

Часть 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

В. Н. Анфилогов

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
anfilogov@mineralogy.ru*

Институту минералогии УрО РАН – 25 лет

В 2013 г. Институту минералогии УрО РАН исполняется 25 лет. Институт был организован постановлением Президиума Уральского отделения АН СССР № 2–10 от 1 февраля 1988 г. на базе научных подразделений Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина с целью проведения комплексных фундаментальных исследований в области минералогии. В институте получили успешное развитие пять лабораторий: экспериментальной минералогии и физики минералов; региональной минералогии; минералогии рудогенеза; минералогии техногенеза и геоэкологии; физических методов исследования минерального сырья и отдел геоинформационных технологий.

Лаборатория экспериментальной минералогии и физики минералов оснащена современным оборудованием для изучения фазовых равновесий и физико-химических свойств магматических и оксидных расплавов и стекол. Создана уникальная экспериментальная установка для изучения строения оксидных расплавов непосредственно при высоких температурах (вплоть до 1300 °С) методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. Впервые получены высокотемпературные спектры КР ряда оксидных стеклообразующих расплавов – силикатных, боратных, германатных, фосфатных и т.д. На основе интерпретации полученных спектров рассмотрены механизмы изменения структуры расплавов в процессе их охлаждения и стеклования. Разработаны теория анионных равновесий в силикатных расплавах и методы расчета физико-химических свойств оксидных стеклообразующих систем. Подготовлена структурная модель расслаивания силикатных расплавов. Выполнены работы по изучению взаимодействия алюмосиликатных и боросиликатных стекол и расплавов с водой, по результатам которых предложены различные механизмы растворения воды в оксидных системах. Основные результаты представлены в нескольких монографиях, в том числе «Спектроскопия и структура силикатных расплавов и стекол» [Быков и др., 2001], «Силикатные расплавы» [Анфилогов и др., 2005], «Спектроскопия и структура щелочно-боратных стекол и расплавов» [Осипов и др., 2009].

В последние годы создана экспериментально-методическая база для изучения технологических свойств природного кварца, решения задачи оптимизации технологических процессов получения кварцевых концентратов, совершенствования методик наплава кварцевого стекла и аттестации оптических свойств синтезированных стекол. В 2011 г. получен патент РФ № 2431601 «Способ получения высококачественного концентрата из природного кварца». На основе лаборатории создана научная школа «Строение и свойства магматических расплавов» (основатель – чл.-корр. В. Н. Анфилогов).

Лаборатория региональной минералогии проводит изучение минерального состава крупных тектоно-магматических систем Урала, а также месторождений За-

байкаля, Дальнего Востока и Камчатки. В уникальном по размерам Ильменогорском миаскитовом массиве пробурена структурная скважина глубиной 2000 м. Установлено сложное полифациальное строение глубинных частей массива с широким проявлением пегматитообразования и метасоматоза, выделены фациальные разновидности миаскитовых пород и серия лампрофиридных пород. На основе геологических наблюдений, петрофизических измерений керна, геофизического каротажа и расчетов геофизических полей впервые была построена объемная модель миаскитового массива и вмещающих метаморфических толщ южного окончания Ильмено-Вишневогорского комплекса. Построена генетическая модель развития щелочной магматической системы на фоне переходов вмещающей среды от хрупкого состояния к пластическому. Установлена стадийность образования массива от сухих агпаитовых парагенезисов к водосодержащим миаскитовым и, позднее, образование дифференцированных парагенезисов шпатового, карбонатитового, лампрофиридного составов. Результаты представлены в монографии «Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива» [Макагонов и др., 2003].

Работы лаборатории сопровождались открытиями новых и редких минералов и их ассоциаций. В ряде работ обосновано выделение нового структурного класса минералов – трифосфатов цепочечной структуры. В процессе минералогических исследований открыто 9 новых минералов: канонеровит, поляковит (В. А. Попов, В. И. Попова и др.), макарочкинит (Е. П. Щербакова), фторомагнезиоарфведсонит, фторорихтерит, калийферрисаданагаит, ферривинчит (А. Г. Баженов и др.), калиймагнезиогастингсит (В. Г. Кориневский, Е. В. Кориневский), флоренсит-(Sm) (С. А. Репина и др.). Установлено более 30 новых минералов для России. Составлены фундаментальные обобщения по минералогии пегматитовых полей Мурзинки [Попова и др., 2002], Ильменских гор [Попов, Попова, 2006], Кочкарского и Уфалейского блоков [Белковский, 2006]. Существенно дополнены кадастры минералов более 20 месторождений. Открыто несколько новых разновидностей горных пород. Значительное место в исследованиях ЛРМ занимает анализ конституции и генезиса минералов. Разработаны теории симметрии сростков кристаллов, аффинной гомологии кристаллов, учение о парагенезисе форм кристаллов. Сделан вклад в теорию роста кристаллов (сокристаллизация полиморфов, синтаксия, элементная и изотопная секториальность кристаллов). Работы отмечены медалями РМО и «Почетными отзывами РМО» за лучшие работы в области минералогии (Е. П. Макагонов, В. А. Попов, В. И. Попова).

Деятельность **лаборатории минералогии рудогенеза** направлена на сравнительный анализ минералогии, геохимии, палеовулканических и физико-химических условий формирования рудообразующих систем в древних и современных океанах. Работами лаборатории охвачены крупнейшие колчеданосные регионы мира, включая Урал, Рудный Алтай, Понтиды, Аппалачи, Иберийский и Западно-Тасманийский пояса, а также сульфидоносные гидротермальные проявления Атлантического и Тихого океанов. Лаборатория занимает лидирующие позиции в развитии минералого-геохимических теорий донного рудообразования в древних океанах. Получены достижения в минералогии колчеданных, золоторудных, марганцеворудных, железорудных, пиррофиллитовых и нефритовых месторождений. Выявлены закономерности в развитии вулканизма и рудообразования в бассейнах континентальных окраин [Зайков, 2006].

В лаборатории разработан метод рудно-фациального анализа, на основе которого проведена морфогенетическая реконструкция древнейших придонных сульфидных холмов, показана связь формы рудных тел, соотношений рудных фаций и их минерального состава с региональными режимами вулканизма и седиментации [Масленников, Зайков, 2006]. При исследовании кобальт-медноколчеданных залежей в офиолитовых зонах Урала выявлены признаки их формирования на морском дне [Мелекесцева, 2007].

В рудах фанерозойских колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая, Понтид и Хокуроко определены палеогидротермальные трубы – аналоги «черных, серых и белых курильщиков» [Масленникова, Масленников, 2007]. Установлена зависимость минерального состава «курильщиков» от геодинамических обстановок формирования и состава рудовмещающих формаций, обнаружено явление гидротермально-осадочной дифференциации элементов-примесей в халькогенидах сульфидных труб. Среди разнообразных редких минералов обнаружены промежуточные твердые растворы, входящие в новые изоморфные серии Ag–Pb–Bi–Sb–Te и Ag–Cu–Te–S. При проведении биофациального анализа сульфидных холмов Урала и Понтид распознаны древние оруденелые устьевые биоты – аналоги современных гидротермальных оазисов, открыты новые виды оруденелой пригидротермальной фауны, а также разработаны критерии глобального прогнозирования палеогидротермальных сульфидных тафоценозов [Масленников, 2006].

В лаборатории активно ведутся работы по изучению минералогии субмаринного [Аюпова, Масленников, 2005] и субазрального [Белогуб и др., 2006] гипергенеза колчеданных месторождений Урала, в результате которых обнаружены редкие минеральные ассоциации, выявлена зональность преобразований руд, диагенетическая и гипергенная химическая и изотопно-геохимическая дифференциация в халькогенидах в зависимости от условий их формирования. Впервые для Южного Урала систематически изучены геологическое строение и вещественный состав зон окисления развитых над сульфидными месторождениями различных формационных типов, установлено закономерное положение класса селенидов в гипергенном профиле колчеданных месторождений [Белогуб и др., 2006].

В лаборатории создана теория литогенеза сульфидных, оксидно-железистых и оксидно-марганцевых металлоносных отложений, включающая модели гальмиролиза для объяснения литолого-минералогического разнообразия колчеданоносных палеогидротермальных полей [Масленников, 1999]. Фундаментальные труды лаборатории посвящены характеристике малоизученных генетических типов металлоносных отложений, сульфидных турбидитов и их диагенитов, госсанитов, джасперитов, умбринов и пиритовых кварцитов, и на этой основе разработаны новые литолого-минералогические и геохимические критерии прогнозирования колчеданных месторождений.

За работу «Создание научных основ развития рудной минерально-сырьевой базы Урала» одному из авторов (В. В. Масленников) присуждена Премия Правительства РФ в области науки и техники (2004 г.). За развитие многостадийной минералогическо-геохимической модели накопления золота в углеродистых металлоносных отложениях и выявление источника золота для золоторудных месторождений-гигантов Обществом Экономической Геологии (SEG) В. В. Масленникову присуждена международная награда им. Б. Скиннера (2012 г.). На основе лаборатории создана ведущая научная школа «Металлогения древних океанов» (основатели – проф. В. В. Зайков и проф. В. В. Масленников).

В последние годы в лаборатории успешно развивается новое для минералогии георухеологическое направление. Интересными являются работы по изучению минеральных включений в шлаках и золотых изделиях. В последних выявлены микровключения осмия – индикатора россыпного источника благородных металлов [Основы..., 2011].

Значительные успехи достигнуты в изучении минералогии новых и нетрадиционных видов минерального сырья, связанных с рудообразующими вулканогенными формациями. Сотрудниками лаборатории открыт ряд месторождений нового для России кварц-пиррофиллитового сырья, впервые дана генетическая типизация пиррофиллитовых месторождений [Зайков и др., 1989; Синяковская, Зайков, 2010]. Совместно с сотрудниками лабораторий региональной минералогии и экспериментальной минералогии и физики минералов открыты многочисленные проявления нефрита в ультрамафитовых комплексах Учалино-Миасской зоны с выделением крупнейшей в мире нефритоносной провинции и завершением поисково-оценочной стадии изучения крупного Академического проявления нефритов.

В лаборатории минералогии техногенеза и геозкологии создано и методически обосновано новое научное направление в области наук о Земле – «Минералогия техногенеза». На модельном полигоне (горелые отвалы Челябинского угольного бассейна) изучены процессы минералообразования в широких диапазонах температур и газовой фазы [Чесноков и др., 2008]. Разработана теория формирования минерализации в аноксических условиях техногенных объектов при пирометаморфизме. Установлен и детально изучен 51 новый минеральный вид, 8 из которых утверждены Комиссией по новым минералам Международной минералогической ассоциации. Выделены новые классы минералов: силикооксиды, силикохлориды и силикофториды. Совокупность знаний, полученных в процессе изучения высокотемпературных минеральных ассоциаций, позволяет прогнозировать процессы минералообразования в бескислородной атмосфере планет Солнечной системы.

В лаборатории успешно развивается современное научное направление, связанное с изучением геохимии техногенеза. Определены масштабы атмосферной миграции микроэлементов и их роль в трансграничных и региональных уровнях переноса вещества на Южном Урале. Для транспортных и депонирующих сред определены статистические параметры миграции и накопления 48 микроэлементов. Впервые для поверхностных вод природных и горнопромышленных ландшафтов с использованием каскадной ультрафильтрации установлены преимущественные формы миграции халькофильных элементов и определен баланс их поступления в промежуточные и конечные бассейны седиментации. На основе этой же лаборатории совместно с лабораторией физических методов изучения минерального сырья создана экспериментально-аналитическая база для изучения элементного состава вещества – «Южно-Уральский центр коллективного пользования по исследованию минерального сырья», имеющий аттестат аккредитации в течение двух пятилетних сроков.

Для выполнения аналитических задач большое значение имеет лаборатория **физических методов исследования минерального сырья**, оснащенная сканирующими электронными микроскопами РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой Link Oxford и VEGA3 TESCAN, трансмиссионным электронным микроскопом TESLA, рентгеноспектральным микроанализатором JEOL-733 JXA, компьютеризированным дериватографом Q-1500, дифрактометрами Shimadzu XRD-6000 с узкофо-

кальной трубкой и ДРОН-2.0, программным пакетом для количественного анализа методом Ритвельда SIROQUANT, рентгенофлуоресцентным анализатором INNOV-x-á и электронографом ЭММА-100.

В 1996 г. в Институте был создан **отдел геоинформационных технологий**. Основным направлением работ отдела является создание и развитие научной и научно-образовательной телекоммуникационной инфраструктуры в Челябинском научном центре и горнозаводской зоне Челябинской области. Отдел обеспечивает информационную поддержку проведения фундаментальных исследований в Институте минералогии и реализует ряд проектов информатизации на региональном уровне. В отделе разрабатываются корпоративные и прикладные информационные системы на базе порталных решений в сети интернет и интранет.

Результаты исследований сотрудников Института минералогии УрО РАН представлены в более чем 1000 научных публикациях, из них в 40 фундаментальных монографиях, а также в крупных статьях в международных высоко-рейтинговых журналах (Nature, Geology, Geochimica et Cosmochimica Acta, Mineralogy and Petrology, Mineralogical Magazine, Economic Geology, Ore Geology Reviews, Recourse Geology, Economic Geology Monographs). Исследования сотрудников института поддерживаются российскими и международными грантами, среди которых следует упомянуть гранты РФФИ, Президиума РАН, УрО–СО–ДВО РАН, ФЦП «Интеграция» Минобрнауки, Президента РФ, а также гранты МНФ, TACIS, GEODE, INTAS, DAAD, CODES, ЮНЕСКО–IGCP, 5^{ой} и 7^{ой} рамочных программ Евросоюза. Сотрудники Института минералогии УрО РАН участвуют в международных конференциях геологической и минералогической направленности, среди которых важнейшими являются регулярно проводимые: Международный Геологический Конгресс (IGC), конгресс Международной ассоциации геологии рудных месторождений (IAGOD), Международный конгресс по прикладной геологии (SGA), Съезд международной минералогической ассоциации (ИММА), Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM), а также в рабочих совещаниях в рамках программ IGCP (486, 502), CERCAMS-6,9.

Сотрудники Института минералогии УрО РАН активно сотрудничают с коллегами российских академических институтов, университетов и производственных организаций. В их числе ИГГ УрО РАН и УГГУ (Екатеринбург), ИГ УНЦ РАН (Уфа), ИГЕМ РАН, ИО РАН, ЦНИГРИ, ИМГРЭ, МГУ (Москва), СПбГУ, ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология, ПМГРЭ (Санкт-Петербург), ИГМ СО РАН, НГУ (Новосибирск) и др. Среди зарубежных партнеров – Музей Естественной Истории (Лондон), Фрайбергская Горная Академия (Фрайберг), Университет Тасмании (Хобарт), Геологическая служба Франции (Орлеан) и др.

Научные контакты с исследователями современных гидротермальных систем дали возможность сотрудникам Института минералогии УрО РАН принять участие в рейсах научно-исследовательских судов для изучения продуктов современной гидротермальной подводной деятельности. В. В. Масленников на НИС «Академик Келдыш» с учеными Института Океанологии РАН и И. Ю. Мелекесцева на НИС «Профессор Логачев» в сотрудничестве со специалистами ФГУНП ПМГРЭ работали на гидротермальных полях Атлантики.

Институт минералогии – учредитель геологического факультета ЮУрГУ. С момента основания геологического факультета Миасского филиала Южно-Ураль-

ского государственного университета (1998 г.) 22 сотрудника института принимают активное участие в учебном процессе в качестве лекторов и руководителей дипломных работ. Преподаватели факультета опубликовали ряд методических пособий, среди которых выделяются работы [Масленников, Зайков, 2006; Попов, 2011; Кабанова, 2008]. С 1995 г. в институте проходит международная молодежная научная школа «Металлогения древних и современных океанов».

В настоящее время один из новых объектов минералогических исследований – Челябинский метеорит. Сотрудники Института уверенно смотрят в будущее и нацелены на решение актуальных научных задач, стоящих перед учеными России.

Литература

- Анфилогов В. Н., Быков В. Н., Осипов А. А.* Силикатные расплавы. М.: Наука, 2005. 357 с.
- Аюпова Н. Р., Масленников В. В.* Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.
- Белковский А. И., Белковская Я. А.* Биотиты и вермикулиты Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 202 с.
- Белогуб Е. В., Новоселов К. А., Яковлева В. А.* Зона окисления Западно-Озерного цинково-медноколчеданного месторождения (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 182 с.
- Быков В. Н., Анфилогов В. Н., Осипов А. А.* Спектроскопия и структура силикатных расплавов и стекол. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 180 с.
- Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 2006. 429 с.
- Зайков В. В., Кораблев Г. Г., Удачин В. Н.* Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука, 1989. 129 с.
- Кабанова Л. Я.* Петрография магматических горных пород. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 152 с.
- Макагонов Е. П., Баженов А. Г., Вализер Н. И. и др.* Глубинное строение Ильменогорского миасситового массива. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. 180 с.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданосных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
- Масленников В. В., Зайков В. В.* Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 224 с.
- Масленникова С. П., Масленников В. В.* Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков». Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
- Осипов А. А., Осипова Л. М., Быков В. Н.* Спектроскопия и структура щелочноборатных стекол и расплавов. Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2009. 174 с.
- Основы георхеологии: учебное пособие / В. В. Зайков, А. М. Юминов, Е. В. Зайкова, А. Д. Таиров.* Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. 263 с.
- Попов В. А.* Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.
- Попов В. А., Попова В. И.* Минералогия Ильменских гор // Минералогический альманах. М.: Ассоциация Экост, 2006. Т. 9. 152 с.
- Попова В. И., Попов В. А., Канонеров А. А.* Мурзинка: Алабашское пегматитовое поле // Минералогический альманах: М.: Ассоциация Экост, 2002. Т. 5. 128 с.
- Синяковская И. В., Зайков В. В.* Пиррофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Гау (Башкортостан). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 154 с.
- Чесноков Б. В., Щербакоев Е. П., Нишанбаев Т. П.* Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Миасс УрО РАН, 2008. 139 с.