



Гущин Владимир Аркадьевич.

Окончил физический факультет Новосибирского государственного университета в 1967. Заведующий лабораторией геохимических технологий ИГИГ ТюмГНГУ, доктор геолого-минералогических наук. Автор 4 изобретений и 2 научных открытий. Разработал современную технологию поиска и разведки залежей нефти и газа - газоразведку

В.И. Вернадский

«Геохимия научно изучает химические элементы, т.е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение и движение в пространстве-времени, их генетическое на нашей планете соотношение».

По А.Е. Ферсману, «Геохимия изучает историю химических элементов - атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических условиях природы». Известен ряд других определений: «Геохимия есть естественная история химических элементов» - А. Поланьский и К. Смуликовский. «Геохимия есть наука о распределении - концентрации и рассеянии химических элементов в земной коре» - В.И. Лебедев. «Геохимия - это история атомов Земли» - А.И. Перельман.

Современная геохимия охватывает проблемы из различных областей естествознания - геохимию изотопов, ядерную геохимию, геохимию редких и рассеянных элементов в почвах, геохимию ландшафта, физическую геохимию, гидрогеохимию, геохимию ноосферы и другие, со своими задачами и проблемами.

Окончив Петербургский университет, где его учителями были В.В.Докучаев, Д.И. Менделеев, А. А. Иностранцев, А.М. Бутлеров, В.И. Вернадский в 1891 г. возглавил кафедру минералогии в Московском университете. Здесь сложился коллектив «большой силы»: А.Е. Ферсман, Я.В. Самойлов, П.П. Пилипенко, А.А. Иванов, возникла блестящая школа минералогов и геохимиков. В.И. Вернадский создает генетическую минералогию, придавая минералогии новое содержание. От химии минералов, от изоморфизма, энергетического анализа природных процессов В.И. Вернадский пришел к изучению *атома*, к его истории и поведению в геологических процессах, т.е. к геохимии.

Признаки научного мировоззрения... таковы, что птолемеёво представление о Вселенной входило, по справедливости, в состав научного мировоззрения известной эпохи и, в настоящее время, в нашем научном мировоззрении есть части, столь же мало отвечающие действительности, как мало ей отвечала царившая долгие века система эпициклов...

Именем научного мировоззрения мы называем представление о явлениях доступных научному изучению... Определенное отношение к окружающему нас миру явлений, при котором каждое явление входит в рамки научного изучения и находит объяснение не противоречащее основным принципам научного искания.

**В.И.Вернадский
«Наука и биосфера» 1930 г. (с. 19)**

Некоторые первоочередные задачи можно сформулировать так:

- **Поведение и формы нахождения химических элементов в различных оболочках Земли (геосферах и при различных геологических процессах).**
- **Условия и закономерности миграции - концентрация (образование месторождений) и рассеяние химических элементов.**
- **Изучение изотопов химических элементов для определения возраста пород, источников вещества, палеотемператур.**
- **Изучение изоморфных смесей; описание типоморфизма минералов.**
- **Геохимическое описание отдельных регионов земной коры.**
- **Совершенствование методик геохимических исследований.**
- **Изучение миграции химических элементов в связи с деятельностью человека.**
- **Изучение космических объектов.**

Вот некоторые *проблемы* геохимии:

- Геохимическая зональность.
- Законы дифференциации вещества Земли.
- Геодинамика и магматизм.
- Геохимия мантии Земли.
- Кинетика и динамика процессов (магматического, гидротермального и др.).
- Химизм природных процессов минерале- и рудообразования; источники рудного вещества.
- Поиски минерального сырья.
- Происхождение химических элементов.
- Рациональное (комплексное) использование земных ресурсов.
- Гипергенное минералообразование.
- Геохимия ноосферы.
- Сохранение среды жизнеобитания.
- Геохимия внутриматериковых вод.
- Закономерности и механизмы осадкообразования.
- Связи геохимии и космохимии.

Методы исследования.

Поскольку геохимия - наука комплексная, она использует весь арсенал методов сопредельных наук.

- *Химические* методы - химический анализ, полярография, фотоколориметрия, измерение pH и Eh, термография, деривато-термография, гомогения и другие;
- *физические* методы - рентгеновский (рентгенофазовый, рентгено-структурный, рентгеноспектральный), спектральный, люминесцентный, радиометрический, изотопный, магнитометрический, микрозондовый анализы, электропарамагнитный резонанс, ИК-спектроскопия, оптическая спектроскопия, ядерная гамма-резонансная спектроскопия, растровая электронная микроскопия [62, 43];
- *геологические* методы - геологическое картирование, палеонтологический, стратиграфический методы, микроструктурный анализ, шлиховой метод, оптическая петрография, минераграфия, литологический анализ пород, геофизический метод, стереометаллогенические исследования.

Собственные геохимические методы

- *Методы составления диаграмм* с целью классификации магматических пород, определения первичного состава метаморфических толщ, выделения магматических серий (дивариантные и тройные вариационные диаграммы), определения геодинамических обстановок формирования пород (тектоническая реконструкция) с использованием дискриминационных диаграмм. В основе этих методов лежат геохимические данные - содержания в породах главных химических элементов и элементов-примесей.
- При изучении осадочных пород широко используется *методика петрохимических модулей* (отношения петрогенных оксидов), которая позволяет решать ряд геологических задач: классификация осадочных пород, реконструкция физико-химических и геодинамических условий накопления и др.
- *Геохимическое картирование* включает составление геохимических разрезов, профилей, карт геохимических трендов. В основе метода лежит понятие о кларках элементов.
- *Геохимические методы поисков* месторождений полезных ископаемых (литохимические, гидрогеохимические, атмохимические, биогеохимические) по первичным и вторичным ореолам рассеяния. Принципы геохимических методов поисков: особенности формирования ореолов, поисковые критерии и признаки (ассоциации элементов, геохимические индикаторы K/Rb, Mg/Li, Zr/Hf, Al/Ga, Th/U, Ca/Sr и др., минералы-концентраторы).
- Соотношение пар стабильных изотопов в породах и минералах. Обычно используются значения $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$.
- Методы абсолютной геохронологии.

/ этап – эмпирический

- *Агрикола* (1494 - 1555) - врач, металлург, минералог. Оставил многочисленные работы по рудным месторождениям того времени. Его геохимические идеи связаны с происхождением минералов, отложившихся, по его представлениям, из растворов, протекавших по трещинам. *Р. Бойль* (1627 - 1691) - основатель учения о химических элементах. *А. Лавуазье* (1743 - 1794) выделил в чистом виде 31 элемент. Современные представления об элементе исходят из понятия, данного Лавуазье. *М.В. Ломоносов* (1711 - 1765) был убежденным атомистом. Он заложил основы химико-генетического направления в минералогии. В его работах также высказаны серьезные геохимические идеи, выделен ряд поисковых критериев (минерализованные воды, цвет зоны окисления руд, оседание почвы под зонами окисления сульфидных руд, характер растительности и др.). Ясно представляя связь минералогии с химией, он сформулировал и обосновал закон сохранения вещества - фундаментальный закон всего естествознания. Во многих вопросах он опередил науку своего времени. В его честь назван минерал ломоносовит $\text{Na}_2\text{Ti}[(\text{Si},\text{P})\text{O}_4]_3\text{O}$.

- *Р. Гаюи* (1743 - 1822) ввел понятие об элементарном кристалле - прообразе элементарной ячейки. *Р. Гаюи* и *Ж. Роме де Лиль* - представители морфолого-описательного направления, создали основу для такой точной науки, как кристаллография (открытие закона целых чисел, описание форм кристаллов и др.).
- *Дж. Холл* (1801 г.) первым превратил мел в кристаллический мрамор. *Ж. Гей-Люссак* в 1823 г. получил гематит. *Ф. Фуке* и *Мишель-Леей* в лаборатории получили порообразующие минералы - олигоклаз, лабрадор, нефелин, лейцит. Позднее в той же лаборатории молодой *В.И. Вернадский* синтезировал силлиманит и разработал основы классической теории строения алюмосиликатов (1891 г.). *К. Дельгер* получил сульфиды (пирит, пирротин, галенит, киноварь, халькопирит, борнит, бурнонит и др.). *К.Д. Хрущев* (конец XIX в.) синтезировал кварц, тридимит, магнезиальную слюду, роговую обманку, циркон. *А. Морозевич* получил искусственные кристаллы корунда, силлиманита, энстатита, авгита, содалита, кордиерита.

В XIX веке полностью оформились как самостоятельные науки минералогия, кристаллография, петрография, палеонтология. *Г. Гесс* (1840 г.) сформулировал законы, положившие начало термохимии, а затем и кристаллохимии (минерал гессит Ag_2Te). *И.Я. Берцелиус* (1779 -1848) назвал минералогию «химией земной коры». Он открыл Ce , Se , Th , Ta . Получил в чистом виде Si . В его честь назван минерал берцел-лианит Cu_2Se .

- *В.М. Севергин* (1765 - 1826), развивая химико-генетическое направление, ввел важнейшее геохимическое понятие «об естественных ассоциациях минералов», о парагенезисе, которое он назвал «смежность минералов».
- *Х.Ф. Шенбейн* (1799 - 1868) - швейцарский химик, в 1838 г. впервые произнесший слово «геохимия». Он писал: «С уверенностью можно утверждать, что геологи не вечно будут следовать тому направлению, последователями которого они являются сейчас. Они, для расширения своей науки, как только окаменелости не смогут достаточно служить им, должны искать новых вспомогательных средств и без сомнения тогда введут в геологию минералогически-химический элемент. Время, когда это свершится, кажется мне не столь далеким».

В середине XIX века были высказаны мысли явно геохимического характера. *Карл Бишофф* (1792 - 1870) - немецкий ученый - нарисовал картину истории многих элементов, в круговороте которых принимает участие вода, показал, что история элемента может быть представлена в виде кругового процесса. Он, также впервые, геохимически проанализировал судьбу отдельных элементов при остывании магмы; выяснил концентрацию элементов в горных породах и коре выветривания; отметил, что наибольшее количество элементов приурочено к гранитам (Sn, W, Mo, Nb, Ta, U, Th, P3). Он - плутонист, основатель контракционной теории (в его честь назван минерал бишоффит $MgCl_2 \cdot H_2O$). *И. Брейтгаупт* (1791 - 1873) установил закономерности ассоциаций минералов. Ввел в науку термин «парагенезис» минералов (минерал брейтгауптит NiSb).

Фундамент для возникновения геохимии заложили работы *Д.И. Менделеева* (1834 - 1907) - периодический закон (1869) и *Р. Бунзена, Г. Кирхгофа* - открытие спектрального анализа (1859). Нужно еще отметить следующие открытия: *А.М. Бутлеров* в 1861 г. открыл закон строения химических соединений; *У. Крукс* в 1880 г. открыл катодные лучи, представляющие собой поток электронов; *Е. С. Федоров* в 1890 г. открыл законы строения кристаллов, установил 230 пространственных групп симметрии; *В.К. Рентген* в 1895 г. открыл рентгеновские лучи (невидимые глазом электромагнитные излучения с длиной волны 10^{-5} - 10^{-2} нм). Он был первым лауреатом Нобелевской премии. *А.А. Беккерель* в 1896 г. открыл радиоактивность (нобелевский лауреат 1903 г.); *П. Кюри* и *М. Складовская-Кюри* исследовали радиоактивное излучение. Открыли *Po, Ra* в 1898 г. (Нобелевская премия 1903 г.).

Перечнем этих имен и работ не ограничивается содержание эмпирического периода. К концу XIX века уже наметился переход от описательной минералогии к познанию жизни минералов и природных химических процессов возникновения минералов - утверждение химии в минералогии.

II этап - аналитический (физико-химический)

Это конец XIX и начало XX века. Ему предшествовали величайшие открытия в области физики и химии. Э. Резерфорд в 1911 г. предложил планетарную модель атома; открыл α - и β -лучи. Первый осуществил искусственную ядерную реакцию. Предсказал существование нейтрона (Нобелевская премия в 1908 г.). М. Лауэ в 1912 г. открыл дифракцию рентгеновских лучей на кристаллах (Нобелевская премия 1914 г.). Н. Бор в 1913 г. предложил теорию строения атома. Он является одним из создателей современной физики (Нобелевская премия 1922 г.). Ф. У. Кларк (1847 - 1931), будучи главным химиком геолкома США, явился одним из основоположников геохимии. Его работы по определению состава земной коры стали фундаментом геохимии. Как самостоятельная наука геохимия оформилась в начале XX века в России благодаря гениальным трудам В.И. Вернадского (1863 - 1945).

Основополагающие идеи В.И. Вернадского - *минералогия есть история минералов в земной коре*; минерал - это продукт химических реакций, химическое соединение, устойчивость которого определяется термодинамическими параметрами (P , T , концентрация и др.). С именем В.И. Вернадского связано начало дифференциации геохимии (биогеохимия, радиогеология). Он впервые сформулировал задачи и проблемы геохимии, указал место ее среди других наук и пути ее развития. Им дана история химических элементов в земной коре: C, Al, Th, Cu, U и др. Он выделил «состояние рассеяния» элементов как одну из форм нахождения - «неминеральную»; дал геохимическую классификацию элементов (позже это сделали и другие ученые). В.И. Вернадский исключительно глубоко и точно определил роль радиоактивных элементов (и явление радиоактивности) и их значение в жизни Земли.

Этот этап истории геохимии связан также с именами петрографов - *И. Фогта* (1858 - 1932) и *П. Ниггли* (1888 - 1953). Они заложили основу физико-химической петрографии, которая открыла широкие возможности для определения химического состава земной коры. Позже, в 50 — 70-е годы XX столетия вопросами физикохимии процессов минералообразования при метаморфизме и метасоматозе занимался Д.С. Коржинский и его последователи Л.И. Шабынин, В.А. Жариков, А.А. Ма-ракушев, Л.Л. Перчук и др.

III этап - кристаллохимический

В 30-е и 40-е годы XX века основное развитие геохимии проходило по кристаллохимическому направлению благодаря выдающимся работам *В.М. Гольдшмидта* (1888 - 1947) - представителя норвежской школы. Известно, что в растворах и расплавах элементы чаще всего находятся в состоянии ионов, и при их взаимодействии большое значение приобретают параметры - размер (радиус) и заряд (валентность). Именно этими вопросами и занялся В.М. Гольдшмидт. Им впервые экспериментально определены размеры радиусов атомов и ионов, что позволило объяснить закономерности изоморфизма, формы кристаллов, предсказывать ассоциации. В.М. Гольдшмидт сформулировал первый закон кристаллохимии и правила изоморфизма. В своей докторской диссертации, посвященной явлениям контактового метаморфизма, он сформулировал минералогическое *правило фаз* (при изменяющихся T и P число фаз — минералов определяется числом компонентов, участвующих в реакции). В.М. Гольдшмидт исследовал историю (миграцию) элементов семейства железа (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni), а также распространение в земной коре Se, Li, Rb, Cs, Be, As, Au, B, элементов группы Pt и TR, дал геохимическую классификацию.

В этом направлении работали также В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, А.Ф. Капустинский, У.А. Брегг, К. Шибольд, Л. Паулинг, Ф. Махачки, Г. Хевеши, Т. Барт, П. Ниггли, Н.В. Белов, Г.Б. Бокий и другие ученые.

IV этап - геоэнергетический

Этот этап связан с именем *А.Е. Ферсмана* (1883 - 1945). В 1912 г. А.Е. Ферсман прочитал первый курс новой науки - геохимии. Им создано более 1000 трудов и среди них уникальные монографии: «Пегматиты», «Геохимия» (пятитомник) - неисчерпаемый источник мыслей и идей, «Полезные ископаемые Кольского полуострова». Последняя была удостоена Государственной премии 1-й степени в 1942 г., а в 1943 г. А.Е. Ферсману была присуждена высшая геологическая награда мира Английским королевским обществом - медаль Волластона, сделанная из палладия.

Идеи А.Е. Ферсмана в области энергии геологических процессов подняли минералогию и геохимию на новую ступень развития. Все природные процессы и явления он рассматривал с энергетических позиций (кларки, миграция, изоморфизм). Ему принадлежат термины:

«кларк», «геофаза», «гипергенез», «миграция элементов», «параген», «эндокриптия», «геохимические уровни и ступени» и др. А.Е. Ферсман разработал теоретические основы геохимических методов поисков, дал определение геохимии и геохимическую классификацию элементов, выделил факторы миграции и изоморфизма.

Позже вопросами геоэнергетики занимались А.Ф. Капустинский, А.А. Сауков, В.И. Лебедев, В.С. Урусов и др.

Некоторые направления геохимии в настоящее время

- **I. Физико-химические исследования** процессов формирования минералов, горных пород и руд, земной коры и мантии. Это направление привело к формированию самостоятельной науки - *физической геохимии*, которая включает изучение всех процессов (магматического, гидротермального и др.), с одной стороны, и физико-химическое моделирование процессов - с другой. Таким образом, задача науки - установление генезиса минералов, пород и руд - решается двумя подходами - историческим (геологические методы) и моделированием. Последнее предполагает владение математическим и физико-химическим аппаратами. Положительных результатов в этом направлении достигли работы Д.С. Коржинского, начатые в 50-е годы XX века; ведущую роль сыграли труды А.Н. Заварицкого, Н.В. Белова, В.А. Николаева, В.С. Соболева, Л.Н. Таусона и др.

Методы исследования физической геохимии: физико-химический анализ парагенезисов минералов; физико-химические расчеты; экспериментальное моделирование; физико-химическое теоретическое моделирование.

- **II. Прикладная геохимия**, к главным направлениям которой относятся *геохимические методы поисков* месторождений полезных ископаемых, геохимические основы металлогении и прогноза, индикаторные свойства химических элементов в геологических процессах, радиогеохронология, геохимия ноосферы, эволюция природных экосистем и др.

Методы: литохимические, гидрогеохимические, атмохимические, биогеохимические; структурно-геохимический метод изучения околорудных метасоматитов; стереометаллогенические исследования.

- **III. Геохимия элементов:** объектом исследования является конкретный элемент, его поведение и миграция в разных процессах и системах (геохимия редких элементов, геохимия газов).
- **IV. Гидрогеохимия, гидрогеология, геохимия океана.** Основные вопросы и проблемы: закономерности формирования термальных вод, установление баланса основных компонентов океана (Na, Mg, K, Cl, S и др.); происхождение вод океана и растворенных в нем веществ, эволюция океана; происхождение и геохимическая деятельность подземных вод; сохранение качества и ресурсов пресной воды.
- **V. Кристаллохимическое направление:** расшифровка структур минералов, изоморфизм, типоморфизм, энергия кристаллических построек. Совершенствование методов и методик исследования: рентгеноструктурный и химический анализы, минералотермометрия, газово-жидкие включения и др.
- **IV. Направление, связанное с новыми объектами:** глубинное бурение, космические объекты.