ПРИОРИТЕТНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ («МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СПИСОК»)

А. М. Асхабов

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

К предстоящему съезду минералогического общества и Юшкинским чтениям — 2020 на основе анализа текущей ситуации в минералогической науке по аналогии со знаменитым списком важных и интересных физических проблем академика В. Л. Гинзбурга составлен для обсуждения список приоритетных проблем (направлений исследований) современной минералогии.

Ключевые слова: минералы и минеральный мир, минералогия, приоритетные проблемы минералогии.

PRIORITY PROBLEMS OF MODERN MINERALOGY («MINERALOGICAL LIST»)

A. M. Askhabov

Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar

For the upcoming Congress of the Russian Mineralogical society and Yushkin Readings 2020 we compiled an author list of priority problems (research areas) of mineralogy based on the analysis of the current situation in mineralogical science by analogy with the famous Academician V.L.Ginzburg's list of important and interesting physical problems.

Keywords: minerals and the mineral world, mineralogy, the priority problems of mineralogy.

Широкое обсуждение фундаментальных проблем, идей, структуры самой минералогии, взаимоотношения с другими науками — нередкое дело среди минералогической общественности. Более того, в минералогии это происходит даже чаще, чем в других науках. Особенно это характерно для отечественной минералогии, что находит отражение в учебниках [4] и аналитических статьях [3, 7]. В России составлены даже специальные учебные курсы [8]. Иногда кроме анализа важнейших направлений минералогической науки, поднимаются также вопросы о том, существует ли вообще минералогия как самостоятельная наука со своими объектами и методами. Высказывался даже сомнительный тезис о минералогии как части химии неорганических соединений, образовавшихся в природе [2].

В целом ряде своих работ [10–13] общие вопросы минералогии, проблемы и перспективы ее развития обсуждал Н. П. Юшкин. Более того, в одной из своих заметок [10] он составил список приоритетных проблем минералогии (далее — «юшкинский список»). В этом списке он указывал следующие направления, «по которым в двадцать первом веке пойдет развитие минералогии» [с. 3]:

1. Разработка новой «реальной» кристаллохимии минералов на основе высокоразрешающих методов электронной микроскопии, позволяющих видеть отдельные кристаллообразующие частицы (молекулы и атомы).

2. Исследования дисперсного и ультрадисперсного состояний вещества.

3. Анализ атомно-молекулярных и надмолекулярных структур, структурные исследования протоиндивидов.

4. Проблемы сингенеза, взаимодействия и коэволюции живого и минерального миров. Выяснение роли минералов в происхождении и обеспечении жизни, роли организмов в процессе минералообразования и рудообразования.

5. Геотехногенез и техническое минералообразование.

6. Исследование минералов как генетических индикаторов, как писем из геологического прошлого.

7. Разработка научной системы прикладной минералогии, включающей топоминералогическое изучение рудоносных районов, минералогическое прогнозирование, поисково-оценочную и технологическую минералогия.

8. Развитие региональных минералогических исследований, создание региональных минералогических обобщений.

9. Создание национального машинного банка данных по минералам.

10. Создание методического аппарата для решения широкого комплекса геологических задач по минералогическим данным.

В конце списка Николай Павлович указывал, что «эти магистральные направления не определяют, конечно, весь фронт развития минералогии, а трассируют главные исследовательские удары, обеспечивающие прорыв в будущее» [10, с. 4].

«Юшкинский список» приоритетов минералогии вызывает невольную ассоциацию с другим хорошо известным списком актуальных проблем физики и астрофизики, составленным академиком В. Л. Гинзбургом. В этом списке [5], впервые опубликованном в 1971 г., было 17 пунктов. В дальнейшем их число возрастало,

и в дополненном варианте, оглашенном в нобелевской лекции, было обозначено уже 30 проблем [6]. По аналогии с «теоретическим минимумом» Л. Д. Ландау новый перечень проблем физики был назван «физическим минимумом».

Ясно, что «юшкинский список», равно как и «физический минимум» В. Л. Гинзбурга, отражал состояние науки на определенный момент времени. С одной стороны, в этом списке указаны действительно важные для минералогии направления, которые до сих пор остаются актуальными. С другой стороны, за прошедшие годы в минералогии произошли разительные перемены, прежде всего благодаря применению современных инструментальных методов исследования и существенному расширению идейного багажа, а также проникновению минералогии в наномир и пограничные области знания. Это побудило нас составить некий осовремененный список приоритетных проблем, характеризующий состояние минералогической науки в наши дни. Он назван нами для краткости «минералогическим списком».

«Минералогический список»: какие проблемы сейчас выходят на передний план в минералогической науке

1. Открытие новых минералов.
2. Прогноз и дизайн минеральных структур.
3. Минералогия мантии и ядра.
4. Минеральные образования на дне океанов.
5. Минеральные фазы в экстремальных условиях.
6. Минералы как перспективные материалы.
7. Поверхность минералов. Двумерные минеральные фазы.
8. Протоминералы и протоминеральное состояние вещества.
9. Неклассические механизмы минералообразования.
10. Дисперсное и наноструктурированное минеральное вещество.
11. Минеральные наноструктуры и наноиндивиды.
12. Органические минералы и органоинеральные образования.
13. Минералы в биологических системах.
14. Эволюция, необратимость и самоорганизация в минеральных системах.
15. Сложность, модулярность и иерархия минеральных структур.
16. Новые инструменты и объекты минералогических исследований.
17. Цифровая минералогия. Big data и искусственный интеллект в минералогии.

Прежде чем перейти к некоторым необходимым комментариям и замечаниям к списку, приведем слова академика В. Л. Гинзбурга, которыми он сопроводил свой знаменитый «список важных и интересных проблем физики и астрофизики» («физический минимум»). «Любой такой список не может не иметь субъективной окраски. Ясно и то, что „список“ с течением времени должен изменяться. Ясно, наконец, что все вопросы, не включенные в „список“ никак не могут считаться неважными или неинтересными... Те же кто знают важное и интересное, находящееся за пределом „списка“ не имеют оснований обижаться и должны лишь дополнять или изменять „список“ [6, с.1253].

«Минералогический список» включает в основном проблемы или направления исследований, заре-

пившиеся в большой минералогической повестке в последние десятилетия. Это относительно новые проблемы («точки роста»). Они большей частью обращены в будущее минералогии как фундаментальной науки. Минералогия предстает в этом списке как наука о минеральном веществе, развивающаяся в тесном взаимодействии с другими смежными отраслями естественных наук, прежде всего физики, химии и биологии. Здесь важен именно этот аспект (фундаментальность минералогии), а не то, что минералогия — это геологическая наука. Список составляют те проблемы, по которым необходима активизация отечественных исследований на фоне работ минералогов других стран.

Ряд ключевых позиций в списке, как и следовало ожидать, имеют непосредственное отношение или повторяют направления из «юшкинского списка» приоритетов минералогии. Не буду, естественно, отрицать и то, что в список включены проблемы, к которым автор равнодушен или которые находятся в поле его собственных научных интересов.

А что касается первого пункта списка, то открытие новых минералов есть и надолго останется захватывающей областью минералогии, которая перестает быть лишь увлекательным полем соревнования минералогов. И что важно, в этой области российские минералоги продолжают сохранять лидирующие позиции.

Нет особой необходимости в подробных расшифровках и разъяснениях содержания кратко сформулированных в списке пунктов, в составлении их «паспортов». Ясно, что их содержание шире, чем указано в том или ином пункте. Не будем забывать и о некоторой условности деления на пункты и об определенной их взаимозависимости. Какие-то пункты, возможно, следовало объединить, а какие-то, наоборот, разделить. Так, пункт 3 — «Минералогия мантии и ядра» — вряд ли будет раскрываться без обсуждения вопросов, связанных с устойчивостью и прогнозом существования и поведения минералов в условиях высоких давлений и температур. Актуальнейшая на сегодня и близкая автору проблема расшифровки механизмов минералообразования оказывается прямо завязана на изучение предзародышевых кластеров (кватаронов) — новых объектов протоминерального мира — мира творения минералов [1].

По всем пунктам, указанным в списке, ведутся активные теоретические и экспериментальные исследования. Есть основания предполагать, что именно в этих направлениях будут получены наиболее прорывные результаты. С некоторым авансом в список включены пункты 16 и 17, в которые минералогия неизбежно будет вовлечена в ближайшие годы. При этом в пункте 16 речь больше идет о совершенно новых методах минералогических исследований, которые, возможно, будут связаны с так называемыми установками мегасайенс (новые виды электронных микроскопов, синхротроны, лазеры на свободных электронах и т. д.). А в качестве новых объектов уже сейчас часто фигурируют не минералы и даже не материалы неорганического происхождения. Так, совсем недавно объектами минералогических исследований стали, к примеру, человеческие костные останки [9].

Составленный нами список не преследует цель объять необъятное. Он, на наш взгляд, больше задает некие тематические ориентиры и характеризует

сложившуюся в минералогической науке ситуацию. «Минералогический список» не отвечает на вопрос: какой должна быть минералогия, на что были нацелены юшкинские приоритеты, а обозначает проблемы, которые в наибольшей степени привлекают внимание в наши дни, судя по содержаниям журналов и программ конференций. Это как бы текущий «временной» срез минералогической науки. Легко увидеть, что в списке имеются вопросы разной степени проработанности и теоретического обоснования. Но они все, как говорится, на слуху и в равной степени важны и интересны, независимо от порядка расположения в списке.

Адресатом «минералогического списка» являются главным образом молодые исследователи. Они должны иметь хотя бы общее представление об указанных в списке проблемах (направлениях), а не только о состоянии дел в своих узких областях науки. Это в некоторой степени минимальная образовательная программа для минералогов. В этом смысле наш список близок к «физическому минимуму» В. Л. Гинзбурга, также ориентированному на образовательные цели.

Еще несколько кратких комментариев к списку.

Должен обратить особое внимание на междисциплинарный характер практически всех приведённых в списке проблем (если хотите, тем). Например, пункты 2 и 3 играют ключевую роль в расширении наших представлений в смежных областях наук о Земле, в понимании состава и строения глубинных геосфер. Пункты 5–8 касаются междисциплинарных вопросов на стыке минералогии, химии, физики и материаловедения. Особо отметим, что большой материаловедческий потенциал заключен в пунктах 6 и 7. Пункты 12 и 13 включают вопросы на границе минералогии и биологии (от взаимодействия между минералами и органическими молекулами, сингенеза и коэволюции живого и минерального миров до общих вопросов органической минералогии и роли органического вещества в процессах минерало- и рудообразования). Эти же пункты имеют непосредственное отношение и к сформулированной Н. П. Юшкиным комплексной проблеме «минералогия и жизнь».

В «минералогический список», возможно, следовало бы включить и ряд других направлений, сохраняющих свою актуальность и важность, ставших неотъемлемыми частями современной минералогии. В расширенном списке, в частности, могли бы быть проблемы минерального разнообразия, минералов как индикаторов петро- и рудогенеза, генетико-информационной минералогии, экспериментальных исследований в минералогии и синтеза минералов. Последнее может получить «второе дыхание» в связи с развитием направления, ориентированного на получение новых материалов на основе минералогической информации.

Самостоятельным направлением минералогического материаловедения может стать конструирование и изобретение потенциальных минералов, сборка минеральных структур путем сложения (наслаивания) одного или нескольких слоев различных минералов, получение таким образом своеобразных минеральных гетероструктур и гетерофазных объектов. Это было бы существенным продвижением и для пункта 6.

Резко возрастает интерес к проблемам технологической минералогии и техногенеза минералов, что связано с очень важным их практическим значением. Не

теряют актуальности минералогия астроблем, изучение метеоритов. Обещают возродиться исследования по космической минералогии (Луны, планет, околопланетных пылевых комплексов с перспективным замахом на твердые экзопланеты).

Вряд ли справедливо будет оставить расширенный «минералогический список» без таких классических разделов, как минералогическая кристаллография и физика минералов. На различных минералогических форумах всё чаще фигурирует как перспективное направление и медицинская минералогия с фармацевтической индустрией на минеральной основе. В результате только из перечисленного выше получится дополнительный список направлений, в русле которых, несомненно, сосредоточено множество важных и интересных проблем.

Эти направления, несмотря на их более традиционный характер, многие будут считать даже более важными для прогресса в минералогической науке в целом. Понятно, что они в любом случае никуда не денутся, и соответствующие проблемы будут находиться в арсенале современной минералогии; возможно, что некоторые из них на определенном этапе станут суперприоритетными. Такое бывает в науке.

В заключение отметим еще раз, что «минералогический список», равно как и все другие подобные списки, конечно можно продолжать, дополнять, изменять. Но всех направлений и интересных проблем минералогической науки не удастся охватить. «Минералогия во всем пространстве сего слова» шире и богаче.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-05-00460а).

Литература

1. Асхабов А. М. Предзародышевые кластеры и неклассическое кристаллообразование // Зап. РМО. 2019. № 6. С. 1–13.
2. Бокий Г. Б. Систематика природных силикатов // Итоги науки и техники. Сер. Кристаллохимия. Т. 31. М., 1997.
3. Боруцкий Б. Е. Фундаментальные проблемы древнейшей науки // Природа. 2007. №2. С. 5–14.
4. Булах А. Г. Общая минералогия. СПб.: СПбГУ, 1999. 354 с.
5. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными // УФН. 1971. Т. 103. С. 87.
6. Гинзбург В. Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести (что мне удалось, а что не удалось), а также о «физическом минимуме» на начало XXI века // УФН. 2004. Т. 174. № 11. С. 1240–1255.
7. Григорьев В. П. Рассуждения о минералогии // ЗВМО. 1990. Ч. СХІХ. Вып. 1. С. 3–12.
8. Кошуг Д. Г. Еремин Н. Н. Современные проблемы минералогии и кристаллографии: Учебный курс. МГУ, 2015.
9. Силаев В. И. и др. Усть-Полуйское городище-святилище: опыт минерало-геохимических исследований человеческих костных останков. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. 64 с. (Юбилейные лекции ученых: Приложение к Вестнику ИГ Коми НЦ УрО РАН).
10. Юшкин Н. П., Кузнецов С. К. История, современное состояние и перспективы развития минералогических исследований // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 12. С. 12–16.

11. Юшкин Н. П. Приоритеты минералогии на пороге XXI века // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 1996. № 5. С. 2—4.

12. Юшкин Н. П. Проблемы и пути развития минералогической теории // Теория минералогии: Сб. науч. тр., 1988. С. 4—10.

13. Юшкин Н. П. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2002. № 7. С. 17—19.

References

1. Askhabov A. M. Pre-nucleation clusters and non-classical crystal formation, *Zap. RMO*, 2019, No 6, pp. 1—13.

2. Bokiý Ch. B. *Sistematika prirodnykh silikatov* (Systematics of natural silicates). *Itoginaukii tekhniki. Ser. Kristallohimiia* (Outcomes of science and technics. Crystal chemistry). V. 31, Moscow, 1997.

3. Borutsky B. E. *Fundamentalnye problem drevneishei nauki* (Fundamental problems of ancient science). *Priroda*, 2007, No. 2, pp. 5—14.

4. Bulakh A. G. *Obshchaia mineralogiia* (General mineralogy). St. Petersburg: St. Petersburg University, 1999, 354 p.

5. Ginzburg V. L. *Kakie problem fiziki i astrofiziki predstavliaiutsia seichas osobenno vazhnyimi i interesnymi* (What problems of physics and astrophysics are now especially important and interesting). *Physics-Uspekhi*, 1971, V. 103, 87 p.

6. Ginzburg V. L. *O sverkhprovodimosti i sverkhteku-chesti (chto mne udalos, a chto ne udalos), a takzhe o «fizicheskom minimume» na nachalo XXI veka* (On superconductivity and

superfluidity (what I succeeded and what failed), and also on the «physical minimum» at the beginning of the 21st century). *Physics-Uspekhi*, 2004, V. 174, No. 11, pp. 1240—1255.

7. Grigoryev V. P. *Rassuzhdeniia o mineralogii* (Thoughts about mineralogy). *ZVMO*, 1990, Ch. CXIX, 1, pp. 3—12.

8. Koshchug D. G. Eremin N. N. *Sovremennye problem mineralogii i kristallografii* (Modern problems of mineralogy and crystallography). Training course, MSU, 2015.

9. Silaev V. I., Parshukova M. N., Slepchenko S. M., Smoleva I. V., Kiseleva D. V., Shanina S. N., Tropnikov E. M., Khazov A. F. *Ust-Poluisckoe gorodishche-sviatilishche: opyt mineralogo-geohimicheskikh issledovanií chelovecheskikh kostnykh ostankov* (Ust-Poluisky sanctuary: the experience of mineralogical and geochemical studies of human bone remains). Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2017, 64 p.

10. Yushkin N. P., Kuznetsov S. K. *Istoriia, sovremennoe sostoiianie i perspektivy razvitiia mineralogicheskikh issledovanií* (History, current status and prospects for the development of mineralogical studies). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2008, No. 12, pp. 12—16.

11. Yushkin N. P. *Prioritety mineralogii na poroge XXI veka* (Mineralogy Priorities on the Threshold of the 21st Century). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 1996, No. 5, pp. 2—4.

12. Yushkin N. P. *Problemy i puti razvitiia mineralogicheskoi teorii* (Problems and Ways of the Development of Mineralogical Theory). *Teoria mineralogii* (Mineralogy theory. Collection of articles), 1988, pp. 4—10.

13. Yushkin N. P. *Sovremennaiia mineralogiia i novye tendentsii ee razvitiia* (Modern mineralogy and new trends in its development). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2002, No. 7, pp. 17—19.

Поступила в редакцию / Received 29.05.2020