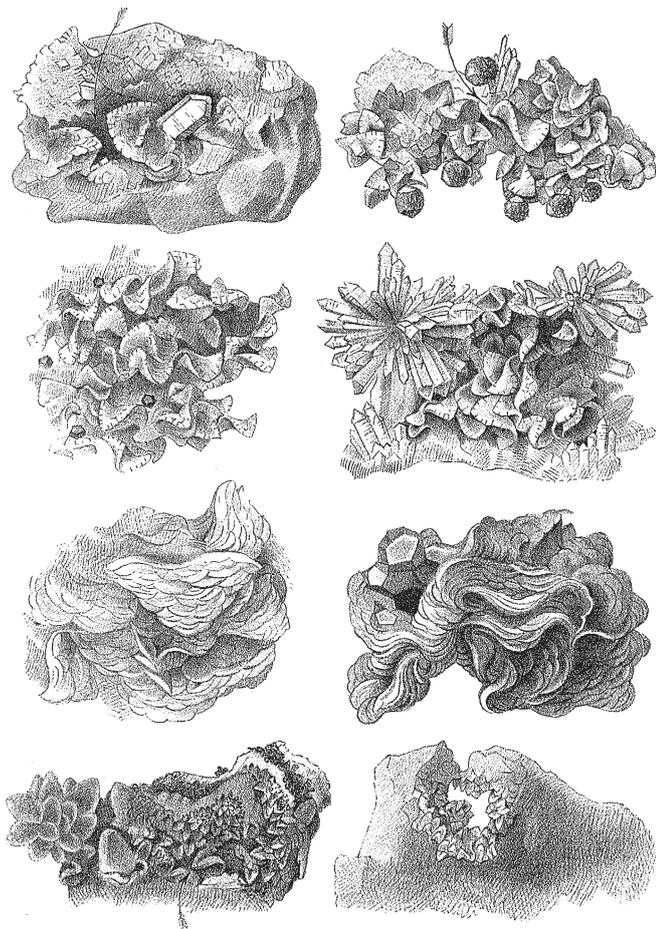
11. А. Г. Бетехтин [5] указал, что В. М. Севергин [40] сформулировал в понятии «смежность» то же, что и А. Брейтгаупт [57] в понятии «парагенезис». О. П. Иванов [27] правильно заметил, что не то же. Внимательное сравнение показывает, что парагенезис — частный случай смежности (закономерного сонахождения). Вторичные малахит и азурит по медной руде — тоже смежность, но не парагенезис. Таким образом, логически исчерпывающее и ясное соотношение минералов в пространстве и времени в понятиях минералообразующих процессов, этапов, стадий, генераций и т. д. еще не разработано. Лучшее рассуждение на эту тему — в статье [10].

12. Незаметно прошел 100-летний юбилей, на который уместно указать студентам, особенно геммологам, а также историкам и любителям минералогии. В 1919 г. вышла в свет адаптированная для широкого круга читателей диссертация М. Толковского [65]. В ней впервые рассчитана современная бриллиантовая огранка, сегодня носящая его имя. Чтобы осознать скачок, превративший искусство огранки алмаза в науку, достаточно сравнить эту работу с методическим руководством [66]. В интернете можно найти его также в издании 1924 г. Это показывает, что даже талантливая (впрочем, именно поэтому) работа не сразу доходит до широких масс. За подробностями отсылаем к статье [13].

## Философия

О философии на почве кристаллографии, минералогии и петрографии ныне не говорит никто. Книга Б. К. Вайнштейна [9] — последняя, охватившая главные для своего времени методологические проблемы кристаллографии (в том числе минералогической, стало быть, отчасти и минералогии). Но ведь был философ, естественно рассуждавший о минералах и горных породах!

1. Рассматривая диалектику особенной и целостной индивидуальности, Г. В. Гегель приводит в пример строение кристалла по Р. Ж. Гаюи и поясняет: «Без всякого импульса со стороны тело носит в себе тайного, тихого геометра, который как вполне проникающая форма организует его вовне и внутри» [16, с. 219]. А вот о горной породе: «Гранит состоит, как известно, из кремня, кварца, абсолютной земли, хрупкой точечности; из слюды — поверхности, развивающейся в противоположность раскрывающейся точечности; момента горючести, содержащего в себе зародыш всех абстракций; и, наконец, из полевого шпата — намечающейся нейтральности» [16, с. 377]. А вот о геологическом процессе: «Смысл и дух процесса составляет внутренняя связь, необходимое соотношение этих образований, к которому последовательность ничего не прибавляет. Требуется познать всеобщий закон этой последовательности формаций, не прибегая к форме истории, — вот что существенно, вот что разумно и единственно интересно для понятия; надо познать в данной последовательности черты понятия. <...> Внутренняя связь существует в настоящем как рядоположность, и она должна зависеть от свойств, от содержания самих этих образований. <...> Весь интерес



**Рис. 1.** Одно из первых в истории минералогии исследование гиперboloидов и геликоидов доломита [56]. Различимы также кристаллы кварца и пирита

**Fig. 1.** One of the first studies of hyperboloids and helicoids of dolomite in the history of mineralogy [56]. Quartz and pyrite crystals are also distinguishable

заключается в том, что существует налично в этой системе различных образований» [16, с. 372–373]. Он был последним философом, владевшим всеми научными знаниями своего времени. Понять его бывает трудно, но пытаться нужно. Оно того стоит.

Рядом с ним о граните философствовал И. В. Гете: «От всех прочих каменных пород эта достойная всякого внимания порода отличается тем, что, хотя она не простая и состоит из видимых частей, уже при первом взгляде заметно, что они не соединены посредством чего-либо третьего, а просто соприкасаются или соседствуют, взаимно поддерживая друг друга. Укажем эти части, которые следует ясно различать: кварц, полевой шпат и слюда. <...> Если точно изучить эти части, то, в отличие от того, как думают о частях обычно, мы получим впечатление, что у гранита до самого целого никаких частей не было: они выглядят не сложенными, не сведенными в одно целое, а возникшими вместе с тем целым, которое составляют. <...> Мы со всей ясностью видим, что гранит возник путем непрерывной, уже исходно внутренне компактной кристаллизации» [17]. Замечательный пример системного взгляда на горную породу!

Говоря со студентами о философии, уместно задать вопрос о ее предмете. Некогда бытовала форму-

лировка, будто философия — наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления. Полагаю, не совсем так. Предмет философии — законы мышления. А уж в ходе мышления она обращается к природе, обществу и самому мышлению. И тут надо сказать о формальной и диалектической логиках. Это только кажется далеким от наших наук. Р. Ж. Гаюи складывал кристаллы из спайных выколов формально — и его гипотеза себя изжила. О. Браве поступил диалектически, заменив строительные кирпичи точками, и направил кристаллографию по другому пути к современной теории.

2. В поле зрения студентов попадают странные объекты, захваченные кристаллографией и минералогией: давно известные кристаллы доломита в форме гиперболических параболоидов и геликоидов [56] (рис. 1), недавно открытые квазикристаллические сплавы и полиэдрические фуллерены с икосаэдрической симметрией [24]... Для них есть стандартные объяснения. Но юношество тяготеет к объяснениям нестандартным... И вот кристалл доломита требует для себя пространства с отрицательной кривизной. Поскольку оно локально евклидово, то маленький кристалл растет с плоскими гранями, но с некоторого размера его буквально корезит [15]. Кристаллы с ростовой зональностью якобы идеальны в римановом пространстве [38]. А квазикристаллы и фуллерены — специальные (иррациональные) проекции идеальных кристаллов из 6-мерного пространства в 3-мерное [59]. Студентам следует объяснить, что математика легко вставляет 3-мерные евклидовы объекты в весьма общие логически непротиворечивые многомерные и неевклидовы конструкции, здесь нет мистики. Но математические возможности фильтруются физическими реалиями.

3. Кстати о мистике. «Шведский же философ и натуралист И. Сведенборг (1688—1772) оставил по себе память главным образом как фанатичный мистик, пытавшийся проникнуть в “тайны потустороннего мира”. <...> В сочинениях по натурфилософии Сведенборг развивал чрезвычайно сложные и путанные воззрения на строение материи» [49, с. 156]. О нем писали И. Кант [29] и Н. Бердяев [4], но именно как о последователе мистика Я. Бёме. А ведь до духовного превращения, случившегося в один день, он был естествоиспытателем, писал статьи о минералогии пещер. В книге [64, с. 45] есть подстрочное примечание, в котором А. Э. Норденшельд (1832—1901), иностранный почетный член Российского минералогического общества (1875), характеризует И. Сведенборга: «Известен в истории естественных наук различными выдающимися для своего времени геологическими работами, замечательной работой по атомной теории, некоторыми исследованиями в области кристаллографии, крупнейшим и наиболее полным справочником по металлургии того времени и т. д.» (пер. с англ. наш. — Ю. В.). Это не согласуется с оценкой И. И. Шафрановского и побуждает к историко-философскому исследованию.

4. Логика познания кристалла развивалась от правильности огранки к правильности структуры. Плиний Старший первый сказал, что кристалл в идеале следует рассматривать как выпуклый полиэдр. Мысль замечательная, потерянная на 16 столетий, вспыхнувшая снова как очевидная. Замечательную диалектическую мысль о природных формах находим у К. Ф. Науманна:



«Индивиды минерального царства <...> появляются лишь в более или менее угнетенных или искалеченных формах <...> которые большей частью не имеют никакого отношения к тем кристаллическим формам, над созданием которых природа, в сущности, трудилась в каждом индивиде» [60] (*пер. с нем. наш. — Ю. В.*). Сегодня мы знаем, что именно структура определяет форму: точечные группы симметрии (32) есть фактор-группы пространственных групп (230) по подгруппам трансляций. Противоречие диалектическое и снимается тем, что всякий элемент структуры некогда был элементом поверхности. С другой стороны, по Г. В. Гегелю, мышление лишь в целом эквивалентно природе. А в истории науки отражения «саморазвивающегося духа» могут проявляться в обратном порядке.

5. Д. П. Григорьев определил понятие «минеральный агрегат»: «Природное тело, сложенное из минералов, т. е. кристаллов, получившее естественно форму и величину, состав и строение в ходе единого процесса кристаллизации от момента зарождения тела и до завершения роста при сопутствующих и последующих явлениях частичного его преобразования, но с сохранением непрерывности тела» [22]. Это не понятие, а эмпирическое обобщение. Понятие требует сохранить в формулировке самую суть. Но суть минерального агрегата (вслушаемся в слово!) — в агрегации минеральных индивидов без отсылок к процессу (см. выше слова Г. В. Гегеля о смысле и духе процесса) и философских банальностей (вспомним Б. Спинозу: все сущее явлено в атрибутах протяженности или мышления; поэтому минеральный агрегат протяжен и в качестве модусов уже имеет форму, величину, состав, строение...). Примеры понятий в кристаллографии: гемметрическая простая форма, решетка, правильная система точек... и никакого генезиса, который появляется не ранее чем в кристаллохимии. К минеральному агрегату тоже нетрудно подобрать понятие: автоморфизм множества минеральных видов реализованных в минеральных индивидах, через их контактирование. Такова диалектика двух фундаментальных понятий (индивида и вида) в минеральном агрегате. В чем специфика горной породы? В том ли, что она — большой минеральный агрегат, слагающий геологические тела? Формально — да. По сути — в том, что от горной породы мы ожидаем структуры как устойчивой статистики межзерновых отношений, которой еще нет у сростков нескольких минеральных индивидов.

6. Соотношение категорий минерального индивида и вида в «Онтогении минералов» Д. П. Григорьева [20, 21] — вопрос архиважный. Казалось бы, вид есть абстракция, снятая с индивидов, взятых во множестве, по сходству характеристик. (А если представить вид, явленный на планете в одном крохотном индивиде? Методологической проблемы здесь нет, но это кошмар для первооткрывателей новых минералов, ведь одну крошку надо отдать в музей им. А. Е. Ферсмана, другую послать в ММА...) На самом деле индивид данной категории не может существовать один (в биологии и палеонтологии этот принцип считается очевидным). Он рожден в системе себе подобных в результате разрешения от бремени некоторой физико-химической системы. Поэтому индивид подразумевает наличие вида, который наше познающее мышление лишь узнает в популяции индивидов...

7. Кристаллография как методологически последовательная, написанная на математическом языке теория может оказать помощь близким наукам — минералогии и петрографии. Например, для описания кристаллической решетки и в фундаментальной теории пространственных групп применяется трансляция. Как преобразование симметрии она не должна выводить структуру из себя. Следовательно, кристалл надо мыслить бесконечным. Но каждый природный кристалл конечен! Противоречие разрешается тем, что мы встречаем его в конечной точке пространственно-временной онтогенетической траектории, устремленной в бесконечность. Но должна ли горная порода в фундаментальной петрографической теории тоже мыслиться бесконечной? Казалось бы, да, раз уж она сложена бесконечными индивидами. Но такое суждение — методологически неправильная аналогия. Дело в другом. Структура горной породы, если она определена через статистику межзерновых отношений (а именно так она и должна быть определена), требует перехода от частот, снимаемых с конечных образцов (штуфов, шлифов), к вероятностям. А предельный переход требует бесконечного числа межзерновых контактов, следовательно, бесконечного числа минеральных индивидов, т. е. бесконечно протяженной горной породы. Архимед в мысленном эксперименте [1] засыпал мир песком до сферы неподвижных звезд. Ему понадобилось  $10^{63}$  песчинок. Р. Ташнер [44, с. 49—53] пошел дальше и заполнил вселенную «планковскими кубиками» грань к грани (и здесь федоровские параллелоэдры!) «до горизонта событий». Ему понадобилось  $10^{186}$  кубиков. Мы же устремили «сферу неподвижных звезд» в бесконечность и получили зернистое петрографическое пространство счетной (алеф-нуль) мощности. Будущая петрография не сможет обойтись без этой логической конструкции в фундаментальной структурной теории.

8. Д. П. Григорьев одолжил краеугольный термин своего учения у биологов по очевидному сходству. Как и живой организм в онтогенезе, кристалл претерпевает индивидуальное развитие: зарождается, растет, изменяется, разрушается. Нам представляется, что дело здесь не только в аналогии. Профессор очень любил древних греков и побуждал своих студентов изучать их мифологию весьма эффективным способом — нельзя было сдать экзамен по минералогии, не зная, зачем у входа в Горный институт Геракл борется с Антеем, Плутон похищает Прозерпину, а на фризе Гефест кует доспехи Марсу. И ведь выкруливал на эти темы, какой бы билет студенту не достался... Он никогда не излагал свои философские предпочтения. Но представляется, что смотрел на мир как древний грек: весь мир — самодвижущийся, саморазвивающийся организм. Мир — не картезианская машина, с которой непонятно как совместить душу... А минерал как организм и учение об онтогении минералов — лишь следствие из цельного мировоззрения. Об источнике развития вселенной рекомендуем яркую и необычную работу трагического философа Э. Ильенкова [28]. Философские подоплеку естественно-научных идей — замечательная тема для обсуждения со студентами.

9. Кроме онтогении в минералогии говорят о филогении [26]. Есть ли она в минералогии? Представляется, что нет. «Но нет ее и выше», в учении о месторождениях полезных ископаемых [39]. Эта аналогия с био-



логией проведена формально. Все геологические тела представляют собой совокупности минеральных парагенезисов, устойчивых или неустойчивых в тех или иных условиях. Логика образования минерального парагенезиса — кристаллизация расплава, раствора, геля... по законам термодинамики и физической химии. Логика метаморфизма — приведение парагенезисов к новому устойчивому состоянию. Логика эволюции земной коры в целом — круговорот вещества, не более того. Биологическая филогения однонаправлена и необратима, ничего подобного с минералами, парагенезисами и геологическими формациями в истории планеты не происходило, а полиморфы вообще могут превращаться друг в друга и обратно. В этом вопросе минералоги и геологи переусердствовали, не желая уступать биологам в глубине своего учения.

10. Интересная тема — о формировании сознания при исследовании природы. Человек вполне понимает в природе лишь то, что научился прогнозировать и воспроизводить. Из этого следует большое значение теории и практики синтеза кристаллических веществ для миропонимания кристаллографа и минералога. Д. П. Григорьев совершил решительный и рискованный для профессиональной карьеры шаг, перейдя к созданию «Онтогении минералов» после успешной защиты докторской диссертации по синтезу породообразующих минералов с летучими компонентами (1943). Рискнул — и в истории науки выиграл... Но академическое сообщество невысоко оценило это учение. В архиве Российского минералогического общества сохранилось письмо Д. С. Коржинского: «10 мая 1958 г. Дорогой Дмитрий Павлович, меня очень огорчило и удивило, что Горный институт не выдвинул Вас в чл.-корр. Я твердо на выдвижение рассчитывал. Придется мне выдвигать Вас единолично. <...> Неизвестно, что из этого получится. <...> Все ценят Ваши экспериментальные успехи, но многие считают, что последующие Ваши работы хотя и интересны, но пока еще не дали выдающихся результатов». Как известно, избрание в АН СССР не случилось.

11. В иерархии предельных групп симметрии П. Кюри (7, с учетом энантиоморфизма — 10) самая низшая отвечает вращающемуся конусу ( $\infty$ ). Но она не примитивна (1), как в иерархии подгрупп любой группы. Проблема не в том, чтобы добавить примитивную группу формально, а в том, что она должна характеризовать некоторую физическую среду земной реальности. Наша идея состоит в том, чтобы примитивную группу приписать биологической среде как носительнице жизни. Ее особенность — мгновенная изменчивость. Именно она не позволяет даже в мысли совершить автоморфизм, совмещающий систему с собой даже через какое угодно малое время. Кажется, на этот нюанс никто ранее не обращал внимания.

12. Происхождение жизни — проблема на все времена. Современные научные гипотезы, следуя Аристотелю, хотят зримого начала жизни на нашей или другой (хочется, чтоб на нашей) планете: в концентрированном бульоне [35], в пепловой туче при извержении вулкана [33], на низкотемпературном излете гидротермальной системы [51]. Но вспомним В. И. Вернадского [11], принимавшего принцип Ф. Реди (1626—1697) *omne vivum e vivo*, т. е. живое из живого. Он отодвигает зарождение жизни в бесконечность, т. е.

уничтожает ее начало. Мир и жизнь в нем были всегда. Такое понимание — не для слабых умов. Бесконечность в конечный ум не укладывается, но думать об этом и формировать научное мировоззрение студент-геолог должен. И еще заметим: по ходу рассуждений актуальная бесконечность встретила нас трижды — в решетке идеального кристалла, в структуре идеальной горной породы, во времени существования жизни. Нам зачем-то нужно погрузить корни мыслимых феноменов в бесконечность. Разве это не органичная потребность в философии?

## Заключение

За пять минут на лекции много не расскажешь. Каждый сюжет — интрига, провокация, побуждающая студентов к чтению серьезной литературы. Но есть и хорошая научно-популярная литература с яркими описаниями минералогических и геологических феноменов. Рекомендуем: Смилевский [42] — задушевный разговор героя с духом Б. Спинозы о принципах философии природы; Флорин [46] — романтическая биография К. Линнея, пытавшегося тоже построить систему минералов; Рёскин [37] — популярное изложение основ кристаллографии в 10 беседах («Жизнь кристалла», «Формы кристаллов», «Ссоры кристаллов», «Капризы кристаллов», «Невзгоды кристаллов»...) «для маленьких девочек»; Кивеля [30] — романтическая история современницы, то ли садовода, то ли ландшафтного дизайнера, в грустные моменты жизни обращаясь к снежинкам и находящей успокоение в истории кристаллографии; Бьёрнсдоттир [8] — еще одна история современницы, вулканолога из Рейкьявика, у которой под ногами и в сердце вот-вот взорвется вулкан; наконец, Мейерсон [34] — детективная история для геммологов (эта специализация недавно появилась на геологических факультетах наших университетов, определенно указывая на рост благосостояния нации) об историческом пропавшем бриллианте «Флорентиец». Но интрига сработает лишь тогда, когда преподаватель сам увлечен кристаллографией и минералогией...

Автор благодарит д. ф. н. А. Н. Муравьева, д. г.-м. н. Б. Е. Буракова и А. О. Дудина за обсуждения философских тем на заседаниях методологического семинара при НПО «Радиевый институт им. А. Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург.

## Литература

1. *Архимед*. Исчисление песчинок. Псаммит. М.; Л.: Гостехиздат, 1932. 104 с.
2. *Асхабов А. М.* Морфология субпинакоидальных поверхностей природных кристаллов кварца // Зап. ВМО. 1979. № 6. С. 712—716.
3. *Банн Ч.* Кристаллы. Их роль в природе и науке. М.: Мир, 1970. 312 с.
4. *Бердяев Н.* Этюды о Якобе Бёме. СПб.: Умозрение, 2021. 72 с.
5. *Бетехтин А. Г.* Понятие о парагенезисе минералов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1949. № 2. С. 15—20.
6. *Бокий Г. Б., Шафрановский И. И.* Из переписки Е. С. Федорова с А. Шенфлисом. Научное наследство. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. 2. С. 314—340.



7. Болдырев А. К., Доливо-Добровольский В. В. Классификация, номенклатура и символика 32 видов симметрии кристаллографии // Зап. ЛГИ. 1934. Т. VIII. С. 145—159.
8. Бьёрнссоттир С. Х. Вулканы, любовь и прочие бедствия. СПб.: Polyandria No Age, 2022. 351 с.
9. Вайнштейн Б. К. (отв. ред.) Методологические проблемы кристаллографии. М.: Наука, 1985. 296 с.
10. Васильев В. И., Драгунов В. И., Рундквист Д. В. «Парагенезис минералов» и «формация» в ряду образованных различных уровней организации // Зап. ВМО. 1972. № 3. С. 281—289.
11. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
12. Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. В. Федоровские параллелоэдры // Вестник геонаук. 2020. № 7(307). С. 26—31.
13. Войтеховский Ю. Л. 100 лет «Дизайну алмазов» М. Толковского // Зап. РМО. 2022. № 2. С. 102—109.
14. Ворошилов Ю. В., Довгий С. А., Павлишин В. И. Кристаллография в лицах. Этюды по истории науки. Киев: Информационные системы, 2013. 398 с.
15. Галиулин Р. В. Кристаллографическая картина мира // Успехи физ. наук. 2002. Т. 172. № 2. С. 229—233.
16. Гегель Г. В. Энциклопедия философских наук. Т. 2. Философия природы. М.: Мысль, 1975. 696 с.
17. Гете И. В. Гранит как основание всякого геологического формирования // Научные сочинения. Т. 2. Общие вопросы естествознания. Минералогия и геология. Метеорология. Материалы к учению о звуке. М.: Изд-во КМК, 2018. С. 155—156.
18. Гинзбург М. Я. Стиль и эпоха: проблемы современной архитектуры. М.: Гос. изд-во, 1924. 239 с.
19. Гнутова Р. В. Современные тенденции в таксономии и номенклатуре вирусов // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 6. С. 563—577.
20. Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1961. 284 с.
21. Григорьев Д. П. Естественные объекты минералогии: минеральные индивиды и минеральные виды // Зап. ВМО. 1975. № 4. С. 513—514.
22. Григорьев Д. П. Уточнение понятия «минеральный агрегат» // Зап. ВМО. 1985. № 4. С. 506—509.
23. Делоне Б. Н. Е. С. Федоров как геометр // Тр. ИИЕТ АН СССР. 1956. Т. 10. С. 5—12.
24. Деффейс К., Деффейс С. Удивительные наноструктуры. М.: Бином, 2011. 206 с.
25. Доливо-Добровольский В. В. Исследование додекаэдро-икосаэдрической системы // Зап. РМО. 1924. № 1. С. 169—181.
26. Жабин А. Г. Проблемы филогении минералов // Генетическая информация в минералах. Сыктывкар: ИГ КФ АН СССР, 1980. С. 10—12.
27. Иванов О. П. «Смежность минералов» и «парагенезис»: предвосхитил ли В. М. Севергин А. Брейгаупта? // Зап. РМО. 2005. № 1. С. 44—45.
28. Ильенков Э. Космология духа // От абстрактного к конкретному. Крутой маршрут. 1950—1960. М.: Канон+, 2017. С. 127—166.
29. Кант И. Грезы духовидца, поясненные грезами метафизики // Соч. в 6 т. М.: Мысль, 1964. Т. 2. С. 293—355; Письмо о Сведенборге к фрейлейн Ш. фон Кноблах // Там же, с. 355—360; Письмо к М. Мендельсону // Там же, с. 363—367.
30. Кивеля М. Ты или никогда. М.: Гаятри, 2011. 240 с.
31. Костюченко В. А., Месянжинов В. В. Архитектура сферических вирусов // Успехи биол. химии. 2002. Т. 42. С. 177—192.
32. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с.
33. Мархинин Е. К. Вулканы и жизнь: проблемы био-вулканологии. М.: Мысль, 1980. 196 с.
34. Мейерсон Э. Несовершенства. СПб.: Polyandria No Age, 2022. 511 с.
35. Опарин А. И. Возникновение жизни на Земле. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 267 с.
36. Пауфлер П., Филатов С. К. Развитие Е. С. Федоровым российско-германских научных связей // Зап. РМО. 2020. № 5. С. 112—134.
37. Рёскин Дж. Этика пыли. Десять лекций маленьким домохозяйкам об элементах кристаллизации. М.: Ad Marginem Press, 2016. 176 с.
38. Руднев С. В. Применение эллиптической геометрии Римана к исследованию решетчатых структур реальных кристаллов. Л.: ЛГУ, 1986. 18 с.
39. Рундквист Д. В. Вопросы изучения филогенеза месторождений полезных ископаемых // Зап. ВМО. 1968. № 2. С. 191—209.
40. Севергин В. М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. В 2 кн. СПб., 1798. Кн. 1. 498 с.
41. Силаев В. И., Асхабов А. М., Хазов А. Ф., Юхтанов П. П. Янулов. К 100-летию воина и замечательного кристаллографа // Вестник геонаук. 2020. № 3. С. 33—43.
42. Смилевский Г. Разговор со Спинозой. М.: Центр книги Рудомино, 2019. 192 с.
43. Стенон Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 151 с.
44. Ташнер Р. Число, пришедшее с холода: когда математика становится приключением. М.: Колибри, 2018. 256 с.
45. Федоров Е. С. Практикум по основным отделам кристаллографии. Петроград: Экон. типолитография, 1915. 20 с.
46. Флорин М. Сад. СПб.: Изд-во И. Лимбаха, 2005. 160 с.
47. Шаскольская М. П., Шафрановский И. И. Рене Жюст Гаюи. М.: Наука, 1981. 153 с.
48. Шафрановский И. И. Николай Иванович Кокшаров. М.; Л.: Наука, 1964. 216 с.
49. Шафрановский И. И. История кристаллографии с древнейших времен до начала XIX столетия. Л.: Наука, 1978. 297 с.
50. Шафрановский И. И. История кристаллографии. XIX век. Л.: Наука, 1980. 324 с.
51. Юшкин Н. П. Биоминеральные взаимодействия. М.: Наука, 2002. 60 с.
52. Bindi L., Steinhardt P. J., Yao N., Lu P. J. Natural quasicrystals // Science. 2009. V. 324. N 5932. P. 1306—1309.
53. Bindi L., Steinhardt P. J., Yao N., Lu P. J. Icosahedrite, Al<sub>63</sub>Cu<sub>24</sub>Fe<sub>13</sub>, the first natural quasicrystal // American Mineralogist. 2011. V. 96. P. 928—931.
54. Boldyrev A. K. Die von Fedorov Institut angenommene kristallographische Nomenklatur // Zeitschrift für Kristallographie. 1925. Bd. 62. S. 145—150.
55. Boldyrev A. K. Are there 47 or 48 simple forms possible on crystals? // American Mineralogist. 1936. V. 21. No. 11. P. 731—734.
56. Bombicci L. Sulle superficie elicoidi e paraboloidi nei romboedri detti selliformi di dolomite e di altri carbonate anidri. Bologna: Tip. Gamberini e Parmeggiani, 1885. 15 p.



57. Breithaupt A. Die Paragenesis der Mineralien, mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet mit besonderer Rücksicht auf Bergbau. Freiberg: Verlag von J. G. Engelhardt, 1849. 277 S.

58. Burckhardt J. J. Der Briefwechsel von E. S. von Fedorov und A. Schoenflies, 1889—1908 // Archive vor History of Exact Sciences. 1971. Vol. 7. N 2. P. 91—141.

59. Engel P. On two special classes of parallelohedra in E6 // Acta Crystallographica. 2019. A75. P. 574—583.

60. Naumann C. F. Elemente der Mineralogie. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907. 821 S.

61. Pimonov V. V., Konevtsova O. V., Rochal S. B. Anomalous small viral shells and simplest polyhedra with icosahedral symmetry: the rhombic triacontahedron case // Acta Crystallographica. 2019. A75. P. 135—141.

62. Rogers A. F. A tabulation of crystal forms and discussion on form names // American Mineralogist. 1935. V. 20. No. 12. P. 838—851.

63. Shechtman D., Blech I., Gratias D., Cahn J. W. Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry // Physical Review Letters. 1984. V. 53. N 20. P. 1951—1953.

64. Stroh A. H. Emanuel Swedenborg as a scientist. Stockholm: Aftonbladets Tryckeri, 1908. 112 p.

65. Tolkovsky M. Diamond design. A study of the reflection and refraction of light in a diamond. London—New York: Spon & Chamberlain, 1919. 104 p.

66. Vervoort L. Der Diamant, seine Eigenschaften und seine Bearbeitung. Antwerpen: Druckerei «Phenix», 1910. 52 S.

## References

1. Archimedes. *Ischisleniye peschinok. Psammit* (Calculus of sand grains. Psammit). Moscow, Leningrad: Gostekhizdat, 1932, 104 pp.

2. Askhabov A. M. *Morfologiya subpinakoidal'nykh poverkhnostey prirodnykh kristallov kvartsa* (Morphology of subpinakoidal surfaces of natural quartz crystals). Proc. Rus. Miner. Soc., 1979, 6, pp. 712—716.

3. Bann Ch. *Kristally. Ikh rol' v prirode i nauke* (Crystals. Their role in nature and science). Moscow: Mir, 1970, 312 pp.

4. Berdyayev N. *Etyudy o Jakobe Boeme* (Etudes about Jacob Boeme). St. Petersburg: Publ. House «Umozreniye», 2021, 72 pp.

5. Betekhtin A. G. *Ponyatiye o paragenезise mineralov* (The concept of paragenesis of minerals). Bull. Acad. Sci. USSR. Ser. geol., 1949, 2, pp. 15—20.

6. Bokiy G. B., Shafranovskiy I. I. *Iz perezpiski E. S. Fedorova s A. Shenflisom. Nauchnoye nasledstvo*. (From the correspondence of E. S. Fedorov with A. Schoenflies. Scientific heritage). V. 2, Moscow: USSR Acad. Sci., 1951, pp. 314—340.

7. Boldyrev A. K., Dolivo-Dobrovolsky V. V. *Klassifikatsiya, nomenklatura i simbolika 32 vidov simmetrii kristallografii* (Classification, nomenclature and symbolism of 32 types of crystallographic symmetry). Proc. St. Petersburg Mining Institute, 1934, VIII, pp. 145—159.

8. Bjornsdittir S. H. *Vulkany, lyubov i prochiye bedstviya*. (Volcanoes, love and other disasters). St. Petersburg: Polyandria No Age, 2022, 51 pp.

9. Weinstein B. K. (ed.) *Metodologicheskiye problemy kristallografii*. (Methodological problems of crystallography). Moscow: Nauka, 1985, 296 pp.

10. Vasiliev V. I., Dragunov V. I., Rundquist D. V. «Paragenезis mineralov» i «formatsiya» v ryadu obrazovaniy

razlichnykh urovney organizatsii (“Paragenesis of minerals” and “formation” in a row of formations of various levels of organization). Proc. Rus. Miner. Soc., 1972, 3, pp. 281—289.

11. Vernadsky V. I. *Filosofskiyemy mysli naturalista* (Philosophical thoughts of a naturalist). Moscow: Nauka, 1988, 520 pp.

12. Voytekhovskiy Yu. L. *Iz opyta prepodavaniya. V. edorovskiyemy paralleloedry* (From teaching experience. V. Fedorov's parallelohedra). Vestnik of Geosciences, 2020, 7(307), pp. 26—31. DOI: 10.19110/geov.2020.7.4.

13. Voytekhovskiy Yu. L. *100 let «Dizaynualmazov» M. Tolkovskogo* (100 years of Marcel Tolkovsky's “Diamond Design”). Proc. Rus. Miner. Soc., 2022, 2, pp. 102—109. DOI: 10.31857/S0869605522020101.

14. Voroshilov Yu. V., Dovgiy S. A., Pavlishin V. I. *Kristallografiya v litsakh. Etyudy po istorii nauki* (Crystallography in faces. Studies on the history of science). Kiev: Information Systems, 2013, 398 pp.

15. Galiulin R. V. *Kristallograficheskaya kartina mira* (Crystallographic picture of the world). Advances in physical sciences, 2002, 172, 2, pp. 229—233.

16. Hegel G. V. *Entsiklopediya filosofskikh nauk. T. 2. Filosofiya prirody* (Encyclopedia of philosophical sciences. Vol. 2. Philosophy of nature). Moscow: Mysl, 1975, 696 pp.

17. Goethe I. V. *Granit kak osnovaniye vsyakogo geologicheskogo formirovaniya* (Granite as the foundation of any geological formation). Scientific works. V. 2. General questions of natural science. Mineralogy and geology. Meteorology. Materials for the doctrine of sound. Moscow: KMK, 2018, pp. 155—156.

18. Ginzburg M. Ya. *Stil' i epokha: problemy sovremennoy arkhitektury* (Style and epoch: problems of modern architecture). Moscow: State Publ. House, 1924, 239 pp.

19. Gnutova R. V. *Sovremennyye tendentsii v taksonomii i nomenklature virusov* (Modern trends in taxonomy and nomenclature of viruses). Advances in modern biology, 2011, 131, 6, pp. 563—577.

20. Grigoriev D. P. *Ontogeniya mineralov* (Ontogeny of minerals). L'vov: University Publ. House, 1961, 284 pp.

21. Grigoriev D. P. *Yestestvennyemy obyekty mineralogii: mineralnyemy individy i mineral'nyemy vidy* (Natural objects of mineralogy: mineral individuals and mineral species). Proc. Rus. Miner. Soc., 1975, 4, pp. 513—514.

22. Grigoriev D. P. *Utochneniye ponyatiya «mineralnyy agregat»* (Clarification of the concept of „mineral aggregate“). Proc. Rus. Miner. Soc., 1985, 4, pp. 506—509.

23. Delaunay B. N. E. S. *Fedorov kak geometr* (Fedorov as a geometer). Works of the IIET USSR Acad. Sci., 1956, 10, pp. 5—12.

24. Defface K., Defface S. *Udivitelnyemy nanostruktury* (Amazing nanostructures). Moscow: Binom, 2011, 206 pp.

25. Dolivo-Dobrovolsky V. V. *Issledovaniye dodekaedro-ikosaedricheskoy sistemy* (Investigation of the dodecahedron-icosahedral system). Proc. Rus. Miner. Soc., 1924, 1, pp. 169—181.

26. Zhabin A. G. *Problemy filogenii mineralov* (Problems of mineral phylogeny). Genetic information in minerals. Syktyvkar: Inst. of Geology KF USSR Acad. Sci., 1980, pp. 10—12.

27. Ivanov O. P. «Smezhnost' mineralov» i «paragenезis»: predvoskhitil li V. M. Severgin A. Breygaupta? (“Contiguity of minerals” and “paragenesis”: Did V. M. Severgin anticipate A. Breygaupt?) Proc. Rus. Miner. Soc., 2005, 1, pp. 44—45.

28. Ilyenkov E. *Ot abstraktnogo k konkretnomy. Krutoy marshrut*. (From the abstract to the concrete. A steep route). Moscow: Canon+, 2017, 384 pp.



29. Kant I. *Grezy dukhovidtsa, poyasnennyye grezami metafiziki* (The dreams of the visionary, explained by the dreams of metaphysics). Works in 6 vol. Moscow: Mysl, 1964, V. 2, pp. 293–355; Letter about Swedenborg to Sh. von Knobloch, *Ibid.*, pp. 355–360; Letter to M. Mendelson, *Ibid.*, pp. 363–367.
30. Kivelya M. *Ty ili nikogda* (You or never). Moscow: Gayatri, 2011, 240 pp.
31. Kostyuchenko V. A., Mesyanzhinov V. V. *Arkhitektura sfericheskikh virusov* (Architecture of spherical viruses). Advances in biological chemistry. 2002, 42, pp. 177–192.
32. Mandelbrot B. *Fraktalnaya geometriya prirody* (Fractal geometry of nature). Moscow: Institute of Computer Research, 2002, 656 pp.
33. Markhinin E. K. *Vulkany i zhizn: problemy biovolkanologii* (Volcanoes and life: problems of biovolcanology). Moscow: Mysl, 1980, 196 pp.
34. Meyerson E. *Nesovershenstva* (Imperfections). St. Petersburg: Polyandria No Age, 2022, 511 pp.
35. Oparin A. I. *Voznikoveniye zhizni na Zemle* (The origin of life on Earth). Moscow; Leningrad: USSR Acad. Sci., 1941, 267 pp.
36. Paufler P., Filatov S. K. E. S. *Razvitiye Ye. S. Fedorovym rossiysko-germanskikh nauchnykh svyazey* (Fedorov's development of Russian — German scientific relations). Proc. Rus. Miner. Soc., 2020, 5, pp. 112–134.
37. Ruskin J. *Etika pyli. Desyat' lektsiy malen'kim domokhozyaikam ob elementakh kristallizatsii*. (The ethics of dust. Ten lectures to little housewives about the elements of crystallization). Moscow: Ad Marginem Press, 2016, 176 pp.
38. Rudnev S. V. *Primeneniye ellipticheskoy geometrii Rimana k issledovaniyu reshetchatykh struktur real'nykh kristallov*. (Application of Riemann elliptic geometry to the study of lattice structures of real crystals). Leningrad: State University, 1986, 18 pp.
39. Rundquist D. V. *Voprosy izucheniya filogeneza mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh* (Questions of studying the phylogeny of mineral deposits). Proc. Rus. Miner. Soc., 1968, 2, pp. 191–209.
40. Severgin V. M. *Pervye osnovaniya mineralogii ili yestestvennoy istorii iskopayemykh tel, v dvukh knigakh*. (The first foundations of mineralogy or the natural history of fossil bodies, in two books). Book 1. St. Petersburg, 1798, 498 pp.
41. Silaev V. I., Askhabov A. M., Khazov A. F., Yukhtanov P. P., Yanulov. K 100-letiyu voina i zamechatel'nogo kristallografa (100<sup>th</sup> anniversary of the warrior and the wonderful crystallographer). Vestnik of Geosciences, 2020, 3, pp. 33–43. DOI: 10.19110/geov.2020.3.5.
42. Smilevsky G. *Razgovor so Spinozoy* (Conversation with Spinoza). Moscow: Rudomino Book Center, 2019, 192 pp.
43. Stenon N. *O tverdom, yestestvenno soderzhaschemsya v tverdom* (On the solid naturally contained in the solid). Moscow: USSR Acad. Sci., 1957, 151 pp.
44. Tashner R. *Chislo, prishedshee s kholoda: kogda matematika stanovitsya priklyucheniym*. (The number that came from the cold: when mathematics becomes an adventure). Moscow: Kolibri, 2018, 256 pp.
45. Fedorov E. S. *Praktikum po osnovnym otdelam kristallografii*. (Workshop on the main parts of crystallography). Petrograd: Economic typolithography, 1915, 20 pp.
46. Florin M. *Sad* (Garden). St. Petersburg: I. Limbach Publ. House, 2005, 160 pp.
47. Shaskolskaya M. P., Shafranovsky I. I. *Rene Zhust Gayui* (René Just Haüy). Moscow: Nauka, 1981, 153 pp.
48. Shafranovsky I. I. *Nikolay Ivanovich Koksharov* (Nikolay Ivanovich Koksharov). Moscow; Leningrad: Nauka, 1964, 216 pp.
49. Shafranovsky I. I. *Istoriya kristallografii s drevneyshikh vremen do nachala XIX stoletiya* (The history of crystallography from ancient times to the beginning of the XIX century). Leningrad: Nauka, 1978, 297 pp.
50. Shafranovsky I. I. *Istoriya kristallografii. XIX vek* (The history of crystallography. XIX century). Leningrad: Nauka, 1980, 324 pp.
51. Yushkin N. P. *Biominerallye vzaimodeystviya* (Biomineral interactions). Moscow: Nauka, 2002, 60 pp.
52. Bindi L., Steinhart P. J., Yao N., Lu P. J. Natural quasicrystals. Science, 2009, V. 324, No. 5932, pp. 1306–1309.
53. Bindi L., Steinhart P. J., Yao N., Lu P. J. Icosahedrite, Al<sub>63</sub>Cu<sub>24</sub>Fe<sub>13</sub>, the first natural quasicrystal. American Mineralogist, 2011, V. 96, pp. 928–931.
54. Boldyrev A. K. Die von Fedorov Institut angenommene kristallographische Nomenklatur. Zeitschrift für Kristallographie, 1925, Bd. 62, pp. 145–150.
55. Boldyrev A. K. Are there 47 or 48 simple forms possible on crystals? American Mineralogist, 1936, V. 21, No. 11, pp. 731–734.
56. Bombicci L. Sulle superficie elicoidi e paraboloidi nei romboedri detti selliformi di dolomite e di altri carbonate anidri. Bologna: Tip. Gamberini e Parmeggiani, 1885, 15 p.
57. Breithaupt A. Die Paragenesis der Mineralien, mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet mit besonderer Rücksicht auf Bergbau. Freiberg: Verlag von J. G. Engelhardt, 1849, 277 p.
58. Burckhardt J. J. Der Briefwechsel von E. S. von Fedorow und A. Schoenflies, 1889–1908. Archive vor History of Exact Sciences, 1971, V. 7, No. 2, pp. 91–141.
59. Engel P. On two special classes of parallelohedra in E6. Acta Crystallographica, 2019, A75, pp. 574–583.
60. Naumann C. F. Elemente der Mineralogie. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, 1907, 821 pp.
61. Pimonov V. V., Konevtsova O. V., Rochal S. B. Anomalous small viral shells and simplest polyhedra with icosahedral symmetry: the rhombic triacontahedron case. Acta Crystallographica, 2019, A75, pp. 135–141.
62. Rogers A. F. A tabulation of crystal forms and discussion on form names. American Mineralogist, 1935, V. 20, No. 12, pp. 838–851.
63. Shechtman D., Blech I., Gratias D., Cahn J. W. Metallic phase with long-range orientational order and no translational symmetry. Physical Review Letters, 1984, V. 53, N 20, pp. 1951–1953.
64. Stroh A. H. Emanuel Swedenborg as a scientist. Stockholm: Aftonbladets Tryckeri, 1908, 112 p.
65. Tolkowsky M. Diamond design. A study of the reflection and refraction of light in a diamond. London—New York: Spon & Chamberlain, 1919, 104 p.
66. Vervoort L. Der Diamant, seine Eigenschaften und seine Bearbeitung. Antwerpen: Druckerei «Phenix», 1910, 52 p.

Received / Поступила в редакцию 31.05.2022