

С интересом был заслушан доклад ИАЭ им. Курчатова о перспективах использования ядерного гамма-резонанса (ЯГР) в качестве метода неразрушающего контроля. ЯГР позволяет изучать структуру и фазовый состав различных металлов и сплавов в поверхностном слое на глубине до 8000 Å.

На НВАЭС с успехом применен метод виброакустического контроля, основанный на измерении и анализе структурных (технологических) шумов. В докладе ВТИ им. Дзержинского, посвященном этому методу, были приведены примеры повреждений, которые не могли быть обнаружены никакими другими методами.

Материалы конференции показывают, что за последние годы достигнуты заметные успехи в организации эксплуатационного контроля металла оборудования на АЭС. Созданы и уже применяются опытные устройства и установки для контроля надежности оборудования. Как показывают статистические данные, накопленные на БАЭС и НВАЭС, повышение эксплуатационной надежности оборудования путем непрерывного контроля за состоянием металла и сварных соединений, своевременное выявление и устранение дефектов положительно влияют на надежность и безопасность атомных электростанций, повышают коэффициент использования установленных мощностей и, в конечном счете, увеличивают производство электроэнергии. В то же время опыт эксплуатации требует создания специ-

альных систем и серийных комплектов средств дистанционного и неразрушающего контроля металла основного оборудования первых контуров АЭС.

На конференции отмечалось, что назрела необходимость разработать единые критерии оценки состояния оборудования в условиях эксплуатации. Необходимо также выбрать оптимальные методы контроля металла. По литературным данным, затраты на неразрушающий контроль оборудования тепловых электростанций составляют до 20% всех эксплуатационных затрат, а на АЭС они в два раза выше, так что выбор оптимальных вариантов контроля имеет большое экономическое значение. На совещании отмечалось, что назрела необходимость выпуска единого руководящего материала по контролю металла оборудования АЭС с реакторами различных типов. Немаловажной является задача подготовки специалистов по методам неразрушающего контроля.

Конференция прошла с большим успехом. Она позволила обобщить положительный опыт и наметить пути по дальнейшему развитию дистанционных неразрушающих методов контроля в эксплуатационных условиях, что будет, по мнению всех участников конференции, способствовать успешному решению проблемы повышения надежности и безопасности АЭС.

ВОРОНИН Л. М., КАРЕЛИН Е. П.

Второе Всесоюзное радиогеохимическое совещание

13–15 мая 1975 г. в Душанбе состоялось второе Всесоюзное совещание по проблеме «Радиоактивные элементы в горных породах». В центре внимания участников совещания, на котором было заслушано 40 докладов, находилась проблема миграции радиоактивных элементов в земной коре в различных геологических процессах. Наиболее обстоятельно эта проблема рассматривалась с геологических позиций — на основании полевого изучения различных геологических объектов и последующего лабораторного исследования каменного материала. Обсуждались также физико-химические условия миграции урана и тория, исходя из экспериментальных и термодинамических данных. Были заслушаны доклады, в которых освещалось поведение изотопов радиоактивных элементов в геологических процессах, влияние радиоактивности на тепловой режим Земли и некоторые другие вопросы.

Анализу закономерностей распространения радиоактивных элементов в геологических формациях на территории СССР был посвящен доклад А. А. Смыслова, А. И. Тугаринова, А. Б. Рогова, В. М. Терентьева, В. К. Титова и Г. М. Шор, которые обобщили большой фактический материал о содержаниях и формах нахождения урана и тория в минералах, горных породах и геологических формациях различных структурных зон. Это позволило установить соотношение процессов концентрации и рассеяния в зависимости от внешних факторов миграции. На основании анализа относительной роли отдельных геологических процессов (сингенетических — осадконакопления и магматизма, эпигенетических — регионального, контактового и гидротермального метаморфизма и эпигенетических преобразований, вызванных деятельностью подземных вод) в формировании зональности распределения урана и тория оценена общая направленность их миграции в зем-

ной коре в различные стадии ее геологического развития. В частности, в глубинных зонах докембрийских складчатых областей (гранулитовые фации) установлен существенный вынос урана и в меньшей степени тория снизу вверх в результате регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. В платформенную стадию развития земной коры перенос урана в двух формах (в растворенном состоянии и с обломками породообразующих и акцессорных минералов) приводит к появлению двух принципиально разных типов радиохимических провинций.

Типичной радиохимической особенностью фанерозойских складчатых областей является зональность, проявляющаяся в постепенном ослаблении миграции урана и тория от многоэпиклиналильных зон к эпигеосинклиналильным.

На основании изучения закономерностей распределения урана и тория в различных геологических формациях, а также ряда других геологических и геохимических особенностей, выделены радиогеохимические провинции на территории Средней Азии (Р. Б. Баратов, В. И. Козырев, С. И. Щукин) и Сибири (Ю. В. Ильинский). В последней выделяются две провинции, соответствующие областям палеозойской и протерозойской консолидации и характеризующиеся различным Th/U-отношением в породах важнейших геологических формаций.

Изучение ураноносности пород Украинского щита позволило установить большое влияние интенсивности метаморфических процессов и ураноносности первичного субстрата на распределение урана и тория в продуктах регионального прогрессивного метаморфизма. Последний вызывал широкое извлечение урана из исходных пород, которое усиливалось с увеличением степени метаморфизма. Наблюдается направленный

процесс обеднения ураном пород гранулитовой фации, где основными его носителями остаются лишь акцессорные минералы. Накопление же урана связано с конечными стадиями метаморфизма (Я. М. Белевцев, А. М. Жукова).

Важнейшая роль метаморфических процессов в рассеянии и концентрации радиоактивных элементов подчеркивалась и в других докладах. Было показано, что более надежным признаком потенциальной рудонности метаморфических комплексов является не повышенная среднефоновая концентрация, а дисперсия концентраций урана. Поскольку породы с высокими ее значениями, как правило, тектонически нарушены и структурно связаны с обширными полями метаморфитов, то они могут рассматриваться как источник рудного вещества. Фильтрующиеся через такие комплексы растворы предопределяют возможность мобилизации и преотложения не только урана, но и сопутствующих ему компонентов (селен, ванадий, молибден и др.), что подтверждается общностью руд и окружающих метаморфических пород (Н. П. Ермолаев).

Гидротермальный, контактовый и региональный метаморфизм эффузивных пород вызывает переход значительной части урана, находящегося в основной массе, в подвижную форму, что служит благоприятной предпосылкой для последующей его мобилизации. В связи с этим, области проявления кислого вулканизма с последующей тектономагматической активностью должны рассматриваться как наиболее перспективные на урановое оруденение (В. П. Ковалев, А. Д. Ножкин, А. Г. Миронова, З. В. Малясова). Существенное перераспределение урана вызывают процессы гидротермального метаморфизма. При этом калиевый и натровый метасоматоз и аргиллизация сопровождаются накоплением урана в измененных породах, тогда как формирование пропилитовых минеральных ассоциаций приводит к выносу урана.

Вторичные кварциты характеризуются низкими концентрациями радиоактивных элементов, хотя в некоторых случаях в них отмечаются локальные скопления урана и тория (Е. В. Плющев, Л. А. Рябова, В. В. Шатов). Высокотемпературное преобразование гнейсов в метаморфогенные гранат-сильманиитовые кварциты приводит к интенсивному выносу этих элементов, что указывает еще на один вероятный источник рудного вещества. (А. С. Митропольский, С. В. Мельгунов, В. П. Раевский).

В формировании геохимической зональности важнейшую роль играла миграция радиоактивных элементов по системам глубинных разломов (Ю. В. Ильинский). Установлено значительное перераспределение радиоактивных элементов в пределах долгоживущих региональных разломов щитов. При этом на прогрессивной стадии образования тектонитов повсеместно фиксируется вынос урана и тория (до 30—60% от исходного количества во вмещающих породах) по мере усиления степени дислокационного метаморфизма. Последнему приписывается определяющая роль при подготовке пород к рудообразованию для широкого круга урановорудных формаций различного возраста. Тектониты зеленосланцевой серии (диафториты) рассматриваются как один из основных источников урана при формировании гидротермальных месторождений (В. К. Титов, Т. В. Билибина, А. Д. Дашкова, В. К. Ильгин, Д. И. Макарова, Л. Я. Шмураева).

Несмотря на то, что проблема источника радиоактивных элементов в рудных месторождениях не была предметом специального обсуждения на совещании, она в той или иной мере затрагивалась в многих до-

кладах. При этом в некоторых из них подчеркивалась роль глубинных источников. Результаты изучения на Памире трубок взрыва калиевых щелочных пород и заключенных в них ксенолитов позволили установить повышенные содержания радиоактивных элементов в нижних горизонтах земной коры и в верхней мантии, а также в глубинных магматических выплавах (Э. А. Дмитриев). В вертикальном сечении гранитоидных массивов максимальные концентрации урана приурочены к центральному и нижним их частям, тогда как из верхних частей уран рассеивался во внешние зоны интрузивных камер. Вследствие этого, гранитная магла, давшая начало пермо-триасовым интрузивам района, может служить источником урана в последующих процессах (С. М. Бабаходжаев). Привнесу урана с эндогенными флюидами, поступающими в воды бассейнов, отводится важное место при формировании даже осадочных урановых месторождений (М. Н. Альтгаузен). О накоплении урана в остаточных порциях расплавов и флюидной фазе при магматической кристаллизации свидетельствуют результаты изучения локального распределения урана в магматических породах с применением метода остывающей радиографии. Магматическая порода с находящимися в ней поровыми растворами рассматривается как долгоживущая диффузионная система, в которой происходит непрерывный переход урана из акцессориев во вторичные минералы (лейкоксен, опилы и гидроксиды железа, хлорит и др.). Уран, связанный с этими минералами, легко выщелачивается из пород, в результате чего последние могут быть источником металла в экзогенно-эпигенетических месторождениях (Б. И. Омеляненко, О. П. Елисеева).

Анализу условий мобилизации и осаждения урана при современном осадкообразовании был посвящен доклад А. В. Коченова и С. Д. Расуловой, которые выделили главные типы концентраций в современных водоемах и показали, что современным концентрациям соответствуют их аналоги среди древних осадочных ураноносных пород и руд. Установлено, что испарительное концентрирование в содовых озерах сопровождается увеличением содержания урана пропорционально росту содержания карбонат-иона. При этом уран не переходит в богатые восстановителями илы, характеризующиеся низкими значениями Eh (—330 мВ). Для перевода урана из содовых вод в твердые фазы необходимо понижение pH; градиенты pH приводят к перераспределению урана и в осадочных толщах (В. М. Гавшин, В. А. Бобров, Б. А. Воронников, Н. М. Николаева, А. О. Пяллинг). В процессах накопления урана в твердых битумах и бурых углях локальные взаимодействия растворов с органическими веществами в местах их непосредственного контактирования вероятно играли не менее важную роль, чем осаждение урана на широко проявленных в пространстве геохимических барьерах, которые могли вообще отсутствовать (В. Ф. Пенсков, В. А. Успенский). Вместе с тем, осаждение урана на геохимических барьерах могло вызываться понижением окислительно-восстановительного потенциала, связанным с присутствием сульфатредуцирующих бактерий, что подтверждается экспериментальными данными (Е. М. Шмаринов, Г. Ф. Агапова, Д. Н. Хитаров).

На конкретном примере расшифровки условий образования древнего инфильтрационно-эпигенетического уранового оруденения была продемонстрирована эффективность применения для этой цели комплекса современных геологических и физических методов (С. Д. Расулова, А. С. Столяров).

Значительное место в работе совещания заняло обсуждение физико-химических условий миграции радиоактивных элементов. Известные в настоящее время общие закономерности миграции не вскрывают значительных различий в поведении радиоактивных элементов в конкретных геологических ситуациях, что обусловлено одновременным влиянием значительного числа взаимосвязанных факторов, проявляющихся в различных сочетаниях. Для решения проблемы необходимо использовать кибернетические модели, построение которых требует привлечения как физико-химической, так и геологической информации. Первая формирует опорные узлы модели, вторая определяет структуру их сочленения, начальные и граничные условия. Универсальность, многомерность и разномасштабность кибернетической модели позволяет разрешить многие трудности, возникающие при попытках построения универсальных генетических классификаций по внешним признакам (Г. Б. Наумов).

К физико-химической информации, необходимой для теоретического рассмотрения условий миграции, относятся, прежде всего, стандартные термодинамические функции веществ и константы равновесия химических реакций. Их определение составляет важнейшую задачу экспериментальных исследований, выполняемых в связи с изучением проблемы миграции. Так называемый моделирующий эксперимент имеет ограниченное значение из-за невозможности достаточно строгого контроля за условиями его проведения, что определяет несопоставимость экспериментальных данных, получаемых разными авторами и, следовательно, невозможность их постепенного накопления и последующего обобщения (Р. П. Рафальский). Что касается экспериментального определения при повышенных температурах констант устойчивости комплексов урана и тория, то в этом направлении в последние годы проводится большая работа, которая сопровождается критическим анализом литературных данных с целью выбора наиболее надежных значений констант при стандартных условиях (И. Л. Ходаковский, Г. Б. Наумов, А. А. Никитин, Э. И. Сергеева, О. Ф. Миронова, А. П. Жидикова). Вместе с тем, на основании результатов моделирующих экспериментов сделана попытка классификации некоторых изверженных и метаморфических пород по их способности к осаждению урана из гидротермальных растворов (В. Б. Коваль, В. И. Николаенко).

Экспериментальное изучение условий образования браннерита и давидита позволило установить, что для синтеза этих минералов в гидротермальной обстановке благоприятна кислая среда, тогда как при воздействии растворов, имеющих близонейтральную или щелочную реакцию, происходит разложение браннерита с образованием окислов (К. Г. Королев, Г. В. Румянцева). Растворению первичных урановых минералов и последующему перераспределению урана в природных условиях способствует их метамиктный распад; прежде всего, это относится к коффиниту (Ю. М. Дымков, В. Г. Павлов). Путем изучения природных минералов урана методом рентгеновского микрозондового

анализа получены интересные сведения о миграции в них радиогенного свинца. Незначительно окисленные настураны независимо от возраста характеризуются равномерным его распределением, однако при окислении и гидратации настурана радиогенный свинец существенно перераспределяется. Неравномерным распределением свинца отличаются также коффиниты и браннериты, которые могут терять значительную его часть. Расстояния, на которые мигрирует свинец при отсутствии наложенных процессов, достигают 1000 мкм. Полученные данные интересны для оценки возможностей использования различных урановых минералов для определения их возраста свинцовым методом (В. В. Павшук, Л. В. Комлев, Е. Б. Андерсон, И. Г. Смыслова). Новые перспективы исследования миграции радиоактивных элементов и определения возраста оруденения открывает изучение радиационных дефектов в кварцах методом электронного парамагнитного резонанса (А. М. Данилевич, В. В. Павшук).

В работе совещания нашли свое отражение также вопросы использования данных по изотопии радиоактивных элементов в геологических исследованиях (В. И. Малышев; Д. К. Осипов и Р. С. Журавлев; В. В. Ананьев, Л. Д. Леонова, Н. А. Титаева, В. В. Аникина), оценки радиогенной составляющей в тепловом режиме Земли (В. А. Любимова, А. И. Тугаринов, Н. И. Аршавская, О. П. Соборнов; А. А. Смыслов, У. И. Моисеев; Ю. П. Булашевич, Ю. В. Хачай), некоторые методические вопросы определения радиоактивных элементов в горных породах (О. П. Соборнов; А. Л. Якубович и М. Е. Коцен; Б. М. Моисеев и Л. Т. Раков). Была подчеркнута необходимость создания общесоюзных стандартов, в которых радиоэлементы были бы определены в соответствии с требованиями геохимии и аналитическими возможностями (О. П. Соборнов). Обсуждались закономерности формирования радиогеохимического фона горных пород (Ю. В. Ильинский, Г. Б. Кочкин) и подземных вод (Е. Н. Купель).

В заключительном докладе А. И. Тугаринова были затронуты узловые вопросы проблемы миграции радиоактивных элементов в земной коре: о происхождении урановых провинций, методических подходах к изучению источника урана в рудных месторождениях, новых методах определения содержания урана в горных породах и некоторые другие. В целом, работа совещания свидетельствует о значительном прогрессе в разработке проблемы, достигнутом за последние годы. Особенно заметны успехи в изучении региональной зональности радиоактивных элементов в связи с их миграцией и радиохимическом районировании СССР, в изучении поведения радиоактивных элементов в конкретных геологических обстановках, в исследованиях физико-химических условий миграции, выполняемых с применением современных экспериментальных и расчетных методов. Успешное решение ряда вопросов, так же как дальнейшие задачи изучения поведения радиоактивных элементов в геологических процессах, нашли свое отражение в решении совещания.

РАФАЛЬСКИЙ Р. П.