

электроника становится релятивистской. Над этой проблемой работают также ФИАН, ИАЭ им. И. В. Курчатова и ИЯФ СО АН СССР.

Наиболее важными приложениями плазменной электроники являются:

1) разработка методов нагрева плазмы и, возможно, в отдаленном будущем создание импульсного термоядерного реактора;

2) разработка генераторов СВЧ-диапазона;

3) разработка новых коллективных методов ускорения.

Подробно о плазменной электронике было рассказано Я. Б. Файнбергом. Основные достижения в этом направлении:

1) создание сильноточных ускорителей;

2) разработка теории коллективного взаимодействия релятивистских пучков с плазмой, теории предельных токов, газовой самофокусировки, теории компрессии собственного магнитного поля пучка электронов в плазме;

3) разработка теории и эксперименты по управлению пучковыми неустойчивостями и трансформации волн.

Особый интерес представляют эксперименты по когерентному взаимодействию модулированных электронных пучков с плазмой.

О физике плазмы и космических явлениях рассказал Р. З. Сагдеев.

В качестве примера использования физики плазмы в космических явлениях можно отметить, что на основе нелинейной теории плазменной турбулентности был объяснен широкий круг явлений, в том числе степенная зависимость энергетического спектра быстрых частиц. Как известно, такой спектр наблюдается и у космических лучей, и у релятивистских электронов. Были рассчитаны радиовсплески на Солнце и т. д. (ФИАН).

В настоящее время построены магнитогидродинамические модели для объяснения природы хромосферы протуберанцев, радиоисточников над солнечными пятнами и т. д. (Государственный астрономический институт им. Штернберга).

Большой интерес вызвал доклад Я. Б. Зельдовича о модели горячей Вселенной.

О совершенно неожиданных свойствах свободного плазменного шнура в ВЧ-поле рассказал П. Л. Капица. Весьма высокие полученные параметры плазмы, тонкие экспериментальные методы исследований дают основание думать, что здесь мы имеем дело с новыми и не всегда до конца понятными свойствами плотной высокотемпературной плазмы.

Следующая сессия Научного совета по проблеме «Физика плазмы» состоится в марте 1973 г.

М. С. РАВИНОВИЧ

Первое всесоюзное радиогеохимическое совещание

15—19 мая 1972 г. в Новосибирске состоялось Первое всесоюзное совещание по радиоактивности горных пород и гидросферы. Оно подвело итог знаниям, накопленным за десятилетия, и наметило кардинальные направления радиогеохимических исследований на будущее. В организации и проведении Совещания приняли участие многие видные ученые нашей страны.

Было заслушано 47 докладов, посвященных поведению радиоэлементов в экзогенном, магматическом, метаморфическом и гидротермальном процессах, а также методикам радиогеохимического картирования территории СССР, определения урана, радия и тория в геологических объектах и использованию данных о концентрациях радиоэлементов в смежных областях геохимии и геологии.

В историческом обзоре исследований по геохимии радиоэлементов (Л. В. Комлев) сформулированы важнейшие проблемы радиогеологии, разработка которых является развитием творческого наследия Джולי, Кларка, Вернадского. При этом особое внимание уделено проблемам геохронологии и теплового баланса Земли. Применение методов свинцовой изотопии (С. Ф. Карпенко) позволяет не только выделить перспективные по рудоносности районы, но и наметить рудопроизводящие зоны, залегающие в соседстве с локальными концентрациями радиоэлементов. Изучение геохимических свинцовых аномалий при решении проблемы источника рудного вещества и генезиса месторождений открывает перспективы для исследования свинцово-цинковых залежей (А. А. Тычинский, Л. Д. Шпилов и др.), а также для исследования динамики становления кор выветривания (В. И. Балабанов). Использование данных радиогеохимии горных пород, особенно относящихся к глубоко метаморфизованным осадкам и ман-

тейным продуктам, позволяет анализировать тепловые потоки в земной коре (Е. А. Любимова). Изучение эволюции локального очага разогрева показывает, что перераспределение естественных радиоэлементов — реальный фактор возникновения теплового фронта. При этом для объяснения природных процессов вполне применима динамическая модель механизма зонной плавки.

Среди общих вопросов радиогеологии особое место принадлежит анализу содержания урана и тория в минеральном веществе земной коры различных «уровней организации» (А. А. Смыслов). Изучение радиогеохимических особенностей на низшем (минеральном) уровне показало резкую дифференцированность концентраций урана и тория (различия средних концентраций до пяти порядков). С повышением уровня организации (горные породы → геологические формации → отдельные слои земной коры) неоднородность распределения урана и тория уменьшается. Их средние содержания отличаются не более чем на порядок. Устанавливается прямая корреляционная связь радиоэлементов с некоторыми петрогенными элементами.

Различия в кларках при анализе геохимической миграции не позволяют сравнивать абсолютные содержания элементов в разных геохимических системах. Правильнее в этих случаях сравнивать кларки концентраций (А. И. Перельман). Применительно к гипергенной геохимии урана сравнение кларков концентраций позволяет считать, что уран — элемент с сильно выраженными «гидрофильными» свойствами (характерна контрастная и энергичная водная миграция) и слабо проявленными «биофильными» (не концентрируется живым веществом).

В обобщающем докладе по геохимии урана в осадочном процессе (М. Н. Альтгаузен) суммированы пред-

ставления об условиях миграции и осаждения урана в конгломератах, пестроцветных песчано-глинистых отложениях, углях, битуминозных породах, фосфоритах и т. д. Отмечены прямо противоположные представления об источниках урана, времени и способах его накопления. Это вызвано как пробелами в изучении природных объектов, так и недостаточным развитием экспериментальных физико-химических исследований. Кроме того, мало внимания уделяется теоретическому анализу условий совместной миграции и накопления элементов, сопутствующих урану.

Углеродистые осадочные образования как концентраты урана и других редких элементов вызвали широкое обсуждение. Повышенные, в том числе рудные, концентрации урана, германия, молибдена, бериллия в отложениях угленосных формаций имеют различную природу: седиментационно-диагенетическую, эпигенетическую, полигенную (В. И. Данчев, Н. П. Стрелянов, Г. Я. Островская и др.). Критериями сингенетичности уранового оруднения в углях может служить его пространственная сопряженность с фациальными зонами древних торфяников, скоплениями растительных остатков в аллювиально-пойменных отложениях и т. д. О формировании рудных концентраций на стадии диагенеза свидетельствуют слоистые и конкреционные текстуры руд, положение рудных галек в пределах внутрiformационных несогласий и т. д. Наконец, критериями эпигенетического генезиса концентраций урана являются их приуроченность к зонам тектонических нарушений, рудные текстуры замещения, рудоконтролирующая роль эпигенетической зональности. Детальный фазовый анализ органического вещества и урановой минерализации (В. А. Успенский и др.) показывает, что в продуктах эпигенеза тяжелые битумы (асфальтены, керогены) цементируют более ранние выделения собственно урановых минералов, т. е. являются разновозрастными образованиями.

При анализе распределения радиоактивных элементов в осадках молодых чехлов (мезокайнозойского возраста) на древнем складчатом фундаменте намечается четкая зависимость содержания урана, тория и торий-уранового отношения от литологического состава пород и их фациальной принадлежности (Г. М. Шор, В. П. Воробьев). Установлено снижение величин радиогеохимических характеристик в ряду терригенные → терригенно-карбонатные → карбонатные породы и в направлении смены континентальных условий осадконакопления морскими. Концентрации урана в значительной мере определяются окислительно-восстановительными свойствами пород.

Исследование современного морского осадконакопления (Ю. В. Кузнецов, В. К. Легин и др.) на колонках красных глин, фораминиферовых, диатомовых, радиоляриевых и терригенно-аутигенных осадков, железомарганцевых и карбонатных конкреций позволяет вскрыть первичные и вторичные физико-химические процессы, предопределяющие соотношение концентраций урана, тория, радия и тория в вертикальном разрезе. Пересчет в различных по составу осадках концентраций радиоэлементов до уровня сравнения позволяет успешно использовать ионий-радиевое отношение для исследования возраста и динамики осадконакопления.

В сводном докладе по геохимии радиоэлементов в магматическом процессе (А. И. Тутаринов) сформулированы основные концепции, касающиеся роли магм в рудообразовании. Подчеркнуто, что неизменность торий-уранового отношения в различных фазах интрузивов

доказывает прочность связи радиоэлементов с расплавом и свидетельствует против их выноса из расплава с флюидами. Однако процесс фельзитизации и перлитизации вулканического стекла липаритовых формаций сопровождается освобождением части урана, что фиксируется изменением торий-уранового отношения. «Миграционная активность» радиоэлементов в магматическом процессе в ходе геологического времени повышается, т. е. в более молодых интрузивах возрастает роль подвижной формы урана и тория. Эта закономерность для гранитоидов согласуется с данными свинцово-урановой и свинцово-ториевой пастозности. В микроклинах, возраст которых составляет 3 млрд. лет, эти отношения характеризуются значительным постоянством. С двухмиллиардного возраста начинается и затем возрастает разброс этих значений. Появляются интрузии, обогащенные или обедненные Pb^{206} и Pb^{207} . Эта тенденция соответствует представлениям о минимальной дифференцированности земной коры, в которой зарождаются гранитоиды, три миллиарда лет назад, когда еще не было локальных концентраций урана, тория, свинца в специфических осадках. Процесс дифференциации начинается в раннем протерозое (2,6—2 млрд. лет назад), когда возникают первые карбонатные толщи, джеспилиты и т. д. Гранитоиды, зарождавшиеся в этой пестрой толще, наследовали ее радиоактивность, что отразилось на отклонениях от средней кривой эволюции свинцов.

При возникновении интрузивов основного состава сказывается влияние подкоровых очагов. Однако далеко не всегда можно проследить относительное значение этих двух источников радиоактивности в расплавах: палингенового и мантийного. Вариант решения проблемы предложен на основании сравнительного анализа поведения урана и тория в процессах вулканического и плутонического магматизма (В. П. Ковалев). Интрузивные и эффузивные производные, принадлежащие двум генерациям магм, резко отличны по радиогеохимическим характеристикам и имеют мантийное (первое) и коровое (второе) происхождение.

На основании данных о концентрациях и соотношениях урана и тория можно получить дополнительные характеристики щелочных магм натровой и калиевой серий, а также разделить щелочно-olivин-базальтовые и толеит-базальтовые расплавы (В. И. Герасимовский). Содержание радиоэлементов в таких магмах определяется условиями генерации расплавов в пределах верхней мантии, но не взаимодействием их с материалом земной коры.

В обобщающем докладе по геохимии радиоэлементов в метаморфическом процессе (Я. Н. Белевцев) подчеркнута определяющая роль перераспределения вещества при формировании рудных концентраций. При прогрессивном и регрессивном метаморфизмах горных пород происходит дифференциация урана и тория, предопределяющая возникновение как собственно метаморфогенных месторождений или (при ультраметаморфизме) расплавов повышенной радиоактивности, так и выход радиоэлементов в гидротермально-метасоматические процессы.

Механизмы перераспределения радиоэлементов при нарастании температур и давлений и их выход в геохимическую миграцию анализируются на базе существующих положений теории химического осаждения и перекристаллизации вещества (Н. П. Ермолаев). Так, блазет протекает при возникновении в пленочных растворах временных пересыщений относительно макрокомпонентов и переходе в раствор микропримесей

урана и тория, по отношению к которым раствор не насыщен. Самоочистке минерала-носителя от примеси радиоэлементов способствуют процессы его полиморфных превращений, изменение функции распределения примеси в системе раствор — осадок с ростом температуры, процессы десорбции в водно-углекислую фазу.

В обобщающем докладе по геохимии радиоэлементов в гидротермально-метасоматических процессах (Г. Б. Наумов) отмечена чрезвычайно высокая подвижность урана и в меньшей мере тория в широком диапазоне параметров среды. Однако преимущественная локализация ископаемых в пределах рудных площадей не дает возможности получить полного и правильного представления о балансе радиоэлементов в постмагматических процессах. Реконструкция температур, давлений и концентраций в растворах, при которых осуществлялась миграция и осаждение урана, позволяет считать, что отложение настуронов в гидротермальных условиях происходило в основном в интервале 250—50° С, тогда как для уранинитов из метасоматитов докембрия наиболее благоприятны температуры 380—200° С. Давление в гидротермальных системах могло быть не только меньше, но и намного больше гидростатического и литостатического, что свидетельствует о возможности зарождения рудоносных растворов в более глубоких частях земной коры относительно участков рудоотложения. Состав высокотемпературных растворов точно не установлен. Однако для средне- и низкотемпературных условий концентрации компонентов ураноносных растворов определяются надежно. Это позволяет анализировать условия равновесия минеральных фаз и оценивать масштабы процесса в конкретных геологических ситуациях. Повышение температуры смещает максимум растворимости настурана в области более высоких значений рН растворов, что и определяет тип его высокотемпературных ассоциаций. При высоких температурах, но умеренной щелочности характерная для низких температур карбонатная форма переноса урана может иметь меньшее значение, уступая место иным соединениям, возможно фторидным или фосфатным.

Впервые проанализирован гидротермальный метаморфизм горных пород при урановом и ториевом рудообразовании на значительных площадях, что позволяет рассматривать эти процессы в связи с геологическими особенностями района (Е. В. Плюшев). Картируются важные в практическом отношении зоны кварцево-гидрослюдистой ассоциации на участках, где проявился вынос кислотных компонентов, а также зоны развития рибекит-альбитовой и хлорит-альбитовой ассоциаций.

Важное место в работе совещания заняли доклады, посвященные методике и результатам радиогеохимического картирования и районирования конкретных геологических провинций (В. К. Титов, А. С. Митропольский, Д. К. Осипов, Р. С. Журавлев, Ю. В. Ильинский, А. Д. Ножкин, Ф. И. Жуков и др.). Особенности радиогеохимии горных пород зависят от геологического строения отдельных регионов и их положения в истории геологического развития. Эта зависимость отражается на концентрациях урана и тория, широко варьирующих в осадочных и магматических породах различного состава и происхождения, а также на характере распределения радиоэлементов в метаморфических и ультраметаморфических породах, формировавшихся среди стратифицированных отложений.

Особое внимание было уделено методам анализа радиоэлементов в геологических объектах. Рассмотрены требования геохимии к метрологическим параметрам аналитических методов и возможности этих методов в геохимических исследованиях на радиоактивные элементы (Б. Я. Юфа), а также перспективы развития современных методов определения микроколичеств урана и тория в горных породах и минералах (А. А. Немодрук).

Широкое использование при решении геохимических задач получают методы полевой и лабораторной γ -спектрометрии (Л. В. Матвеев и др., Ф. П. Кренделев и др., О. П. Соборнов и др.) и анализ радиоэлементов в минеральных фазах методами осколкографии (И. Г. Берзина и др.). Проблемы надежности, экспрессности и чувствительности анализа естественной радиоактивности в литосфере и гидросфере отражены в решении Совещания.

Н. П. ЕРМОЛАЕВ

Спектрометрические методы анализа радиоактивного загрязнения природных сред

В результате испытаний ядерного оружия, использования ядерных взрывов в мирных целях и работы предприятий в природные среды поступают радиоактивные продукты. Попав в воздух или воду, они распространяются на значительные расстояния от места поступления. При этом концентрация радиоактивных продуктов сильно падает, но одновременно значительно увеличивается объем загрязненной среды. Так, радиоактивные продукты, проникшие в верхние слои тропосферы, в течение месяца успевают достаточно равномерно перемещаться в тропосферном воздухе того полушария, где было проведено испытание.

В связи с возможностью переноса радиоактивных продуктов на большие расстояния необходим систематический контроль за их содержанием в природных средах с выявлением закономерностей возникновения

этих продуктов, что может быть проведено с помощью радиоизотопного анализа отобранных проб.

Массовый радиоизотопный анализ проб природных сред проще всего осуществлять с помощью радиоспектрометрических методов исследований, специфика которых заключается в том, что такой анализ приходится проводить для объектов с низкой удельной активностью. Это в свою очередь приводит к специфическим особенностям как метода проведения спектрометрического анализа, так и метода обработки результатов.

В настоящее время контролем за радиоактивным загрязнением природных сред занимаются многие специалисты. В связи с необходимостью в обмене опытом в Институте экспериментальной метеорологии в Обнинске с 27 по 31 марта 1972 г. было проведено совещание по методам спектрометрического анализа радиоактивных загрязнений природных сред.