

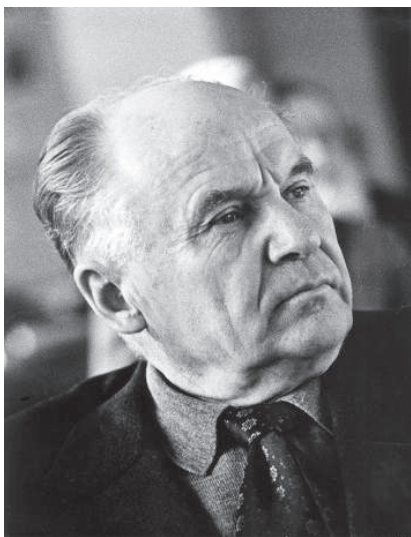


## 6.2. РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ, МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ

А.С. Борисенко, Э.Г. Дистанов, А.А. Оболенский, В.Н. Шараров, Г.С. Фегосеев

История рудного направления в Институте геологии и геофизики СО АН СССР началась в 1958 г. с переходом в институт из Западно-Сибирского филиала АН СССР члена-корреспондента АН СССР Валерия Алексеевича Кузнецова. Вместе с ним во вновь созданную лабораторию рудных формаций перешли и сотрудники возглавляемой им в филиале лаборатории геологии и минералогии рудных месторождений. В это же время из ЗСФ АН СССР в ИГиГ была переведена и лаборатория структур рудных полей, которую возглавлял Геннадий Львович Поспелов. Вскоре она была переименована в лабораторию экспериментального рудообразования. Эти две лаборатории явились основой для организации рудного отдела под руководством В.А. Кузнецова. Развитие такого направления было весьма актуальным не только для разработки фундаментальных проблем теории эндогенного рудообразования и металлогении, но и для решения целого ряда прикладных задач, связанных с развитием минерально-сырьевой базы страны, разработки принципов и методов прогноза новых месторождений. В то время все это было очень важно в связи с широким развертыванием в стране геолого-съёмочных и поисково-разведочных работ, требовавших научного сопровождения, накоплением большого объема геологических данных и необходимостью их обобщения и анализа.

Обе названные лаборатории, как и институт в целом, были укомплектованы как известными специалистами, имевшими большой опыт производственной и научной деятельности, так и молодыми талантливыми сотрудниками — выпускниками томских, московских, воронежских и других вузов страны. Это позволило создать сбалансированные в возрастном отношении научные коллективы, сочетавшие опыт ведущих специалистов с активностью и творческим научным энтузиазмом молодых сотрудников.



Академик В.А. Кузнецов

В лабораториях рудного отдела сформировались коллективы, занимавшиеся изучением разных типов месторождений: эпитермальных ртутно-сурьмяных (В.А. Кузнецов, А.А. Оболенский, В.И. Васильев, Р.В. Оболенская, А.С. Борисенко); колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых (Э.Г. Дистанов, К.Р. Ковалёв, А.А. Тычинский, К.В. Кочеткова, В.Г. Пономарёв, Л.А. Михалёва, А.И. Бусленко); редкометалльных Мо-W и Cu-Мопорфиновых (В.И. Сотников, А.П. Берзина, Е.И. Никитина, В.А. Скуридин); железорудных (В.И. Синяков, А.М. Дымкин, С.С. Лапин, В.Н. Шараров, М.П. Мазуров, И.А. Калугин); медно-никелевых (В.В. Золотухин, В.В. Рябов, Ю.Р. Васильев); золо-

торудных (И.П. Щербань, И.Н. Широких, Г.А. Боровикова и др.). Г.Л. Поспеловым была создана группа экспериментального рудообразования и разработки моделей гидротермальных рудообразующих систем (В.Н. Шарاپов, А.Л. Павлов, А.Н. Дударев, А.И. Васильева, П.И. Каушанская и др.).

Такой подход позволил охватить исследованиями обширную территорию от Урала до Тихоокеанского побережья, включающую главнейшие районы развития месторождений полезных руд в Тургае и Алтае-Саянской складчатой области, которая является основной рудной базой черной металлургии Западной Сибири; месторождений медно-никелевых руд Норильского района, медно-молибденовых руд Хакасии, Бурятии, Алтае-Саянской области, Восточного Забайкалья и Монгольской Народной Республики; колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений Салаира, Тувы, Алтае-Саянской области, Енисейского края, Забайкалья, включая зону БАМ; ртутных месторождений Алтае-Саянской области и других перспективных районов Сибири, Дальнего Востока и Монгольской Народной Республики.

В научной деятельности рудного отдела в целом обозначились два главных фундаментальных направления: 1) рудно-формационный анализ и металлогения и 2) теория эндогенного рудообразования и моделирование рудообразующих систем.

Исследования по этим, как и по другим научным направлениям, проводившимся в ИГиГ СО АН СССР, можно разделить на три этапа: 1958–1975 гг.; 1976–1990 гг.; 1991 г.–настоящее время, что определялось не только соответствующими этапами развития мировой геологической науки, лавинообразным накоплением новой геологической информации, на основе обобщения которой рождались новые идеи и теории, но и внедрением в практику геологических исследований новых аналитических методов и аппаратуры для изучения геологических объектов.

**С начальным этапом (1958–1975)** связана постановка исследований в области теории эндогенного образования, металлогении и разработки теоретических основ рудно-формационного анализа рудных месторождений. Особое место в развитии металлогенических исследований, прежде всего применительно к вопросам прогнозирования, занимало учение о рудных формациях и формационный анализ рудных месторождений. Учение о рудных формациях развивалось первоначально на основе представлений о парагенезисах рудных минералов. Основополагающими при этом были труды В.А. Обручева, М.А. Усова, С.С. Смирнова, А.Г. Бетехтина, Ю.А. Билибина, В.И. Смирнова, И.Г. Магакьяна, Е.Е. Захарова, В.А. Кузнецова. Важное значение имели работы О.Д. Левицкого, Е.А. Радкевич, Н.А. Хрущёва, Г.А. Соколова, Н.В. Петровской, Д.И. Горжевского, Г.А. Твалчрелидзе, Р.М. Константинова, А.Д. Щеголова, Д.В. Рундквиста.

Выделение рудных формаций как естественных ассоциаций или групп месторождений со сходным минеральным составом и близкими геологическими условиями образования давало возможность дифференцированно подходить к прогнозированию и оценке отдельных видов минерального сырья. В теории рудообразования рудно-формационный анализ позволял типизировать сложные процессы формирования рудных месторождений и перейти к модельным построениям образования их главных промышленно-генетических типов и к созданию рациональных генетических и металлогенических классификаций и систематик.

Учение о рудных формациях явилось частью учения о геологических формациях вообще и дальнейшим этапом типизации и обобщения в учении



о рудных месторождениях и металлогении. Рудные формации, по существу, являются составной частью геологических формаций, представляющих, в понимании Н.С. Шатского, Н.П. Хераскова и других исследователей, естественные ассоциации горных пород и сопутствующих им минеральных образований. Основной предмет учения о рудных формациях — группы однотипных месторождений, закономерно формирующихся в определенных физико-химических условиях и геологической обстановке. Это определяет генетическую сущность рудных формаций, образующихся в результате проявления в природе повторяющихся магматических, тектонических и других процессов, имеющих непосредственное влияние на образование рудных месторождений. При выделении рудных формаций учитываются наиболее характерные общие черты данной группы месторождений, отражающие основные закономерности процесса и условий образования для данного формационного типа.

Выявление этих особенностей, которые позволяют определить самостоятельность и границы рудных формаций, а также обеспечивают полноту выделения и условия их прогноза — основная задача рудно-формационного анализа. Методы рудно-формационного анализа, с учетом специфики отдельных групп месторождений, постоянно совершенствовались и развивались (Кузнецов и др., 1972; Константинов, 1973; Щеглов, 1976, 1980; Критерии..., 1978). Такой подход к рудно-формационному анализу и выделению рудных формаций, развиваемый новосибирской школой рудников под руководством В.А. Кузнецова, был близок в то время школам ИГЕМа и МГУ и в целом разделялся многими исследователями рудных месторождений.

Существовали и другие подходы к определению рудной формации, включающие, в частности, в это понятие совокупность месторождений, генетически или парагенетически связанных с определенной магматической или геологической формацией. Они развивались В.С. Кормилицыным (1973), П.А. Строной (1978), В.Г. Ли, А.К. Каюповым и др. (Металлогения Казахстана, 1978) и другими исследователями. В этом случае рудной формации давалось более высокое ранговое толкование в металлогенической систематике рудных месторождений, что в понимании В.А. Кузнецова и его коллектива соответствовало генетическому ряду рудных формаций. Критическому рассмотрению этого классификационного и терминологического вопроса посвящены специальные работы (Кузнецов и др., 1972; Кигаи, 1975; Критерии..., 1978; Щеглов, 1980). Активно дискутировался вопрос о важности генетических или тем более физико-химических критериев выделения рудной формации, что было логично, но трудно осуществимо из-за слабой проработки многих вопросов генезиса целого ряда типов рудных месторождений и существования слабо обоснованных в физико-химическом отношении моделей их формирования. Но, пожалуй, наиболее острые споры были по систематике и соответствующему названию конкретных рудных формаций. Предлагались разные подходы: выделять и называть их по геохимическим или минералогическим особенностям руд, составу околорудных метасоматитов, уровню глубинности их формирования, количеству сульфидов в рудах, по имени эталонных объектов и т. д. Непримириемость позиций разных исследователей по этому вопросу нашла свое отражение в разнообразии существующих и ныне наименований формационных типов рудных месторождений.

Большое значение для металлогенического анализа и систематики месторождений имело изучение закономерных сочетаний, или парагенезисов, рудных формаций, рациональное их объединение в комплексы, генетичес-

кие ряды и серии. Для школы В.А. Кузнецова важнейшим этапом стала разработка понятий о *рядах рудных формаций*. Представление о рядах рудных формаций или рудных комплексах является основой регионального металлогенического анализа. *Рудные комплексы* — это группы эндогенных рудных формаций, образование которых связано с определенными магматическими комплексами (конкретными магматическими формациями). Установление генетического родства рудных формаций с магматическими комплексами и взаимосвязей между рудными формациями — членами единого генетического ряда — весьма важно как для решения вопросов генезиса месторождений, так и для целей регионального металлогенического анализа на новых слабо изученных площадях и в пределах известных рудных районов. Было установлено, что именно наборы рудных формаций, связанных с определенными магматическими комплексами, т. е. генетические ряды рудных формаций, определяют металлогенический тип той или иной рудной провинции или рудного района.

Опираясь на имеющиеся тогда представления о типах магм и магматических формациях, а также на данные о полигенности рудообразующих растворов, различных источниках рудного вещества в эндогенных месторождениях, генетические (или парагенетические) ряды рудных формаций (рудные комплексы) были объединены в генетические серии по их связи с определенными типами магм и различными источниками рудного вещества. В.А. Кузнецовым и др. (1972) были выделены следующие *генетические серии рудных формаций*:

- 1) серия рудных формаций, связанных с ультраосновными мантийными магмами;
- 2) серия рудных формаций, связанных с основными базальтоидными подкоровыми магмами;
- 3) серия рудных формаций, связанных с внутрикоровыми гранитоидными, существенно палингенными магмами;
- 4) серия рудных формаций, связанных с мантийно-коровыми смешанными магмами;
- 5) серия рудных формаций, связанных с немагматическими источниками.

Детальные исследования показали, что *ряды рудных формаций* возникают не беспорядочно, а закономерно, в определенной тектонической обстановке, на том или ином этапе развития геологических структур. В.А. Кузнецов (1972) разработал на тектонической геосинклинальной основе систематику рядов рудных формаций, в которой выделил *группы рядов рудных формаций* по основным этапам развития складчатых областей:

- 1) группа рудных формаций, связанных с магматическими формациями ранних (собственно геосинклинальных) стадий развития складчатых областей;
- 2) группа рудных формаций средних стадий развития геосинклинальных областей, т. е. стадий дифференциации и инверсии, сопровождающихся гранитоидными интрузиями батолитового типа, производными внутрикоровых магм;
- 3) группа рудных формаций поздних стадий развития, т. е. орогенных этапов;
- 4) группа рудных формаций, связанных с магматическими формациями платформенных областей;
- 5) группа рудных формаций, характерных для областей тектоно-магматической активизации древних платформ и складчатых областей.



Позже эти классификации с появлением новых тектонических парадигм были существенно переработаны, но сам эволюционный подход — выделение индикаторных формаций, присущих последовательным стадиям эволюции складчатых областей, сохранил свое значение.

Изучение проблем рудно-формационного анализа являлось общим научным направлением для двух лабораторий рудного отдела, в то же время каждая из них имела свою специализацию. Исследования лаборатории рудных формаций, возглавляемой В.А. Кузнецовым, были направлены на всестороннее изучение широкого круга рудных месторождений (Cu-Mo-порфировых, редкометалльных Mo-W, колчеданно-полиметаллических, свинцово-цинковых, ртутных, сурьмяных и Ni-Co-As) и металлогении основных рудных районов Сибири. Для выполнения таких исследований В.А. Кузнецов сформировал коллектив специалистов, обеспечивших разные направления изучения рудных месторождений. В лаборатории сложилась сильная группа минералогов-рудников: В.И. Васильев, Е.И. Никитина, К.В. Кочеткова, К.Р. Ковалёв и другие, внесшие большой вклад в изучение вещественного состава руд указанных типов месторождений. Освоение новых методов анализа пород и руд позволило детально изучить минералогию ртутных месторождений, выявить ряд новых ртутных минералов. Для изучения состава минералов впервые (с 1963 г.) был применен микрорентгеноспектральный анализ (В.И. Васильев), что вывело минералогические исследования на совершенно новый уровень.

Еще одна группа (И.П. Щербань, И.Н. Широких, Г.А. Боровикова, А.П. Берзина, А.С. Борисенко) проводила изучение процессов околорудного метасоматоза и их роли в формировании ртутных, золоторудных, полиметаллических и других типов месторождений. Ее главной задачей было выяснение связей околорудных метасоматитов с оруденением и использование их в качестве поискового критерия на тот или иной тип оруденения. Наиболее интересные результаты получены по рудоносности аргиллизитов, листовенитов, березитов, калишпатизированных пород и других метасоматитов, позволившие выделить дорудные, предрудные и синрудные их фации.

Важным направлением в работе лаборатории было изучение связей магматизма и оруденения. Этими проблемами активно занимались А.А. Оболенский, В.И. Сотников, Э.Г. Дистанов, Р.В. Оболенская, Л.А. Михалёва, В.А. Скуридин. Основными результатами этих исследований явились: обоснование пространственно-временных и генетических связей ртутного оруденения с щелочно-базитовым магматизмом, что позже получило свое подтверждение изотопно-геохимическими (He, Pb, S и др.) и геохронологическими (Ar-Ar-метод) данными (Оболенская, 1971; Оболенский, 1986; Борисенко и др., 2006); выяснение специфики магматизма Cu-Mo рудных узлов и установление роли порфировых интрузий в их формировании (Сотников и др., 1977).

Для решения генетических вопросов были развернуты геохимические (особенно по геохимии ртути), изотопно-геохимические (Pb, S) и термобаро-геохимические исследования. Результаты изучения геохимии ртути, наряду с другими геологическими данными, позволили А.А. Оболенскому и Н.А. Озеровой (ИГЕМ) обосновать положение о мантийной природе этого элемента для ртутных месторождений. Весьма интересными и перспективными были работы А.А. Оболенского и Е.Ф. Доильницына по фракционированию изотопов Hg в природных процессах, что в то время категорически отрицалось специалистами. И лишь в настоящее время, при появлении высокоразрешающих масс-спектрометров, это явление подтверждено более надежно.



Обсуждение проблем генезиса ртутных месторождений у костра, 1966 г. Слева направо: А.А. Оболенский, Р.В. Оболенская, В.А. Кузнецов, В.И. Васильев

Термобарогеохимические исследования в лаборатории проводились при активной поддержке и научном руководстве Ю.А. Долгова. Эти работы, выполнявшиеся А.С. Борисенко, А.А. Проскуряковым, А.П. Берзиной, позволили получить новые данные о физико-химических параметрах формирования сурьмяно-ртутных и Cu-Mo-порфировых месторождений. В связи с необходимостью дальнейшего совершенствования термобарогеохимических методов А.С. Борисенко в 1971–1977 гг. были разработаны основы использования метода криометрии для изучения преобладающих солевых компонентов в растворах флюидных включений в минералах, что существенно расширило возможности этого метода и позволило получить новую информацию о составе и концентрациях рудообразующих растворов.

Особое место в деятельности лаборатории занимали металлогенетические исследования, в том числе и типов рудных месторождений (Hg, Cu-Mo, Pb-Zn, Au, Ag), что было актуально для разработки научных основ развития минерально-сырьевой базы страны. Наиболее детальные работы проводились по металлогении ртути, считавшейся в те времена продолжавшейся «холодной войны» стратегическим металлом. В 1973 г. на основе обобщения большого фактического материала В.А. Кузнецовым был выделен и охарактери-



зован трансконтинентальный Центрально-Азиатский (Тяньшаньско-Южно-сибирский) ртутный пояс, наряду с известными к тому времени глобальными Тихоокеанским и Среднеземноморским поясами. Выделение этого пояса стало результатом представления о широком проявлении в орогенных областях юга Сибири, Тянь-Шаня, Монголии и Забайкалья явлений автономной тектоно-магматической активизации, связанной с мезозойским внутриплитным рифтогенезом. В.А. Кузнецов — один из авторов и редакторов монографии «Металлогения ртути» (1976), в которой обобщен первый опыт глобального анализа металлогении ртути. В монографии рассмотрены такие дискуссионные проблемы, как отношение ртутного оруденения к магматизму, источники рудного вещества, условия миграции и отложения ртути в процессе рудообразования; показаны главнейшие закономерности размещения и даны типизация и систематическое описание важнейших ртутных провинций и месторождений мира. В 1977 г. монография переведена на английский язык и издана в США.

Выявленные закономерности размещения ртутного оруденения в Центрально-Азиатском поясе позволили В.А. Кузнецову обосновать прогноз на выявление ртутных руд в Монголии на продолжении Кузнецко-Алтайского и Монголо-Охотского региональных ртутных поясов. Первые прогнозно-металлогенические исследования на ртуть, медь и молибден, а затем и золото в Монголии были начаты в 1970–1971 гг. в составе Советско-Монгольской геологической экспедиции АН СССР и АН МНР. Их результатом стало выявление в этом регионе первых месторождений ртути, установление основных закономерностей размещения ртутного оруденения в структурах Монголии, выделение ртутных поясов и зон. Важное значение для Монголии имела постановка прогнозно-металлогенических исследований на медь и молибден под руководством В.И. Сотникова. Начатая в 70-е годы им и его группой (А.П. Берзина, В.А. Скуридин, А.А. Проскуряков и монгольские коллеги) ревизия более 300 проявлений меди и молибдена позволила позже отнести часть из них к перспективному промышленному Cu-Mo-порфирировому типу. К нему же было отнесено и небольшое рудопроявление Оют-Тологой, разведка которого одной из канадских компаний в 2000–2005 гг. позволила перевести его в разряд крупных Cu-Mo(Au)-порфирировых месторождений, сопоставимых по масштабу с Эрденетуин-Обо.

В это же время на территории Сибири развернулось активное изучение основных рудных районов с колчеданно-полиметаллическими месторождениями под руководством Э.Г. Дистанова. Основными районами работ являлись Забайкалье, Салаир, Рудный Алтай, Восточная Тува. На примере Озернинского рудного узла Еравнинского района Западного Забайкалья впервые в Сибири была дана детальная характеристика процессов вулканогенно-осадочного рудогенеза и выпущен атлас текстур и структур гидротермально-осадочных руд Озернинского месторождения (Дистанов, Ковалёв, 1975).

Изучение физической природы и эволюции рудообразующих процессов наиболее активно развивалось в лаборатории структур рудных полей (1958–1962 гг.), позднее переименованной в лабораторию экспериментального рудообразования (1962–1975 гг.), под руководством Г.Л. Поспелова, который сконцентрировал исследования на фундаментальных проблемах физики и физико-химии магматических и рудообразующих процессов. При этом Г.Л. Поспелов сформировал оригинальное направление томской геологической школы, которая не была похожа на другие геологические школы, существовавшие в то время в Сибирском отделении АН СССР. В первую очередь им

была выстроена методология исследований. Она в целом осталась неизменной все последующие десятилетия, в ней лишь несколько поменялись акценты и объемы реализации отдельных элементов. Суть ее такова: 1) максимально детальные комплексные структурно-геологические, петрографические и минералогические исследования на типовых месторождениях, магматических телах и т. п.; 2) построение на базе полученной информации структурно-динамических (геолого-генетических) моделей отдельных явлений или системы в целом; 3) экспериментальное воспроизведение важнейших фрагментов реставрируемых эндогенных процессов, создание геолого-физической или физико-химической (в последние 20 лет также математической) модели явления и численное моделирование динамики развития системы; 4) «полевая» проверка результатов теоретических построений и корректировка теории. В указанный период лаборатория структур рудных полей специализировалась на изучении железорудных месторождений.



Профессор  
Г.Л. Поспелов

Предметное применение основ этой методологии в изучении эндогенных процессов и развитие методик получения информации Г.Л. Поспелову при помощи сотрудников и учеников удалось реализовать в два этапа. Первый из них (1958–1963 гг.) заключался в осмысливании огромного фактического объема структурно-вещественных данных изучения рудоносного магматизма и пространственного размещения в контактовых зонах интрузивов железорудных месторождений Алтае-Саяна. Это позволило выявить рудоконтролирующую роль карбонатных пород (Поспелов, 1954), создать принципы построения прогнозно-металлогенических карт на железные руды (Поспелов, 1958), установить морфогенетическую зональность интрузивов (Поспелов, 1960) и соотнести их с механизмом деформаций реальных твердых тел (Поспелов, 1957). Было установлено, что формирование рудных скоплений сопровождается широким образованием эффузивоподобных пород, которое связано с магматическим замещением (Поспелов, 1960). Поэтому в лаборатории до конца 80-х годов детальным структурно-вещественным изучением рудных месторождений и их рудных полей занимались как заведующий лабораторией, так и большинство высококвалифицированных со-



Чл.-кор. РАН  
А.М. Дымкин

сотрудников, воспитавших из своих учеников следующие поколения геологов-рудников и петрологов: Г.Л. Поспелов — А.И. Васильева, А.С. Лапухов, А.Л. Павлов, С.С. Лапин, В.Н. Шарапов, В.Н. Ефремов; А.М. Дымкин — И.А. Калугин, М.П. Мазуров, Г.А. Третьяков. Эту традицию продолжили В.Н. Шарапов, И.А. Калугин и М.П. Мазуров, что сохранило преемственность исследований.

Создание основ физических концепций возникновения и развития магматических явлений и сопряженных с ними процессов накопления рудных компонентов потребовало формулировки общих видов переноса тепла и массы в мантии и земной коре. Известные к тому времени работы по структуре солнечной короны позволили





Лидеры железорудного направления.  
Слева направо: И.А. Калугин, М.П. Мазуров (ИГМ СО РАН),  
Э.Г. Кассандров (СНИИГГиМС)

Г.Л. Поспелову достаточно корректно угадать главные элементы, регулирующие потоки массы и энергии в гетерофазных открытых планетарных системах земного типа, имеющих возмущения на нижней границе и квазистационарную верхнюю границу, где происходит диссипация энергии (Поспелов, 1959). Насыщение этой схемы «геологическими предпосылками» привело к модели строения и развития гидротермальных рудообразующих систем (Поспелов, 1962–1963). Именно эта серия публикаций стала фундаментом для теоретических разработок учеников и последователей Г.Л. Поспелова как в последующие годы работы лаборатории под его руководством, так и в деятельности ее сотрудников до настоящего времени. В термодинамическом смысле они сводятся к структурно-вещественному анализу динамики открытых эндогенных систем.

Второй этап создания методологии и методических приемов построения динамических моделей магматических и рудообразующих систем собственно и состоял в предметном утверждении и развертывании всех обозначенных выше элементов таких исследований в рамках системного анализа. Самым существенным было то, что появилось понятие «структурно-динамическая система», которое отвечало таковому в термодинамике открытых систем. Это облегчило развертывание, наряду с классическими методами полевых работ, в преобразованной под новые задачи лаборатории экспериментального рудообразования (1962) совершенно новых в геологии экспериментальных исследований. Продолжали изучаться петрофизика пород и руд (А.Н. Дударев), диэлектрическая проницаемость минералов, был создан гидромагнитнофугальный анализатор, исследовалась магнитная восприимчивость магнетитовых руд (С.С. Лапин, П.П. Орлов). Кроме того, была организована экспериментальная группа (П.И. Каушанская, К.Н. Зенков, Б.А. Галкин) для изучения процессов взаимодействия компонентов при встречной диффузии и «диспергентного метасоматоза». Далее этими исследованиями занимались также А.Л. Павлов, А.И. Васильева и А.С. Лапухов. Вскоре работы этого направления дали неожиданные результаты, которые

были обобщены в ряде публикаций Г.Л. Поспелова и др.: «Стадии и типы бестрещинного жилообразования» (1962), «Деформации горных пород, вызванные развитием в них кристаллов» (1965), «Динамическая кристаллизация недосыщенных растворов на фазовой границе» (1971). Эти успехи обеспечивались тем, что Г.Л. Поспелов оперативно осваивал и использовал наиболее актуальные разработки отечественных физиков и химиков того времени, которые могли пролить свет на изучавшиеся им явления. В основе разработанных им структурных форм метасоматических процессов (1963–1973) лежал синтез наблюдений реальных продуктов преобразования магматогенными флюидами горных пород, результатов проводимых в лаборатории экспериментов (1963–1971) и теоретических разработок научных школ. Личные контакты со многими, включая физиков, позволяли обсуждать с ними результаты работ его экспериментальной группы и быстро учитывать критику и предложения этих специалистов.

Еще одна крупная проблема, которую сформулировал Г.Л. Поспелов (1967), — это геологическое подобие нефтяных и рудных флюидогенных месторождений. Если Э.Б. Чекалюк (1965) рассмотрел данную проблему как термодинамическую задачу, то в работе Г.Л. Поспелова обсуждались структурные предпосылки этого сходства.

Успех продвижения работы любой научной школы определяется при прочих равных условиях научным ростом молодых кадров, поэтому особой заботой Г.Л. Поспелова были ученики. При задании для них направления исследований поощрялась инициатива в подборе и освоении новых возможностей углубления исследований. Так, А.А. Павлов очень быстро освоил физико-химические приложения равновесной термодинамики как для анализа природных гетерофазных взаимодействий (Павлов, 1964, 1965; Павлов, Поспелов, 1971; Павлов, Кинэ, 1971), так и в экспериментальных исследованиях формирования осадков при встречной диффузии (Павлов, Васильева, 1971). Что было главным для молодых специалистов в этой атмосфере «фонтана идей», споров и раскованности? Удивительная способность «шефа» радоваться чужим находкам и снисходительность к наивности первых самостоятельных поисков. Не было случая, чтобы он «примазался» к чужим идеям. Кроме того, Г.Л. Поспелов был чрезвычайно щепетилен в соавторстве. Он написал только одну монографию, но какую! Уже после смерти автора она была выдвинута на Государственную премию, которая так и не была присуждена, в том числе из-за названия «Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза» (Новосибирск: Наука. Сиб отд-ние, 1973. 356 с.). М.В. Келдыш выразился по этому поводу примерно так: за парадоксы премии не присуждаются. Но сама книга цитируется до сих пор. В этом и заключается «весь Поспелов».

Наряду с несомненной оригинальностью проведенных исследований и полученных результатов, многие модели Г.Л. Поспелова не получили широкого признания и развития (эффузивоподобные метасоматиты, «диспергентный метасоматоз», бестрещинное жилообразование). Вероятно, эти взгляды отражали всеобщую увлеченность метасоматозом в то время.

Если интересы работ группы Г.Л. Поспелова были сосредоточены на задаче возникновения и развития структурных форм метасоматических процессов, то группой С.С. Лапина рассматривались проблемы развития форм структурной и минералогической зональности руд и околорудных пород (Лапин, 1964, 1971, 1973; Лапин, Шарапов, 1961–1968). Они удачно дополнялись



исследованиями А.Н. Дударева теплофизических и иных характеристик пород и руд (Дударев, Михалёва, 1971; Дударев, Сотников, 1971; Дударев, Скуридин, 1972; Дударев, Тычинский, 1972; Дударев и др., 1972). Разработки А.Н. Дударева не нашли достаточного применения и развития и остались малозамеченными.

Количественные реализации динамической схемы Г.Л. Поспелова (1959) развития очагов зарождения магм, зон транзита вещества и энергии, а также областей их «сброса» в форме развития интрузий и вулканизма с рассеиванием тепловой энергии и эмиссии газов могли быть осуществлены лишь на основе соответствующей задачи математической физики. Наиболее близким формальным аналогом является задача перемещения фронта кристаллизации в воде и плавления льда (задача Стефана). Ее применение для петрологических приложений предложил известный теплофизик Дж. Джейгер (Jaeger, 1957–1964), что определило выбор модели для анализа динамики магматических процессов. В СССР безусловным лидером приложений задачи Стефана в геомеханике мерзлых пород была кафедра мерзлотоведения МГУ. Совместно с В.А. Кудрявцевым, руководившим этими работами, и В.Г. Меламедом, создавшим эффективные алгоритмы решения ее многофронтной модификации, удалось для одномерного приближения усилиями ряда неформальных научных групп получить неординарные для того времени результаты описания динамики развития литосферных магматических очагов, зонального регионального и контактового метаморфизма с учетом их схем фаций (Соболев и др., 1964–1970). Они опубликованы во многих статьях и доложены на международных симпозиумах (Кудрявцев и др., 1967–1970; Велинский и др., 1969; Добрецов и др., 1970; Reverdatto et al., 1970, 1972; Меламед и др., 1971). В развитие упомянутых работ Джейгера задача Стефана была модифицирована для случаев кристаллизации котектических расплавов и квазиэвтектик, равновесно насыщающихся водой в процессе кристаллизации (Меламед, Шарапов, 1971). Часть этих результатов обобщена в коллективной монографии «Теплообмен в магматогенных процессах» (1972).

Генетические толкования контактовых (плутоногенных) месторождений геологами томской школы (М.А. Усов, Ф.Н. Шахов) отличались от трактовок широко дискутировавшейся с середины 50-х годов прошлого столетия концепции Д.С. Коржинского (1950–1957). Получаемая в лаборатории Г.Л. Поспелова при детальном изучении железорудных месторождений юга Сибири информация лишь частично согласовывалась с постулатами схем Коржинского для случаев формирования зональности известковых и магнезиальных скарнов; практически полностью из них выпадало формирование магнетитовых руд. Результаты экспериментальных работ группы Г.Л. Поспелова свидетельствовали о существенной роли кинетики в гетерофазных взаимодействиях флюид–порода. Следовательно, возникала необходимость учета термодинамической неравновесности метасоматических процессов. С 1966 г. эти вопросы начали обсуждаться, а потом и совместно исследоваться с В.С. Голубевым на основании экспериментального изучения кинетики скарнообразования (Калинин, 1968; Шарапов и др., 1970, 1971, 1973; Калинин и др., 1971). Теоретический анализ проблемы с учетом требований теории подобия показал (Голубев, Шарапов, 1971), что формальное изложение равновесной модели инфильтрационного метасоматоза в общей постановке задачи (Коржинский, 1957) является неполным как для изотермического, так и неизотермического случая. При этом принцип локального равновесия Гибб-

са никак не был вписан в граничные условия решения задачи, поскольку в ней отсутствует аналитическое уравнение равновесия между твердой и флюидной фазами. Изложенный в упомянутой работе подход правомерен только для случая высококонцентрированных по петрогенным компонентам газовых смесей или гидротермальных растворов при их низком содержании в породе. Для природных систем такая ситуация, по-видимому, может быть характерна только для случая солевых растворов–расплавов. Исходя из закона действующих масс, В.С. Голубев предложил изящный корректный метод решения задачи фильтрационного метасоматоза в равновесном приближении. Независимо через 20 лет он был реализован в работе (Карпов и др., 1994) при построении модификации проточного многорезервуарного реактора в ПК Селектор-С.

В конце 60-х годов прошлого века центральной проблемой генезиса плутоногенных месторождений являлась задача выяснения природы гомодромной (прямой) зональности распределения в контактовых ореолах интрузивов минеральных типов месторождений. Встречавшиеся в отечественной литературе качественные толкования этого процесса отличались пестротой и противоречивостью. Появление более адекватной модели охлаждения интрузивов потребовало полного параметрического пересмотра представлений Г. Шнейдерхена (1934). Решение В.С. Голубевым (1968) задачи неизотермического инфльтрационного метасоматоза и цитированные выше решения многофронтной задачи Стефана позволили предложить ее толкование с точки зрения преобладающей роли конвективного прогрева экзоконтактовых зон предрудных интрузивов. Эти разработки использованы в серии работ В.Н. Шарапова (Шарапов, 1971; Шарапов и др., 1972) как в случае скарных (Шарапов, 1973), так и жильных месторождений (Павлов, Шарапов, 1972; Шарапов, Голубев, 1973).

В лаборатории экспериментального моделирования работы по физико-химическому анализу процессов рудообразования стояли в ряду наиболее интересных и разносторонних публикаций для рудных элементов ртутных, железорудных, благороднометалльных, полиметаллических и редкометалльных месторождений. Основная их часть была проведена А.Л. Павловым (1964–1973) на основе расчета равновесных уравнений полей устойчивости соединений в водных растворах и твердой фазе, в обобщенной форме представляемых в виде предложенных Пурбэ и Гаррелсом диаграмм Eh–pH.

Весь перечисленный цикл исследований, кроме упомянутых монографических работ, сконцентрирован в серии специализированных сборников статей: «Физико-химическая динамика процессов магматизма и рудообразования» (1971), «Физика и физико-химия рудообразующих процессов» (1971), «Физические и физико-химические процессы в динамических рудообразующих системах» (1971), «Физическое и физико-химическое моделирование рудообразующих систем» (1973).

Необходимо отметить, что в этот период большой объем исследований петрологии, минералогии и генезиса железорудных месторождений осуществлялся под руководством А.М. Дымкина в геологическом музее. Они касались проблем связи вулканоплутонического магматизма и железоруднения, определения физико-химических параметров метасоматических процессов в разных структурно-геологических обстановках и геологических формациях. В целом работы были сопряжены с решением главных вопросов рудно-формационного анализа, которые поднимались в лаборатории



В.А. Кузнецова. В монографии А.М. Дымкина, М.П. Мазурова, С.М. Николаева «Петрология и особенности формирования магнетитовых месторождений Ирбинского рудного поля (Восточный Саян)» (1975) впервые доказывалась многоэтапность скарново-рудных процессов в узлах длительной тектономагматической активности, устанавливались метаморфизм и регенерация скарново-магнетитовых руд в контактах послерудных плутонов. Дискутируемая в это время проблема роли сингенетических вулканогенно-осадочных рудных скоплений в качестве источника рудного вещества эпигенетических скарново-рудных залежей подробно рассматривалась на ряде типовых объектов; были намечены критерии их отличия, важные для поисковой практики. В монографиях В.И. Синякова и его докторской диссертации «Формационные типы железорудных месторождений Тельбесского рудного пояса (Горная Шория)» (1974) обосновано выделение самостоятельной магнезиально-скарновой магнетитовой формации и показана ее специфика относительно остальных рудных формаций скарновой группы и вулканогенно-осадочной железорудной формации.

Первый этап в развитии рудного направления в институте явился, по сути дела, периодом его становления, выбора приоритетных научных проблем и путей их решения, формирования организационной и кадровой структуры рудного отдела. Были созданы две активно работающие лаборатории, которые после целого ряда последующих преобразований продуктивно работают и в настоящее время. Были заложены основы двух научных школ В.А. Кузнецова и Г.Л. Поспелова, которые объединяло одно общее научное направление — рудные формации, металлогения и моделирование рудообразующих систем. Это можно считать главным и важным результатом начального этапа, несмотря на то что не все поставленные задачи удалось решить и не вся выбранная научная тематика исследований оказалась перспективной и получила развитие в будущем.

**Этап 1976–1990 гг.** Более ранние исследования наглядно показали, что дальнейшее развитие рудно-формационного направления и принципов металлогенического анализа невозможно без углубленного изучения процессов рудообразования и разработки генетических моделей основных формационных типов рудных месторождений и рудообразующих систем. В то время недостаточно ясными являлись представления об источниках рудообразующих растворов и рудного вещества, о составе и свойствах рудообразующих растворов, формах переноса и условиях отложения рудного вещества. Важнейшей задачей было воссоздание физико-химических условий формирования рудных месторождений на основе изучения основных параметров природных процессов рудообразования, к которым относятся температура, давление, состав и концентрация рудообразующих растворов, кислотность–щелочность, окислительно-восстановительный потенциал и др. Поэтому с середины 70-х годов в исследованиях рудного отдела была сформулирована новая задача — разработка генетических моделей рудных формаций, а проблемы рудообразования стали основными в планах НИР лабораторий рудного профиля.

В этот период в рудном отделе ИГиГ СО АН СССР исследования были сориентированы в основном по трем направлениям:

- рудно-формационный анализ и разработка генетических моделей рудных формаций;
- термодинамическое и экспериментальное моделирование процессов рудообразования и исследование динамики эндогенных систем;

– металлогения основных рудных районов Сибири и Монголии.

Перспективы дальнейшего развития рудно-формационного направления связывались с разработкой генетических моделей рудных формаций. Создание таких моделей рассматривалось как последующий естественный этап углубления теоретических построений после проведения классификации рудных месторождений. Этап создания моделей является главным для определения причинной обусловленности и сущности эндогенных процессов: их энергетики, источников металлов и флюидов, динамики, латеральной, вертикальной и временной эволюции рудообразующих систем, оптимальных условий концентрированного рудоотложения и выработки на этой основе научно обоснованных прогнозных и поисковых критериев. Общие принципы построения геолого-генетических моделей эндогенных рудных формаций, их место в познании и прогнозировании рудных месторождений были детально рассмотрены на трех всесоюзных совещаниях по этой проблеме, проведенных в Новосибирске в Институте геологии и геофизики СО АН СССР под руководством В.А. Кузнецова: «Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования» (1977) и I и II совещаниях «Генетические модели рудных формаций» (1983, 1985). Совещания сыграли исключительно важную роль в консолидации в СССР исследований геологов-рудников по означенной проблеме. Активное участие в них приняли коллективы различных геологических институтов АН СССР, Мингео СССР и производственных геологических организаций. Важным моментом в координации этих исследований стало создание рабочих групп по разработке генетических моделей конкретных формационных типов рудных месторождений, руководителями которых являлись сотрудники ИГиГ СО АН СССР: В.И. Сотников (Cu-Mo-порфировые), А.А. Оболенский (ртутная рудная и эпитермальная флюоритовая), Э.Г. Дистанов (колчеданно-полиметаллические), А.М. Дымкин, В.Н. Шарапов, М.П. Мазуров, И.А. Калугин (железорудные), А.С. Борисенко и В.И. Лебедев (серебро-сурьмяная и Ni-Co-арсенидная), Г.Р. Колонин (редкометалльные-грейзеновые – Mo-W и Sn-W) и др. В этот период институт занимал явно лидирующую позицию как в исследованиях по указанному научному направлению, так и в организационном и научно-методическом их обеспечении.

Заметным результатом работ второго этапа явилась разработка основных принципов создания генетических моделей рудных формаций и их рудообразующих систем, которые были сформулированы в серии публикаций В.А. Кузнецова и ведущих специалистов – Э.Г. Дистанова, А.А. Оболенского, В.И. Сотникова, В.Н. Шарапова, А.М. Дымкина и др. Было показано, что генетическая модель рудной формации представляет совокупность ее элементов, учитывающих сумму ограниченного числа параметров, характеризующих геолого-генетические особенности рудообразующей системы в целом или ее составных частей. Сама интегральная модель является образным выражением динамической рудообразующей системы рудной формации с учетом ее пространственно-временной эволюции. Динамическая рудообразующая система охватывает всю совокупность эндогенных процессов, приводящих к формированию месторождений и рудопроявлений той или иной формации в пределах рудного узла и проявляющихся на различных глубинных уровнях: от корневых областей зарождения до верхних зон концентрированного рудоотложения и рассеяния рудных компонентов.

Интегральная геолого-генетическая модель органически объединяет три главные области динамической рудообразующей системы (по Г.Л. По-



Рудно-металлогеническое трио рудного отдела ИГМ СО РАН.  
Слева направо: В.И. Сотников, Э.Г. Дистанов, А.А. Оболенский

спелову): корневую область магмо- и флюидозарождения, в которой генерируются эндогенные процессы, в конечном итоге определяющие энергетическое состояние и флюидный режим всей рудообразующей системы; зону транспорта (тепло- и массопереноса); область концентрированного рудоотложения и формирования ореолов рассеяния (рудное поле, месторождения, рудопроявления). Соотношение и взаимосвязь этих главных областей в пространстве и времени создают структуру конкретных динамических рудообразующих систем, характерных для определенных эндогенных режимов формирования рудных формаций. Эти же факторы определяют общий вертикальный и латеральный размах рудообразующей системы в структурах земной коры, ее масштабы и параметры. При этом в верхней своей части (области рудоотложения) рудообразующая система, как правило, вещественно реализуется в виде суммы рудных проявлений (месторождения, рудопроявления, пункты минерализации и т. д.), геологически обычно выделяемых в качестве рудных полей и рудных узлов.

Каждая из выделенных областей характеризуется своими специфическими параметрами и набором элементов модели, которые предопределяют генетическую сущность динамической рудообразующей системы на данном глубинном уровне. Для корневой области системы — это источники энергии, рудообразующих веществ и флюида (мантийные, коровые, смешанные); уровни магмогенерации и условия формирования магматических расплавов, потенциальная рудоносность магм; соотношение мантийной и коровой составляющих вещества и энергии; рудогенерирующая роль метаморфизма и др. (наиболее информативны генетические и специальные изотопные методы, экспериментальные и расчетные данные и т. д.).

Зона транспорта может быть охарактеризована элементами модели, рассматривающими формы тепло- и массопереноса, гидродинамический режим

в недрах, особенности развития глубинных дренирующих структур и другие вопросы (преобладающая информация — данные физического и физико-химического эксперимента, термодинамический анализ, геолого-структурный анализ глубинного строения рудного поля и т. д.). Однако зона транспорта в чистом виде не реализуется и сопровождается взаимодействием с окружающей средой. С этим связаны трудности выделения «корневой области».

Для области рудоотложения наиболее важными элементами модели являются типы геохимических барьеров, анализ физико-химического состояния системы, состав и свойства рудообразующих флюидов и растворов, формы переноса компонентов руд, величины градиентов физико-химических параметров, пределы устойчивости парагенетических минеральных ассоциаций, условия развития окolorудного метасоматоза и формирования первичных геохимических ореолов рассеяния. (Информативны термобаргеохимические и изотопные исследования, парагенетический анализ, текстурно-структурные исследования механизма отложения руд. Помогает также расчет гетерофазных равновесий в системе «многокомпонентный флюид — минералы руд и окolorудные породы», анализ распределения рудных компонентов, минералов руд, тренд-анализ, математическое моделирование процессов рудообразования и др.)

Параметрическое описание модели в большей мере возможно лишь для области рудоотложения, наиболее доступной для наблюдения и изучения, и в меньшей мере — для зон транспорта и генерации флюидов. Глубинные уровни развития динамических рудообразующих систем практически недоступны для наблюдения. Большие возможности для их изучения открывались с привлечением анализа динамических моделей метаморфических, магматических и постмагматических процессов на базе геологических и геофизических данных о глубинном строении земной коры, экспериментальных и теоретических достижений современной геодинамики, петрологии и рудообразования.

Непременным условием при разработке интегральных геолого-генетических моделей рудных формаций является органичное взаимопроникновение геологических, физических и физико-химических построений. Только в этом случае модель может стать действительно геолого-генетической. Масштабность и специфика формирующихся рудных месторождений во многом определяются характером динамической рудообразующей системы и степенью и полнотой ее эволюционного развития.

Учитывая наиболее общие генетические особенности, были выделены следующие классы природных эндогенных рудообразующих систем: рудно-магматические, рудно-метаморфические, гидрогенно-амагматические, комбинированные. В свою очередь, в каждом классе выделялись группы динамических рудообразующих систем, каждая из которых имеет свои специфические особенности. Так, к рудно-магматическим системам были отнесены собственно магматические, плутоногенные, вулканогенные, интрателлурические (мантийные), комбинированные. Рудно-метаморфические системы подразделяются на метаморфизованные (комбинированные по своей природе), метаморфогенные и ультраметаморфогенные. Для класса гидрогенно-амагматических наиболее типичной является система глубинной циркуляции подземных вод и рассолов. Представителями рудообразующих систем комбинированного класса служат гидротермально-осадочные, сингенетично-эпигенетические и другие полигенные рудообразующие системы.



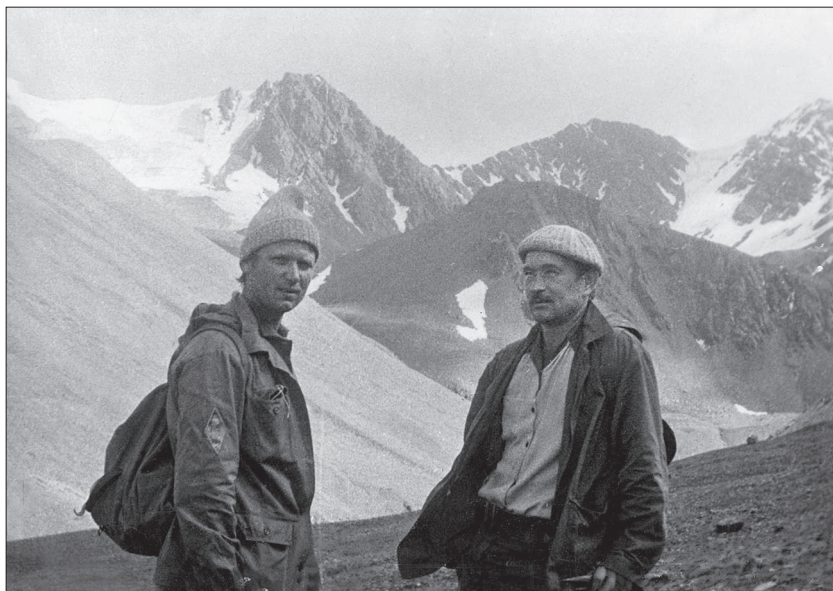


Результаты исследований по этому научному направлению опубликованы в ряде монографий: В.И. Сотников и др. «Медно-молибденовая рудная формация» (1977), Э.Г. Дистанов «Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири» (1977), В.А. Кузнецов и др. «Геология и генезис ртутных месторождений Алтае-Саянской области» (1978), А.С. Борисенко и др. «Условия образования гидротермальных кобальтовых месторождений» (1984), А.А. Оболенский «Генезис месторождений ртутной рудной формации» (1985), М.П. Мазуров «Генетические модели скарновых железорудных формаций» (1985), а также в серии тематических сборников статей, посвященных проблемам рудно-формационного анализа, связи оруденения с магматизмом, изотопно-геохимическим исследованиям источников рудного вещества и рудообразующих флюидов. Для ряда формационных типов месторождений сформулированы концептуальные генетические модели, которые наиболее детально проработаны для ртутных, кобальтовых, колчеданно-полиметаллических, скарново-магнетитовых и медно-молибден-порфировых месторождений. Наиболее важными результатами этого этапа исследований явились: обоснование комбинированного гидротермально-осадочного генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири (Э.Г. Дистанов, К.Р. Ковалёв, В.Г. Пономарёв), установление важной роли порфирового магматизма в формировании Cu-Mo-порфирового оруденения (В.И. Сотников, А.П. Берзина), участие в рудообразовании различных типов экзогенных вод как важного фактора в образовании низкотемпературных Ag, Sb, Ni-Co и Ag-Sb месторождений (А.С. Борисенко, А.А. Оболенский), выделение новых промышленных типов оруденения — малосульфидного Pt и Fe-Pt в норильских интрузиях (В.В. Рябов), серебро-сурьмяного (А.С. Борисенко, Г.Г. Павлова, А.А. Оболенский).

Развитие «модельного» направления потребовало привлечения новых методов анализа вещественного состава руд и окорудных метасоматитов (микронзонд, нейтронно-активационный, атомно-абсорбционный, рентгено-



Лауреаты Государственной премии СССР, 1983 г. Слева по кругу: А.А. Оболенский, В.В. Золотухин, В.А. Кузнецов, Э.Г. Дистанов, В.И. Сняжков, В.И. Сотников



Новый сереборудный район ЮВ Алтая — СЗ Монголии, месторождение Асгат. А.С. Борисенко (слева) и В.И. Лебедев

структурный, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия и др.), методов термобарогеохимии (термометрия, криометрия, газовая хроматография), геохимии изотопов S, C, O, H, Pb, Sr, методов термодинамического и физического моделирования процессов магмо- и рудообразования, внедрения математических методов обработки геологической информации. Исследования рудного отдела стали приобретать мультидисциплинарный характер, что выразилось в плодотворном сотрудничестве со специалистами других институтов Сибирского отделения: Неорганической химии, Теоретической и прикладной механики, Теплофизики, Математики, Экономики и организации промышленного производства и других, а также коллективами лабораторий геологического профиля внутри Института геологии и геофизики. Весьма плодотворным оказалось сотрудничество лаборатории В.А. Кузнецова с Тувинским геологическим отделом ИГиГ СО АН СССР (В.И. Лебедев, В.В. Зайков, В.Н. Гречищева, К.С. Кужугет и др.), который позднее был преобразован в самостоятельный институт — ТувИКОПР СО РАН. Все это позволило получить принципиально новую информацию о генезисе разных типов рудных месторождений, физико-химических параметрах процессов рудообразования, источниках рудного вещества и рудообразующих растворов, связях оруденения с магматизмом и т. д.

В 70–80-х годах тема разработки генетических моделей, как и рудно-формационный анализ в 60-х годах, являлась общей для двух лабораторий рудного отдела. В лаборатории В.А. Кузнецова круг изучаемых типов рудных месторождений существенно расширился и кроме традиционных ртутных, колчеданно-полиметаллических и медно-молибденовых включал теперь никель-кобальтовые арсенидные, серебро-сурьмяные, флюоритовые, редкометалльные Mo-W и разные типы золоторудных месторождений. Существенно расширилась и география работ лаборатории: Алтай, Тува, Западное и Восточное Забайкалье, Якутия, Северный и Южный Тянь-Шань, Памир, Дон-



басс, Монголия и другие регионы. В тематике лаборатории был сделан акцент на генетические проблемы и металлогению, а проблемы рудно-формационного анализа в определенной мере отошли на второй план. Пополнение лаборатории молодыми специалистами, в основном выпускниками Новосибирского госуниверситета (И.В. Гаськов, В.А. Акимцев, Г.Г. Павлова, А.А. Боровиков, А.Н. Берзина, М.Б. Войцеховская, А.С. Васьков, Г.Э. Дашкевич, Н.К. Морцев и др.), способствовало освоению новых методов анализа и термодинамического моделирования процессов рудообразования и во многом оживило научную деятельность и быт рудного отдела.

Большое внимание при решении генетических вопросов уделялось проблеме источников рудного вещества и природы рудообразующих растворов. А.С. Борисенко, А.А. Оболенским и В.И. Лебедевым на основе изотопно-геохимических (S, C, O, Sr, Pb) и термобарогеохимических данных и палео-гидрогеологического анализа обстановок рудоотложения была обоснована важная роль различных типов экзогенных вод (метеорных, хлоридных рассолов, галогенных отложений, вод нефтегазоносных бассейнов) в формировании ртутных и Ni-Co-As месторождений как фактора рудоотложения и одного из источников рудного вещества (Природа растворов и источники..., 1979; Источники рудного вещества..., 1990, Борисенко, Лебедев, Тюлькин, 1984; Оболенский, 1986).

Детальные исследования изотопного состава S, O, C, H, Sr, Pb руд и магматических пород медно-молибденовых рудных узлов Сибири и Монголии позволили установить двойственную природу источников рудного вещества и рудообразующих растворов для казальсь бы типично магматогенного Cu-Mo-порфирирового оруденения и показать роль мантийных и коровых факторов в его формировании (В.И. Сотников, А.П. Берзина).

Новые данные для выяснения геологических обстановок формирования вулканогенно-гидротермальных образований и гидротермально-осадочного, колчеданно-полиметаллического и свинцово-цинкового оруденения были получены на основе детального изучения изотопного состава серы и свинца, что позволило более аргументированно подойти к разработке генетических моделей этих месторождений (Э.Г. Дистанов, К.Р. Ковалёв, А.А. Тычинский, В.Г. Пономарёв, И.В. Гаськов).

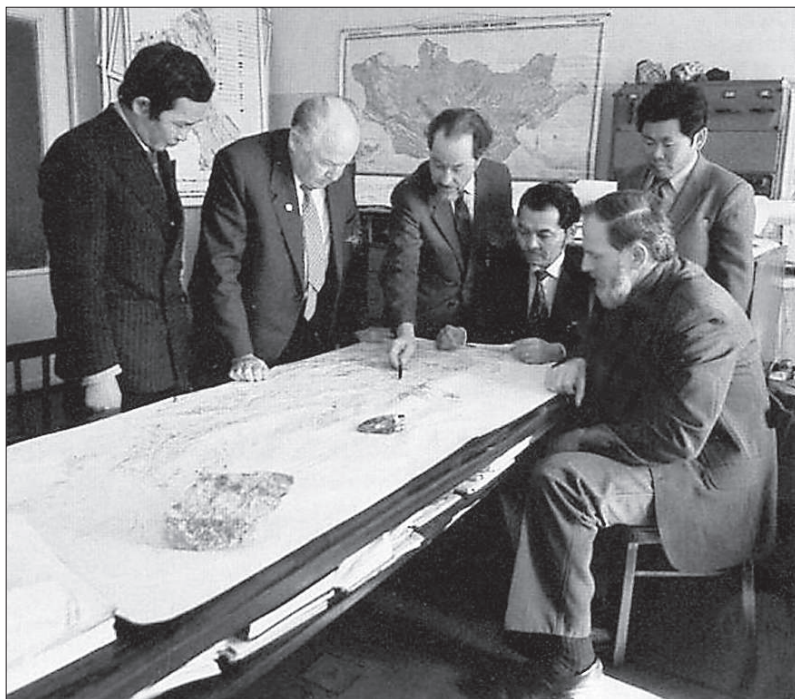
Дальнейшее развитие получили в лаборатории и термобарогеохимические методы исследования (А.С. Борисенко, А.А. Боровиков, Г.Г. Павлова, А.А. Проскураков и др.). Благодаря этому были впервые детально охарактеризованы физико-химические параметры формирования Ni-Co-As, Co-As, Ag-Sb и Sb-Hg оруденения и выявлены основные физико-химические факторы его формирования, что с учетом данных по источникам рудного вещества и рудообразующих флюидов, термодинамического моделирования процессов рудообразования и соотношении оруденения с магматизмом привело к более корректным генетическим моделям этих формационных типов рудных месторождений. В дальнейшем, по мере получения новых данных, они были существенно доработаны и уточнены.

Следует также отметить интересные результаты термодинамического моделирования процессов рудообразования и околорудного метасоматоза, проведенного на базе программных комплексов CHILLER, GIBBS и Селектор (Л.В. Гущина, М.Б. Войцеховская, Г.Г. Павлова). Исследования, инициированные А.А. Оболенским, выполнялись совместно с В.И. Белеванцевым (ИНХ СО АН СССР), М.В. Борисовым (МГУ) и Б.Н. Рыженко (ГЕОХИ АН СССР) и

стали примером решения геологических задач на основе междисциплинарного сотрудничества. Еще более активно такое сотрудничество развивалось в лаборатории В.Н. Шарапова.

Нельзя не отметить выдающийся вклад В.И. Васильева в изучение минералогии ртутных месторождений, выполнившего не только детальнейшее описание минерального состава их руд, но и открывшего 12 новых ртутных минералов и столько же новых минеральных разновидностей. В названиях этих минералов им увековечены имена М.А. Лаврентьева, выдающихся геологов В.А. Кузнецова, Ф.Н. Шахова, А.А. Саукова, В.Э. Пояркова, А.М. Кузьмина, а также геологов-ртутчиков О.К. и В.Н. Гречищевых и известной советской актрисы Л.А. Чурсиной. В свою очередь группа канадских, американских и английских минералогов, отмечая заслуги В.И. Васильева в изучении ртутных месторождений, назвала открытый ими новый минерал ртути васильевитом.

Важным направлением научной деятельности лаборатории на этом этапе продолжали оставаться металлогенические исследования в Монголии, Туве, зоне БАМа и других регионах, проводившиеся под руководством В.А. Кузнецова. Главным их результатом явилось составление серии прогнозно-металлогенических карт Монголии масштаба 1:1 500 000 по важнейшим видам полезных ископаемых, в том числе медным рудам (В.И. Сотников и др.), ртути (В.А. Кузнецов и др.), эпитермальным месторождениям (А.А. Оболенский, А.С. Борисенко, В.И. Лебедев), флюориту (А.А. Оболенский и др.), золоту и серебру (Ю.Г. Щербаков) и др., в которых был впервые



Участники совместной Советско-Монгольской геологической экспедиции АН СССР и АН МНР. В.А. Кузнецов, В.И. Сотников и А.А. Оболенский с монгольскими коллегами за обсуждением проблем металлогении



обобщен обширный материал по этому региону, проведено металлогеническое районирование, выявлены основные закономерности размещения оруденения и дан прогноз на его поиски. В ходе этих работ (А.С. Борисенко, В.И. Лебедев, Г.Г. Павлова, А.А. Боровиков) в Западной Монголии выявлено 25 проявлений серебро-сурьмяного оруденения, два из которых признаны объектами промышленного уровня (Толбонурское и Шарабурекское). Это позволило оконтурить ареал развития оруденения, обосновать выделение нового крупного серебрянорудного района в Юго-Восточном Алтае и Северо-Западной Монголии и оценить его прогнозные ресурсы по Ag, Sb и Bi. Полученные результаты были высоко оценены руководством Монголии и Мингео СССР, а научные руководители Советско-Монгольской экспедиции отмечены правительственными наградами МНР. Следует отметить, что работы в составе Советско-Монгольской геологической экспедиции АН СССР и АН МНР были хорошей школой для сотрудников института, особенно молодых специалистов, не только благодаря интересной и разнообразной геологии многих районов Монголии и прекрасной оснащенной, что позволяло читать аэрофотоснимки как геологические карты, но и благодаря широкому общению с крупными специалистами из разных институтов Москвы, Ленинграда, Иркутска, производственных организаций и зарубежными геологами ПО «Интергео».

В середине 80-х годов лаборатория постепенно разделилась на три новых: рудных формаций и металлогении (зав. лабораторией А.А. Оболенский), эндогенного рудообразования (Э.Г. Дистанов) и рудно-магматических систем (В.И. Сотников), которые продолжали развивать уже после смерти В.А. Кузнецова (1985) основанное им научное направление. Разделение лаборатории прошло достаточно естественно и безболезненно, поскольку в прежнем составе она была хорошо структурирована в кадровом и научном отношении и новые лидеры лабораторий возглавили уже сложившиеся коллективы.

Лаборатория экспериментального моделирования после смерти ее руководителя Г.Л. Поспелова (1973) пережила несколько трудных лет перестроек и реформаций, но сохранила свой кадровый потенциал, традиции и научное направление. К этому времени в ней работал коллектив опытных и молодых сотрудников — кандидаты наук А.И. Васильева, А.Н. Дударев, С.С. Лапин, А.С. Лапухов, А.Л. Павлов, доктор наук В.Н. Шарапов. Хотя каждый из этих сотрудников, как следовало из изложенного выше, был уже сложившимся ученым со своим направлением и «почерком», и вместе они практически



Профессор В.Н. Шарапов

полностью «закрывали» основные разделы плана НИР, выдвигалось два формальных мотива для расформирования лаборатории: 1) после смерти ее бессменного руководителя нет «достойного» лидера для руководства столь сложным направлением исследований; 2) реальный научный состав лаборатории мал для осуществления работ по утвержденному плану научных работ.

Указанные мотивы закрытия лаборатории исчезли в 1975 г., после возвращения в ее состав д.г.-м.н. А.М. Дымкина

с группой учеников (к.г.-м.н. И.А. Калугин, к.г.-м.н. М.П. Мазуров, аспирант Г.А. Третьяков). С его приходом и корректировкой научного направления лаборатория была переименована в лабораторию динамики рудообразующих процессов. Новый импульс получили геолого-генетические исследования железорудных месторождений Алтае-Саянской области, Алданского щита, Сибирской платформы, а также вулканических и вулканогенных гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. До ухода в 1977 г. А.М. Дымкина на должность директора Геологического института Уральского центра АН СССР лаборатория динамики рудообразующих процессов продолжала развивать свои традиционные геолого-генетические и теоретические исследования с большим упором на изучение алтае-саянских, казахстанских и других рудных объектов, а также вулканических и вулканогенных гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. К этому моменту преемственность исследований в бывшей лаборатории экспериментального моделирования была полностью восстановлена. В ее внутренней жизни также произошли значительные качественные изменения: были последовательно защищены докторские диссертации всеми активно работавшими сотрудниками — В.Н. Шарапов «Элементы динамики формирования плутоногенных гидротермальных месторождений» (1972), С.С. Лапин «Магнетитовые рудные тела, их строение и магнитные свойства» (1978), А.С. Лапухов «Рудная зональность колчеданно-полиметаллических месторождений и локальный прогноз скрытого оруденения (на примере рудных полей юга Западной Сибири и Урала)» (1980). Были также монографически обобщены теоретические результаты исследований по всем основным из перечисленных разделов, развивавшихся в лаборатории: «Динамика эндогенного рудообразования» (1974), «Динамика взаимодействия магмы с породами» (1976), «Узон-Гейзерная гидротермальная рудообразующая система Камчатки (физико-химический очерк)» (1976), «Эволюция физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании» (1976), «Петрогенезис под вулканами» (1979), «Магматизм и гидротермальные системы Мутновского блока Южной Камчатки» (1979). Изданы специализированные сборники статей: «Проблемы физики процессов магматизма и рудообразования» (1976), «Замещение и вторжение при магматизме и рудообразовании» (1976), «Проблемы генезиса железорудных месторождений Сибири» (1979), «Рудная зональность и физико-химия гидротермальных систем» (1980). Таким образом, к началу 80-х годов лаборатория превратилась в одну из сильнейших научных ячеек ИГиГ СО АН СССР, в которой развивались наиболее актуальные прикладные и теоретические разделы магматической и рудной геологии.

Лаборатория динамики рудообразующих процессов выступала инициатором и координатором использования системного подхода в описании эндогенных процессов, применения физико-химических и физических моделей в описании эволюции магматических и рудообразующих процессов среди молодых исследователей, работающих в различных академических и отраслевых институтах СССР. В результате этой деятельности была опубликована упомянутая серия специализированных сборников статей по указанной проблематике, а в СССР с 1971 г. начали проводиться симпозиумы, где обсуждались проблемы кинетики и динамики геохимических процессов (Москва, 1971; Киев, 1975; Черногоровка, 1979; Новосибирск, 1983). В этот период в СССР как в академических, так и отраслевых институтах сложились группы ученых, активно развивавших разные направления физико-хими-



ческого анализа процессов рудообразования, физического моделирования и внедрения математических методов обработки наблюдений. Поэтому когда рудный отдел ИГиГ СО АН во главе с В.А. Кузнецовым в 1980 г. выступил с инициативой провести всесоюзное совещание, посвященное моделированию генезиса рудных формаций, это предложение нашло широкий отклик, и первое мероприятие прошло в новосибирском Академгородке (1981). Позже совещания стали традиционными (1983, 1985), как и симпозиумы близкой тематики (1980, 1982). После смерти В.А. Кузнецова (1985) проводился специализированный симпозиум (1987), а сборники статей с материалами исследований рабочих групп по разработке генетических моделей рудных формаций выпускались вплоть до развала СССР в 1991 г.

Исследования железорудных формаций в конце 70-х–начале 80-х годов были сосредоточены в новых рудных провинциях. На это время пришлось разворачивание крупномасштабных работ по изучению ресурсов зоны Байкало-Амурской магистрали, а также по долгосрочной программе освоения природных ресурсов Сибири (суперпрограмма «Сибирь»). В ее рамках была организована целевая программа «Железные руды Сибири», координатором которой выступал В.А. Кузнецов, а ученым секретарем в первые годы — М.П. Мазуров. Лаборатория являлась базовой для координации работ. Для ее сотрудников эта проблематика была не просто углублением предыдущих исследований, но и осуществлением качественно новых подходов к познанию рудообразующих процессов в метаморфогенных системах, проявлений метасоматизма в широком спектре термодинамических параметров, разнообразия механизмов рудообразования. М.П. Мазуров выступал ответственным за проведение работ по скарновым железорудным формациям, И.А. Калугин — по кремнисто-железистым формациям, А.Л. Павлов разрабатывал альтернативные модели установившихся генетических толкований. В рамках одной лаборатории оказалось возможным развертывание генетических дискуссий, которые привели к интересным и важным циклам исследований, отраженных в успешно защищенных докторских диссертациях.

М.П. Мазуров в диссертационной работе «Скарновые железорудные формации (типоморфизм руд, геолого-генетические модели образования)» (1986) конкретизировал причины и условия развития скарново-магнетитового оруденения при разных тектонических режимах и в разных по составу средах, показал его место и время в более общих и масштабных эндогенных процессах. С использованием новейших методов определены температурные условия отложения руд, выявлены элементы кинетики рудообразующего метасоматоза, оценены масштабы наследования сингенетичного оруденения скарновыми рудами, явлений трансформации и метаморфизма руд. И.А. Калугин в диссертации «Метаморфизм вулканогенно-осадочных руд» (1987) обобщил исследование геологии и генезиса вулканогенно-осадочных и метаморфизованных кремнисто-железистых руд, осадочных сидеритовых отложений, установил параметры и условия процессов естественного обогащения рудного вещества. А.Л. Павлов в своей работе «Физико-химические условия образования магматогенных железорудных месторождений» (1988) рассмотрел процессы ферритизации, сульфидизации и восстановления железа в магматических расплавах как основные рудоконцентрирующие факторы. Материалы для обоснования этих положений представлены им в последовательной серии монографических работ, выполненных лично и в соавторстве: «Термодинамика процессов сульфидизации в силикатных рас-

плавах и проблемы сульфидного рудообразования» (1979), «Термодинамика процессов ферритизации в силикатных расплавах и проблемы рудообразования» (1979), «Генезис магматических магнетитовых месторождений» (1983), «Самородное железо сибирских траппов (на примере Хунгтукунского месторождения)» (1985), «Механизм формирования магнетитовых месторождений (на примере Алтае-Саянской складчатой области)» (1987).

Исследования по программе «Железные руды Сибири» отражены в ряде монографий, подготовленных совместно с коллегами из СНИИГГиМСа и производственных геологических управлений. Самой важной из них явилось крупное обобщение «Железорудные месторождения Сибири» (1981), в котором показано состояние железорудной базы Сибири и ее развитие и использование. Крупным научным трудом стала монография «Чаро-Токкинская кремнисто-железорудная формация» (1984), в числе авторов которой сотрудники лаборатории динамики рудообразующих процессов И.А. Калугин, А.С. Лапухов, М.П. Мазуров, Г.А. Третьяков и сотрудники отдела черных металлов СНИИГГиМСа Г.Ф. Горелов, А.Г. Гузман, Э.Г. Кассандров, Н.С. Лидин, В.А. Мариич. Необходимо также отметить замечательный цикл исследований о геологии и генезисе вулканогенно-осадочных, метаморфогенных железорудных месторождений и осадочных сидеритовых отложений, преобразованных поземными пожарами (А.С. и И.А. Калугины).

Кроме изучения рудных и магматических объектов зоны перехода Курило-Камчатского региона, был проведен десятилетний цикл работ на объектах океанического сегмента литосферы. При этом наряду с участием отдельных сотрудников в рейсах НИС «Пегас» ДВО РАН (дуга Тонга, 1979–1980, хребет 90°, 1982) В.Н. Шарапову удалось организовать работы научных групп ИГиГ и ВЦ совместно с болгарскими коллегами на НИС «Евпатория» (халистазы Черного моря, 1983–1987), НИС «Академик Виноградов» ТОИ ДВО (трансформы центральной части Тихого океана, гайот Ламонт, хребет Хуан-де-Хука, 1986), НИС «Антарес» совместно с ОГУ г. Одесса (трансформа Зеленого Мыса, САХ, 1990), НИС «Академик Страхов» ГИН (тот же район, 1992). В них был получен большой фактический материал, который требовал коллективных усилий для обработки. С 1982 г. лаборатория принимала участие в комплексных проектах (руководитель акад. А.С. Алексеев) исследования геофизики и тектоники зоны перехода океан–континент на материалах изучения Черного моря и западной части Тихого океана.

Этот этап деятельности рудного отдела был удачным и высокопродуктивным в научном отношении и всем запомнился творческой атмосферой, интересными научными результатами, находками и открытиями, незабываемыми сухопутными и морскими экспедициями, спорами до хрипоты по глобальным и более мелким проблемам. Институт геологии и геофизики заслуженно стал одним из крупных центров рудно-геологической науки в стране. Накопленный опыт, знания, имевшиеся научные заделы и сбалансированный кадровый потенциал рудного отдела создали определенный запас прочности при преодолении экономических и социальных трудностей периода перестройки и реформ в начале 90-х годов.

**1991 г. – настоящее время.** Начало этого этапа совпало с активным внедрением в российскую геологическую науку идей плитной тектоники, являвшихся уже общепринятыми в зарубежных публикациях, расширением международного научного сотрудничества и обмена информацией, внедрением в практику геологических исследований новых методов изучения пород и





минералов, новой научной аппаратуры и компьютерной техники. Это потребовало корректировки планов научных исследований и открывало новые возможности более детального и углубленного изучения проблем рудообразования и металлогении. С приходом в Институт геологии и геофизики (1988), а затем Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии (1990) нового директора — академика Н.Л. Добрецова — реализация этих возможностей и обновление тематики исследований начали активно воплощаться в жизнь. В Институте геологии, входившем тогда в состав ОИГГМ, под руководством члена-корреспондента РАН Г.В. Полякова сформировалось новое научное направление «магмо- и рудогенез», объединившее тематику лабораторий рудного, магматического и геохимического профиля. С этого времени явно наметился процесс интеграции научных исследований лабораторий, который еще более усилился с введением в стране системы грантов РФФИ и особенно интеграционных проектов Президиума СО РАН. Появилась возможность реализации крупных и фундаментальных тем и проектов, чего настоятельно требовал новый директор института. Первым примером подобных работ стал проект Президиума СО РАН «Комплексное исследование вещественного состава, флюидного режима и динамики кристаллизации редкометалльных гранитных интрузивов с целью выявления главных факторов их рудоносности» (науч. руководитель В.Н. Шарапов, отв. исполнители А.Г. Владимиров, А.С. Борисенко, В.П. Чупин), успешно выполненный большим коллективом сотрудников из разных лабораторий и отделений Института геологии и минералогии. Проект стал прообразом будущих интеграционных и междисциплинарных проектов Президиума СО РАН. Все вышесказанное, а также появление перечня приоритетных научных направлений и программ РАН, СО РАН и института во многом определило тематику научных исследований лаборатории рудного профиля и направления «магмо- и рудогенез» в целом.

Эта тематика входила в одно из трех главных научных направлений, которое после ряда уточнений и корректировок было сформулировано как «динамика Земли и эволюция геологических процессов, глубинная геодинамика, магматизм, метаморфизм, рудообразование и металлогения». В рамках указанного направления нашла свое место и тематика лабораторий рудно-магматического профиля, в которой уже был отражен и геодинамический аспект, и роль мантийных плюмов и учтены новые аналитические возможности современной лабораторной базы в решении геологических задач. Иллюстрацией служит примерный перечень тем трехлетних лабораторных проектов НИР:

- рудно-магматические системы крупных магматических провинций;
- возрастные рубежи, структурный контроль, эволюция составов и рудоносность ультрабазитовых и гранитоидных комплексов крупных магматических провинций;
- динамика мантийно-коровых рудно-магматических систем, продуцирующих магматогенное оруденение;
- геохимия благородных металлов, микроэлементов, изотопов и наночастиц в природных и техногенных системах Сибири;
- рудно-магматические системы крупных магматических провинций Азии: флюидный режим, модели рудообразования (Cu-Ni-Pt, Cu-Mo, Ni-Co, Cu-Pb-Zn, Au, Ag, Sb-Hg месторождения).

Слияние тематик лабораторий магматического и рудного профиля обозначило соединение научных школ Ю.А. и В.А. Кузнецовых в единую школу братьев Кузнецовых уже под руководством члена-корреспондента РАН Г.В. Полякова и завершилось объединением впоследствии (2006) шести лабораторий направления магмо- и рудогенеза в три крупные лаборатории: 1) петрологии и рудоносности магматических формаций (зав. лабораторией А.Э. Изох); 2) рудно-магматических систем и металлогении (А.С. Борисенко); 3) динамики эндогенных систем (В.Н. Шарапов, а затем М.П. Мазуров), а геохимических лабораторий в одну крупную — геохимии благородных и редких металлов и экогеохимии (зав. лабораторией С.М. Жмодик). Прошедшие укрупнения, с одной стороны, в определенной мере подвели черту в изменениях в структуре этого направления, хотя и усложнили жизнь заведующих лабораториями, но, с другой стороны, наметили дальнейшие пути ее совершенствования, ибо совершенству нет предела! Такова краткая история формирования тематики научных исследований и структуры рудно-магматического направления. Структура самих исследований значительно усложнилась: кроме выполнения базовых проектов по планам НИР института, велись работы по проектам РФФИ, интеграционным и междисциплинарным проектам Президиумов СО РАН, ОНЗ и Президиума РАН, по госконтрактам с Министерством образования и науки, «Роснедра», хоздоговорам с Геолкоммами и горно-рудными компаниями и контрактам с зарубежными фирмами.

Несмотря на известные финансовые трудности в начальные периоды рассматриваемого этапа, сотрудниками лабораторий рудного профиля был получен целый ряд важных и фундаментальных результатов.



Участие в международных геологических экскурсиях — хорошая школа для молодых геологов-рудников. Тува, Ховуаксинское кобальтовое месторождение, 2009 г.



В лаборатории А.С. Борисенко на основе обобщения обширного материала по геологии, условиям размещения, минералогии и геохимии руд, результатов исследования флюидных включений, изотопного состава Pb, Sr, Ne, C, O, H и др. впервые были разработаны генетические модели рудообразующих систем, формировавших низкотемпературные гидротермальные месторождения ртутной, серебро-сурьмяной, никель-кобальтовой арсенидной, баритовой и эпитермальной флюоритовой рудных формаций (Борисенко, 1999; Борисенко, Оболенский, Павлова и др., 1992; Модельный анализ..., 2009), отдельные элементы которых рассмотрены также в публикациях А.А. Оболенского, Г.Г. Павловой, А.А. Боровикова, Л.В. Гущиной, Е.А. Наумова. Этот результат имеет важное значение не только в плане обоснования формационной самостоятельности перечисленных типов месторождений, но и в плане выяснения главных геологических и физико-химических факторов, определяющих рудопродуктивность формировавших их рудообразующих систем и металлогеническую специализацию рудоносных магматических комплексов.

Освоение новых методов анализа состава флюидных включений (LA ICP-MS, КР-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия и др.) позволило впервые систематически оценивать металлоносность магматических и гидротермальных рудообразующих флюидов, участвовавших в формировании Sn-W, Ag-Sb, Ni-Co-As, Sb-Hg, а также некоторых типов Cu-Mo-порфировых и редкометалльных месторождений. На основе этих исследований была выявлена специфика состава и металлоносности магматических флюидов, отделявшихся при кристаллизации магматических комплексов разного состава, и в результате выделены «окисленные» и «восстановленные» типы флюидов, принципиально отличающиеся по редокс-потенциалу и металлоносности. Кроме того, установлена важная роль процессов гетерогенизации (разделение на газовую и водно-солевую фазы) магматогенных флюидов в экстракции рудных элементов из магматических расплавов (совместный результат А.С. Борисенко, А.А. Боровикова, В.Н. Шарпова, А.А. Томиленко, Ф.Г. Рейфа и др. по проекту «Экстракция рудных элементов из магматических расплавов при их кристаллизации», 2006).

Огромное значение для научного направления «магмо- и рудогенез» имели постановка в ОИГГМ СО РАН А.В. Травиным и В.А. Пономарчуком Ag-Ag метода и в АЦ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) U-Pb (SHRIMP) метода для определения возраста пород и руд, что позволило подойти к решению целого ряда крупных и фундаментальных проблем эндогенного рудообразования и металлогении, таких как детализация связи процессов рудообразования и магматизма и корреляция магматических и рудных комплексов, установление возраста оруденения, основных продуктивных этапов рудообразования и их соотношения с геодинамическими этапами развития регионов и др.

Появление новых методов геохронологических исследований нашло свое применение и для разработки генетических моделей рудно-магматических систем. Так, В.И. Сотниковым, А.П. и А.Н. Берзиными и В.А. Пономарчуком впервые было показано, что крупные Cu-Mo-порфировые месторождения и Cu-Mo рудные узлы являются долгоживущими магматическими центрами и формировались в ходе нескольких самостоятельных гидротермально-магматических этапов, а общая длительность формирования Cu-Mo-порфировых месторождений могла достигать 20–30 млн лет. По результатам

исследований А.С. Борисенко, А.Г. Владимирова, А.Н. Берзиной и Н.Н. Крука длительность образования редкометалльного Мо-W Калгутинского месторождения на Алтае составляла около 20 млн лет и была связана с проявлением трех продуктивных рудных этапов: 220, 214 и 200–204 млн лет, пространственно совмещенных в контурах одного рудного поля. Длительными оказались и процессы формирования Sn-Ag рудных узлов: Депутатского в Якутии — около 15 млн лет (Г.Г. Павлова, А.С. Борисенко совместно с коллегами из ИГАБМ СО РАН), а также Базардаринского на Памире, Юстыдского в Юго-Восточном Алтае, Хову-Аксинского в Туве и других (А.С. Борисенко, Г.Г. Павлова, А.Г. Владимиров, Н.Н. Крук, В.И. Лебедев, И.Г. Третьякова и др., при активном участии А.В. Травина). Эти результаты, хотя и оказались неожиданными и были восприняты настороженно, явились весьма важными для решения проблем генезиса крупных и уникальных месторождений. К примеру, для месторождений Au-As типа в Енисейском кряже, Восточном Казахстане, Якутии, Северном Вьетнаме на основе геохронологических исследований (Ar-Ar и U-Pb методы) удалось раскрыть полную хронологию магматических и рудообразующих процессов, начиная от дорудных (рудоподготовительных) до пострудных, и показать роль многоэтапности как фактора формирования крупных месторождений (А.С. Борисенко, П.А. Неволько, Е.А. Наумов, Ю.А. Калинин, А.Э. Изох, К.Р. Ковалёв и др.).

Особенно продуктивным оказалось применение современных методов геохронологии (Ar-Ar, U-Pb, SHRIMP и Re-Os) для металлогенических исследований. Наиболее крупные результаты были получены в изучении металлогении областей развития мантийных плюмов или крупных магматических провинций (LIP), проводившемся под руководством и при непосредственном участии Н.Л. Добрецова. Привлечение к этим работам специалистов разных научных направлений позволило не только обосновать выделение новых крупных магматических провинций, таких как Таримская (Борисенко, Сотников, Изох, Поляков, Оболенский, 2006), раннепалеозойская Центрально-Азиатская (Изох, Врублевский, Поляков с участием Н.Л. Добрецова, М.М. Буслова и др.) и другие, но и более четко оконтурить ареалы развития магматизма и оруденения, связанные с Сибирским, Эмейшаньским и Центрально-Европейским плюмами (Добрецов, Борисенко, Изох, Жмодик, 2010). Впервые была установлена специфика металлогении мантийных плюмов, которая выражается:

- в развитии своеобразного комплекса разных типов месторождений (Cu-Ni-Pt, Ni-Co-As, Cu (Ag, Ni, Co, Pt) стратиформного, Ag-Sb, Sb-Hg и др., в том числе крупных и гигантских);

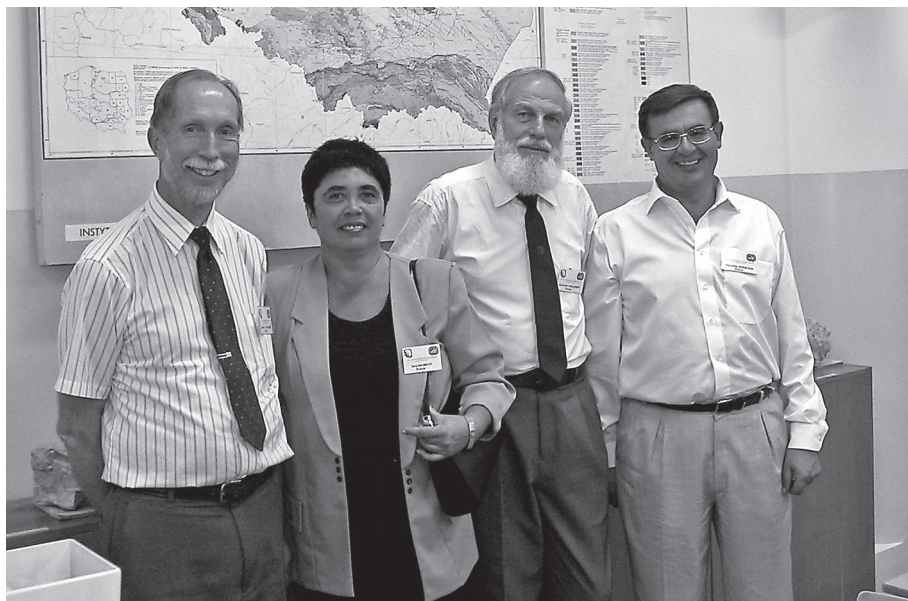
- в ареальном характере размещения оруденения, что отличает ее от линейной металлогении других геодинамических обстановок;

- в высокой синхронизации в ареалах LIP конкретных типов оруденения;

- в отчетливой возрастной корреляции оруденения с соответствующими типами магматизма;

- в этапности развития оруденения, которая отвечает этапам развития плюмового магматизма в соответствии с термохимической моделью мантийных плюмов и т. д.

Все это позволило охарактеризовать особенности размещения оруденения в контурах LIP, выявить зональность в его локализации относительно



Организаторы международного проекта «Минеральные ресурсы, металлогения и тектоника Северо-Восточной Азии». Слева направо: У. Ноклберг (США), В.В. Наумова, А.А. Оболенский, А.И. Ханчук (Россия)

центров крупных магматических провинций, а также обосновать ряд критериев для его прогноза и поисков. Выполненные работы наметили совершенно новое направление в металлогенических исследованиях — металлогению мантийных плюмов.

Другой крупный результат металлогенических исследований связан с участием сотрудников рудных лабораторий в международном проекте «Минеральные ресурсы, металлогения и тектоника Северо-Восточной Азии», объединившем специалистов геологических институтов СО РАН и ДВО РАН и различных геологических организаций США, Китая, Японии, Монголии и Южной Кореи. В ходе проведенных исследований была создана «Карта металлогенических поясов СВ Азии» масштаба 1:5 000 000 на геодинамической основе, охарактеризовавшая разновозрастные (от докембрия до кайнозоя) металлогенические пояса, включающие 3500 известных месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, по которым была создана компьютерная база данных. Основными исполнителями этих работ от нашего института являлись А.А. Оболенский, Э.Г. Дистанов, В.И. Сотников, Н.А. Берзин.

Продолжались ставшие традиционными прогнозно-металлогенические исследования в Монголии, в которых активно участвовали кроме ветеранов (А.С. Борисенко, А.Э. Изох, Л.В. Агафонов, И.Н. Широких, В.В. Бабич) представители нового поколения геологов-рудников: А.А. Боровиков, И.В. Гасков, Г.Г. Павлова, Ю.А. Калинин, Е.А. Наумов, П.А. Неволько, И.Г. Третьякова, а также студенты и аспиранты. В ходе проведенных в этот период работ был выявлен и обоснован новый золоторудный пояс в Центральной Монголии — Центрально-Хангайский, с золото-серебряным и золото-ртутным оруденением, и открыты крупные россыпи золота. В Южной Монголии было обосновано выделение Южно-Гобийского золото-ртутного пояса и выявлен ряд Au-Hg проявлений, в том числе месторождение Унэгэн Дел. Обоснована



И где же здесь «invisible gold»?

промышленная золотоносность Озерной зоны в Западной Монголии, заверенная открытием целого ряда новых объектов, в том числе перспективного месторождения золота. К важным результатам в изучении металлогении Сибири следует отнести выделение новых типов оруденения — Ag-Sb и Au-Hg, разработку их систематики и критериев поиска в разных рудных районах Сибири, Монголии и Северного Вьетнама.

Перспективным оказалось расширение научного сотрудничества с Институтом геологии ВАНТ Республики Вьетнам под руководством Г.В. Полякова, что позволило охарактеризовать металлогению пермотриасового и позднемезозойского этапов развития структур Северного и Центрального Вьетнама и установить основные возрастные рубежи формирования Au, Au-Hg, Sb, Cu-Ni и Cu-Mo-порфирирового оруденения этих регионов.

Металлогенические исследования, и особенно прикладные прогнозно-металлогенические, сыграли важную роль в финансовой поддержке рудных лабораторий в трудный период начала 90-х годов. Хоздоговорные работы такого плана с Геолкомами различных регионов Сибири и горно-добывающими предприятиями, контракты с зарубежными компаниями в Монголии помогли удержать финансирование научных исследований в лабораториях на должном уровне, способствовали закреплению в них молодых специалистов, в том числе благодаря решению социальных вопросов. Надо отметить, что эти работы во многом обеспечили проведение полевых исследований и выполнение аналитических работ.

В лаборатории В.Н. Шарاپова сохранилась тематика изучения динамики эндогенных систем и разработки их моделей. В конце 70-х годов наметился кризис в «модельной обеспеченности» петрологии изверженных пород и магматогенных рудных месторождений, вызванный тем, что исчерпались содержательные возможности используемых термодинамических и физико-



химических приближений. Поэтому назрела необходимость перехода к более глубокому количественному анализу существа и масштаба эндогенных явлений на основе углубления содержательности их математических моделей. В 1989 г. в ИГиГ СО АН СССР произошла общая «переоценка ценностей» в отношении тематики исследований, в результате которой «поспеловская» лаборатория была в очередной раз переименована в лабораторию динамики эндогенных систем. Через два года фактически произошел обвал научных работ и вместе с СССР исчезло надлежащее финансирование науки. Действующему составу лаборатории пришлось в отношении учета фактических данных при моделировании эндогенных систем использовать накопленные ранее ресурсы и сосредоточиться на интенсивном развитии модельного аппарата эндогенной геологии. Кадровые возможности лаборатории позволяли это сделать. К этому времени в ее составе работали геологи — доктора геол.-мин. наук А.И. Калугин, М.П. Мазуров, А.Л. Павлов, В.Н. Шаралов, кандидаты геол.-мин. наук Г.А. Третьяков, А.И. Васильева, химик — д.х.н. А.Н. Киргинцев, математик Л.В. Милова, физики-теоретики — к.ф.-м.н. В.Н. Доровский, Ю.В. Перепечко. В исследованиях участвовали неформальные научные группы с сотрудниками других институтов ННЦ СО РАН (д.ф.-м.н. А.Н. Черепанов, к.ф.-м.н. В.Н. Попов, ИТПМ; д.ф.-м.н. В.П. Ильин, ВЦ; д.ф.-м.н. Е.В. Роменский, ИМ).

Развитие направлений томской геологической школы, заложенных М.А. Усовым и развивавшихся в указанных выше аспектах Ю.А. Кузнецовым и Г.Л. Поспеловым, предполагало комплексный анализ рудно-магматических систем. В рамках неравновесной термодинамики открытых систем ставились задачи последовательного построения корректных количественных моделей для всех их структурно-динамических зон. Ревизия содержательности известных в геодинамической, петрогенетической и рудно-магматической литературе модельных разработок конца 70-х годов дала весьма неутешительный результат — такого модельного аппарата просто не существовало, как и не было методологии построения корректных моделей рудно-магматических систем. Эти задачи решались как путем использования классических методов неравновесной термодинамики, так и разработки нового подхода для описания тепло-массопереноса в гетерофазных деформируемых средах.

Поскольку в геологической среде эти неординарные исследования еще недостаточно поняты, необходимо кратко изложить существо проблем. Использование идей, заложенных в формулировке уравнения квазиравновесной гетерофазной зоны В.Т. Борисова (1967), позволило А.Н. Черепанову (1984–1986) получить корректные решения целого ряда задач. Они были использованы для решения ряда задач при описании магматических систем (Динамика дифференциации магм, 1986). Приложение этих задач для описания динамики развития флюидных систем изложено в книге «Динамика тепломассообмена в ортомагматических флюидных системах» (1990), а методологические аспекты моделирования на основе классических методов термодинамик открытых систем — в монографии «Развитие эндогенных флюидных рудообразующих систем» (1992). Количественное решение задач на основе учения Усова–Кузнецова о фациях магматических пород было поддержано грантами РФФИ: «Динамика затвердевания и дифференциации магм» (1993–1994), «Динамика фазовых переходов при интрузии магм» (1995–1997), «Моделирование неравновесной динамики развития структурных и

химических неоднородностей в магматических телах» (1998–2000). А.Н. Киргинцевым была построена термодинамическая теория устойчивости многокомпонентных регулярных и субрегулярных растворов.

Методология описания гетерофазных компактируемых сред В.Н. Доровского, которая выходит за рамки классических методов открытых систем, базировалась на синтезе двух принципиально важных для понимания сильно неравновесных систем методов, предложенных в разное время в термодинамике и гидродинамике. Первый — метод введения понятия неравновесной энтропии (определение энтропии локально неравновесной термодинамической системы) и использование категориального аппарата равновесной термодинамики — был предложен в работах Мандельштама (1937) и развит в работах Леонтовича (70-е годы). Второй — метод физически корректного описания гидродинамики гетерофазных систем — развит в работах Ландау и Халатникова (1941, 1957) в применение к гидродинамике квантовой жидкости (гелия). Объединение (синтез) этих методов в едином подходе и применение их к классическим сплошным сложноустроенным (многоскоростным многокомпонентным) средам сделано в работе В.Н. Доровского (1989) и развито в его работах с Ю.В. Перепечко (1990–1994). Созданная теория, получившая название «континуальная теория фильтрации», была изложена в его монографии, англоязычная версия которой в 1995 г. вышла в США. Эта теория выбрала преимущества обоих подходов: обеспечивается термодинамическая согласованность моделей динамики сложноустроенных сред; обеспечивается возможность построения моделей нелинейной динамики локально неравновесных сред (к ним относятся практически все встречающиеся в геологических приложениях среды); обеспечивается (уже в силу процедуры построения) выполнение фундаментальных физических принципов — 1) выполнение законов сохранения, 2) выпуклость функции энергии, 3) гиперболичность обратимой части управляющих уравнений создаваемой модели, 4) групповая инвариантность управляющих уравнений (выполнение принципа относительности Галилея). Удовлетворение фундаментальным физическим принципам особенно важно для физической корректности создаваемых моделей геологических систем, так как геологические системы, особенно крупномасштабные, часто трудны либо вообще недоступны для натурального исследования или лабораторного моделирования. Только физическая и математическая корректность модели обеспечивает физически, а значит, и геологически значимый результат. Таким образом, появилась общая методология построения физически и математически корректных моделей динамики практически любых нелинейных сложных сплошных сред. Отмеченные подходы термодинамики открытых систем позволили перейти к постановке и решению задач динамики мантийно-коровых рудно-магматических систем. Уход из института В.Н. Доровского в 2002 г. и недостаточные контакты с другими коллективами, работающими по геодинамике эндогенных систем (А.Г. Кирдяшкин и др.), не позволили закрепить и развить изложенные выше подходы.

Решение этих задач поддерживается грантами РФФИ: «Динамика тепло- и массопереноса в литосфере за границей кипения базитового расплава» (2001–2003), «Динамика частичного плавления континентальной надтастеносферной литосферы и земной коры» (2008–2010). В реализации существенную роль играет сопряжение в единый комплекс созданных оригинальных численных схем в лаборатории моделирования эндогенных процессов и программного комплекса СелекторWin, разработанного И.К. Карповым и его на-





учной командой в Иркутском ГЕОХИ СО РАН. Это позволило начать создание теории динамики мантийно-коровых рудно-магматических систем, а в качестве первого шага сопряженно рассматривать процессы теплопереноса в верхней мантии и многослойной литосфере (Геокатализ и эволюция мантийно-коровых магматогенных флюидных систем, 2007). Расширение этого подхода для развития теории динамики мантийно-коровых рудно-магматических систем вызвало необходимость выполнения более широкого комплексного проекта, реализация которого потребовала усилий двух кафедр НГУ и нескольких лабораторий ИГМ СО РАН, а также участия сотрудников других подразделений ННЦ СО РАН. В 2006–2008 гг. был выполнен проект РНП.1.1.702 «Эволюция базитовых и мантийно-коровых гранитоидных рудно-магматических систем, продуцирующих Pt-Cu-Ni, Cu-Mo-порфировое и эпитермальное Au-Ag-оруденение». Результаты этой работы при поддержке РФФИ опубликованы в коллективной монографии «Модельный анализ развития континентальных мантийно-коровых рудообразующих систем» (2009).

Такова история развития рудного отдела и исследований по рудным формациям, металлогении и моделированию рудообразующих систем в институте.