АКАДЕМИЯ НАУК СССР
АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКСКОЙ ССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



ДУШАНБЕ 1975

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКСКОЙ ССР
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Тезисы докладов

ДУШАНБЕ 1975

Ответственный редактор— *А.И.Тугаринов*

Редколлегия— *Н.П.Ермолаев, К.Г.Королев, Н.П.Лаверов, Г.Б.Наумов, А.А.Никитин, С.Д.Расулова*

© Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского, 1975

I. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА КАК РЕЗУЛЬТАТ НАПРАВЛЕННОЙ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А.Смыслов, А.И.Тугаринов, А.Б.Ронов, В.М.Терентьев, В.К.Титов, Г.М.Шор

Установленная латеральная и вертикальная зональность распределения урана и тория в геологических формациях территории Советского Союза является результатом направленной миграции радиоактивных элементов в ходе проявления разнообразных эндогенных и экзогенных геологических процессов.

Анализ материалов о содержании и форме нахождения урана и тория в минералах, горных породах и геологических формациях различных структурных зон позволил установить основные особенности поведения элементов в различных термодинамических обстановках земной коры и соотношение процессов их концентрации и рассеяния в зависимости от внешних факторов миграции. Появление рассеянных и концентрированных форм нахождения радиоактивных элементов обусловлено их миграцией в ходе проявления двух групп процессов, сингенетических - осадконакопление и магматизм и эпигенетических - региональный, контактовый, гидротермальный метаморфизм и эпигенетические преобразования, вызванные деятельностью подземных вод. В общем геохимическом цикле для сингенетических процессов наиболее характерно формирование первично-конституционального преимущественно равномерно рассеянного распределения урана и тория. При этом поведение урана и тория предопределяется характером поведения главных петрогенных компонентов породы: кремнеземом, щелочами, органическим веществом (в осадках) и т.д., с которыми радиоактивные элементы обнаруживают тесную корреляционную связь. Эпигенетические экзогенные и эндогенные геологические процессы по характеру поведения урана и тория (соотношение рассеяния и концентрации) могут быть подразделены на две группы: подготовительные и рудоконцентрирующие. Подготовительные эпи-

генетические процессы и контактовый метаморфизм, ультраметаморфизм, корообразование и эпигенетическая битуминизация приводят к существенному изменению формы нахождения радиоактивных элементов, их частичному выносу или локальному перераспределению с относительно невысокой степенью концентрации.

Рудоконцентрирующие эпигенетические процессы (гидротермальный метаморфизм и инфильтрационная деятельность подземных вод) обуславливают наиболее высокую степень миграции и концентрации урана в виде легкоподвижных в соответствующих термодинамических обстановках уранилкарбонатных или уранфторидных комплексов.

Анализ относительной роли отдельных геологических процессов в формировании установленной на карте зональности распределения урана и тория позволил оценить общую направленность их миграции в земной коре в различные стадии ее геологического развития.

В частности, в глубинных зонах докембрийских складчатых областей (гранулитовые фации) в результате регионального метаморфизма и ультраметаморфизма установлен существенный вынос урана и в меньшей степени тория снизу вверх. 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 радиогеохимических провинций. Типичной радиогеохимической особенностью фанерозойских складчатых областей является зональность, проявленная в постепенном ослаблении миграции урана и тория от миогеосинклинальных зон к эвгеосинклинальным.

СООТНОШЕНИЕ СИНГЕНЕТИЧЕСКИХ И ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭПОХ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИХ НАПРАВЛЕННОЙ МИГРАЦИИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

А.И.Тугаринов, А.А.Смыслов, В.К.Титов, Г.М.Шор

В истории геологического развития земной коры достаточно четко фиксируется целый ряд геохимических эпох накопления урана и тория, возникновение которых связано с развитием экзогенных и эндогенных процессов дифференциации вещества самых верхних слоев литосферы при активном участии водной и газовой оболочек Земли. Положение главнейших сингенетических и эпигенетических эпох накопления урана и тория в геологической эволюции коровой оболочки показано в работах А.И.Тугаринова, М.Н.Альт-

гаузена и других исследователей. На основе изучения радиоактивности и изотопного состава свинцов высокометаморфизованных кристаллических пород докембрийских складчатых областей установлено, что самой ранней уверенно фиксируемой геохимической эпохой накопления урана и тория является нижнепротерозойская эпоха формирования первично урановосных осадочных терригенных отложений.

В раннепротерозойскую эпоху, наряду с накоплением в грубозернистых породах устойчивых к выветриванию высокорадиоактивных акцессорных минералов (монацита, циркона и др.) происходит существенное обособление шестивалентных соединений урана и насыщение металлом осадочных отложений, содержащих органическое вещество.

В связи с увеличением свободного кислорода в атмосфере и общего количества органического вещества в земной коре тенденция дальнейшего разделения этих элементов и накопление урана в осадочных отложениях, обогащенных органическим веществом, в палеозое проявилась еще более сильно. В нижнем палеозое имеет место накопление наиболее значительных скоплений урана в углеродистых сланцах.

Эпохи сингенетического эндогенного накопления урана в связи с магматической деятельностью приурочены обычно к завершающим (постинверсионным) стадиям развития подвижных поясов земной коры и периодам тектоно-магматической активизации. Эпохи эти связаны с магматической дифференциацией кислых и щелочных расплавов и наиболее ярко фиксируются в регионах, где ранее имело место накопление металла в осадочном цикле.

Определенная закономерность отмечается и в появлении эпигенетических эпох накопления урана в земной коре, с которыми связано формирование локальных концентраций урана. Эпохи гидротермального эпигенетического рудообразования в своем развитии всегда следуют за эпохами сингенетического накопления урана в осадочных отложениях или в магматических образованиях.

Наиболее важными эпигенетическими эпохами гидротермального рудообразования являются ранне-среднепротерозойская, верхнепалеозойская и мезозойская. Прослеживая поведение гидротермальных рудообразующих процессов во времени, следует отметить эволюцию растворов от щелочных (натриевый метасоматоз, кварц-хлорит-альбитовые изменения) к кислотным (кислотное выщелачи-

вание по типу березитизации и аргиллизации) и от среднетемпературных (Pt_1-Pt_2) к низкотемпературным (Mz).

Эпигенетические экзогенные эпохи накопления урана в земной коре являются наиболее молодыми и проявлены в мезозойскую и кайнозойскую эпохи. При этом для первой эпохи (J-Cr) характерно формирование промежуточных типов месторождений, связанных с инфильтрацией восходящих вод - уранобитумные концентрации. В кайнозойскую геохимическую эпоху имело место формирование эпигенетических экзогенных концентраций в окислительной обстановке в связи с миграцией урана в кислородсодержащих подземных водах артезианских бассейнов.

В целом, в масштабах всего мегацикла развития коровой оболочки Земли характерно постепенное смещение геохимических эпох от сингенетических экзо- и эндогенных к эпигенетическим эндогенным (гидротермальным) и экзогенным (инфильтрационным).

РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ УРАНА И ТОРИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ ТАДЖИКИСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Р.Б.Баратов, В.И.Козырев, С.И.Щукин

Геологические формации Таджикистана и сопредельных территорий формировались в различных тектонических режимах - в условиях становления жестких срединных массивов и молодых платформ, геосинклиналей с полным или незавершенным циклом развития, внутриконтинентальных глубоких прогибов и новейшего горообразования. По степени распространенности геологических формаций определенных тектонических режимов в современных структурах здесь выделяются разновозрастные геосинклинально-складчатые системы Южного и Срединного Тянь-Шаня, Куэнь-Луня (Северный Памир) и Каракорумы (Южный Памир), а также внутриконтинентальные мезозойско-кайнозойские депрессии (Южно-Таджикская и Ферганская). Для складчатых систем Тянь-Шаня и Памира характерна большая пестрота геологических формаций различных режимов и широкого возрастного диапазона - от архейских до современных, что в сочетании с глубокой вертикальной эродированностью позволяет выявить пространственно-временные закономерности геохимической эволюции в целом.

Такое тесное пространственное совмещение геологических формаций различных режимов и с весьма отличными радиогеохимическими свойствами (по степени дифференцированности и величине концентраций) в пределах единых тектонических элементов затрудняет радиогеохимическое районирование рассматриваемого региона по разрабатываемым в последние годы принципам дифференцированности элементов.

В связи с отмеченным мы считаем,что радиогеохимическое районирование, как и геохимическое вообще, должно основываться на следующих принципах: I) выявлении общих тенденций концентрации и рассеяния радиоактивных элементов (РЭ) в историческом и пространственном аспектах, 2) установлении процессов формирования контрастно-дифференцированных формаций. Основываясь на этих принципах и сопоставлении содержаний РЭ в изученных формациях с их концентрациями в базальтовом ($0{,}6.10^{-4}$% U и $2{,}2.10^{-4}$% Th) и гранитном ($2{,}7.10^{-4}$% U , $9{,}6.10^{-4}$% Th) слоях (по С.Р.Тейлору), нами выделены радиогеохимические провинции следующих типов:

I. Провинции симатического профиля с постоянной тенденцией к накоплению тория при дефиците урана (Памир, Байсунская зона). В них слабо развиты контрастно-дифференцированные интрузивно-вулканогенные формации позднеорогенных и активизационных этапов.

2. Провинции сиалического профиля с нормальным распределением РЭ, свойственным гранитно-метаморфическому слою (Кокшаальская и Южно-Гиссарская зоны, Гармский массив). Характерно интенсивное развитие контрастно-дифференцированных интрузивно-вулканогенных формаций орогенного этапа.

3. Провинции симатического профиля с нормальным распределением РЭ с тенденцией к сиалическому типу накопления (Зеравшано-Алайская, Туркестано-Зеравшанская и Туркестано-Алайская зоны). Для них свойственны субпровинции с контрастно-дифференцированными формациями- эвгеосинклинальными углеродисто-кремнистыми (Южно-Ферганская) и позднеорогенными интрузивно-вулканогенными с повышенной ториеносностью (Алайская).

4. Провинции сиалического профиля с нарушенным распределением РЭ и тенденцией к накоплению урана (Кураминская зона). Содержание урана в инверсионных и орогенных интрузивно-вулканогенных формациях значительно выше его концентрации в гранит-

но-метаморфическом слое.

5. Провинции с сиалической тенденцией накопления РЭ (Южно-Таджикская и Ферганская депрессии). Возможно формирование контрастно-дифференцированных кислых магм в гранитно-метаморфическом слое в палеоген-четвертичный период тектоно-магматической активизации.

Выделенные радиогеохимические провинции в общих чертах отражают пространственно-временные закономерности в радиогеохимической эволюции региона, что выражается: I) в уменьшении активности тория от Памиро-Байсунского сектора к Срединному Тянь-Шаню при одновременном усилении активности урана; 2) в сохранении для большого промежутка времени свойственной для данной провинции типа накопления РЭ (сиалического или симатического), завершающегося появлением контрастно-дифференцированных формаций.

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОРОВОЙ ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ

В.А.Рудник, В.К.Титов

Результаты анализа геолого-радиологических данных позволили подразделить геологическую историю Земли на азой, архейзой, протерозой, которые как и более поздние палеозой и мезозой, характеризовались качественным различием в геохимической направленности формирования и эволюции земной коры.

Азойская история развития Земли /(4600-3700) ± 200 млн.лет/ характеризовалась накоплением тепловой энергии радиоактивного распада и формированием, начиная с 4200 ± 200 млн.лет, земной коры в условиях нуклеарного режима. Рубеж в 3700±200 млн.лет может рассматриваться как время завершения формирования протобазальтового слоя, идентифицируемого с протокорой и представленного мощными покровами низкорадиоактивных толеитовых базальтоидов и, в подчиненной степени, дацито-риолитовых пород (продукт близповерхностных магматических очагов), а также производными интенсивного хемогенного выветривания.

Архейзойская история развития Земли /(3700-2100) ± 200 млн.лет) - это история формирования первичного слабо радиоактивного гранитного слоя и эволюции протобазальтового. Для этого этапа характерна неизменная тенденция возрастания со временем содержания в земной коре радиоактивных элементов на

фоне увеличения роли кислого вулканизма, смены толеитового базальтоидного вулканизма на щелочной, а также повышения значения ультраметаморфогенного гранитообразования и терригенного седиментогенеза.

Протерозойская история развития Земли / 2100±200 - 610±50 млн.лет/, как и фанерозойская / 610± 50 - 0 млн.лет/,- это история эволюции гранитного и базальтового слоев, выражавшаяся в увеличении или в уменьшении их мощности, но при неизменной тенденции увеличения общей обогащенности земной коры радиоактивными элементами и уменьшения их содержания в подкоровых массах. При этом, в среднем протерозое-палеозое в результате процессов океанизации и базификации гранитного слоя происходило формирование базальтового слоя, относительно обогащенного ураном, торием и калием, а в мезозое- гранитного слоя, относительно обедненного этими элементами, в частности, в пределах островных дуг, закладывавшихся на коре океанического типа.

Формирование земной коры, ее наращивание и накопление в ней радиоактивных элементов происходило в результате и в процессе многократно проявленных тектоно-магматических циклов. В каждый из них, наряду с выносом радиоактивных элементов продуктами магматизма из подкоровых зон в верхние части земной коры, происходило ее обогащение этими элементами также и путем их миграции в процессе прогрессивного и регрессивного метаморфизма из областей эклогитовой, гранулитовой и отчасти амфиболитовой фаций. Большое значение в процессе распределения и перераспределения радиоактивных элементов, особенно в докембрии, принадлежало явлениям динамического метаморфизма, ультраметаморфизма, а также ультраметаморфогенного гранитообразования и кремнещелочного метасоматизма. При этом, результатом многократно проявившихся процессов магматизма и седиментогенеза, метаморфизма и ультраметаморфизма явилось усреднение состава коровых, а результатом явлений дифференциации по типу зонной плавки - подкоровых магматических очагов в латеральном измерении, по крайней мере, в отношении Th/U к рубежу примерно в 3700±200 млн.лет, ранее которого в магматических породах сохранялись, наряду с коровым, метеоритные значения величины Pb^{206}/Pb^{207}.

СООТНОШЕНИЕ ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ)

С.И.Щукин, В.И.Козырев

Осадконакопление в геосинклинальных областях происходит в условиях резко меняющихся тектонических режимов (глубокого прогибания, инверсии и орогенеза) и активной магматической (вулкано-плутонической) деятельности, а также под воздействием большого числа экзогенных факторов разных типов (геологических, географических, гидродинамических, физико-химических и т.д.). В связи с этим выявление основных факторов, определяющих накопление и рассеяние урана и тория в геосинклинальных отложениях возможно лишь на основе анализа взаимосвязей геологических и геохимических процессов.

Выполненный нами анализ обширного материала по распределению урана и тория в каледонских и герцинских геосинклинальных образованиях Тянь-Шаня позволил установить ряд факторов, оказавших существенное влияние на процесс накопления этих элементов в геологических формациях геосинклинальных областей. В качестве таких факторов регионального порядка для палеозойских геосинклиналей Тянь-Шаня выделяются следующие:

I. Солевой баланс и щелочность морской воды геосинклинальных бассейнов. В стадии геосинклинального прогибания воды имели слабую щелочность и незначительную соленость, но временами этот режим нарушался - происходило увеличение щелочного резерва и концентрации солей, что хорошо устанавливается по изменению величины отношений CaO/MgO в карбонатных формациях (от 550 до I). В соответствии с уменьшением величины этого отношения в карбонатных породах увеличивается содержание урана от 0,4 до I,5-3,0.10^{-4}% и тория от 2,0 до 3-5,0.10^{-4}%.

Солевой состав и щелочность оказывали существенное влияние на накопление урана и тория и в песчано-глинистых формациях стадий прогибания и инверсии, различающихся своими радиогеохимическими характеристиками.

2. Вынос урана (совместно с V, Mo, P, As и др.) из зон метаморфизма и концентрация его в углеродисто-кремнистых формациях. Процессы метаморфизма интенсивно протекали в зонах магмоподводящих глубинных разломов и сопряжены с эвгеосин-

клинальной вулкано-плутонической деятельностью. Этот эндогенный фактор мобилизации и миграции урана в стадии геосинклинального прогибания является единственным, приводящим к формированию осадочной формации с максимальными содержаниями урана.

3. Наличие формаций высокорадиоактивных пород в областях сноса существенное значение приобретает для накопления урана (до $4\text{-}7.10^{-4}$%) в красноцветных и вулканогенно-молассовых формациях позднеорогенных депрессий (например, в Северном Тянь-Шане). В этом случае также значительную роль в привносе урана и тория играли субаэральные вулканические и поствулканические процессы, обусловившие высокие (до $3\text{-}4.10^{-4}$%) концентрации урана в карбонатных толщах.

4. Удаленность от эвгеосинклинальных прогибов четко проявляется в изменении содержаний урана в карбонатных формациях - наименьшие концентрации (1.10^{-4}%) в эвгеосинклинали (Южный Тянь-Шань) и увеличение (до $1,5\text{-}2,5.10^{-4}$%) к миогеосинклинальным прогибам (Срединный Тянь-Шань).

5. Форма переноса элементов. Миграция урана в геосинклинальных бассейнах осуществляется не только в уранил-карбонатных комплексах, а также в значительных масштабах в виде адсорбата алюмосиликатных гидрозолей (близких по составу к иллитам). Такой формой переноса можно объяснить увеличение концентраций урана (от $0,4\text{-}1,5.10^{-4}$% до $2\text{-}3,5.10^{-4}$%) в песчано-глинистых отложениях Южного Тянь-Шаня при одновременном повышении содержаний калия (от 0,9-1,3% до 2,0-3,5%).

О РОЛИ ТЕКТОНИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Ю.В.Ильинский

В отличие от многих миогеосинклинальных зон в Алтае-Саянской складчатой области с эвгеосинклинальным режимом развития доминирующую роль в образовании геохимической зональности играли не миграция и мобилизация элементов в породах верхних структурных ярусов, а глубинные процессы привноса урана.

Важнейшим элементом геохимической зональности этой территории являются региональные зоны (пояса) привноса и перераспределения урана и тория, связанные с системами глубинных

разломов. Эти зоны проходят через разновозрастные и разнотипные геологические объекты, являясь "сквозными" и в вертикальном и в латеральном плане.

Намечаются следующие этапы развития линейной радиогеохимической зональности Алтае-Саянской складчатой области в фанерозое:

I. В геосинклинальную стадию образование специализированных по урану и торию углерод- и фосфорсодержащих пород в составе кремнисто-карбонатных, вулканогенно-карбонатных и вулканогенных формаций. Установлено (Михайлов, Смилкстын,1970), что эти породы образовались вдоль цепочек вулканических островов, расположенных по системам глубинных разломов, при активном взаимодействии осадконакопления и вулканизма. Содержание в них урана и тория варьирует в широких пределах в зависимости от многих факторов.

2. В инверсионную стадию, во время образования батолитов габбро-плагиогранитовой формации, на общем сравнительно низком радиогеохимическом фоне обогащение гранитоидов ураном и торием (двух-трехкратное) по ранее образовавшимся линейным зонам в ходе ассимиляционной миграции.

3. В постинверсионную стадию, когда рассматриваемые системы глубинных разломов играли магмоконтролирующую роль, привнос радиоактивных элементов с кислыми и щелочными породами вулканогенных (андезито-липаритовая, трахибазальтовая и др.) и интрузивных (гранитовая, гранито-сиенитовая и др.) формаций.

4. В период образования молассоидных и терригенных формаций межгорных впадин эти структуры часто играли роль береговых линий, образуя орогидрографические ступени (как современные "фас Алтая" и фас "Западного Саяна") и, следовательно, контролировали накопление элементов в прибрежных, лагунно-озерных и других фациях.

5. Во все стадии развития и, особенно, в периоды тектономагматической активизации по этим зонам происходило перераспределение урана в результате наложенных гидротермально-метаморфических процессов (окварцевания, альбитизации, калишпатизации, березитизации и т.д.), а также - выветривания.

Таким образом, региональные зоны привноса и перераспределения урана и тория, приуроченные к системам глубинных разломов, объединяют эндогенную и экзогенную миграцию элементов в

единый циклично-направленный процесс геохимической эволюции. С одной стороны, они обуславливают движение магм, постмагматических и гидротермальных растворов, с другой - контролируют фациальные условия осадконакопления, способствуют развитию линейных кор выветривания и пр.

Максимальная геохимическая миграция (и накопление) отмечается в геохимических узлах (т.е. на участках пересечения разноориентированных зон).

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ В КОНЦЕНТРИЧЕСКИ-ЗОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ЗОНЫ АКТИВИЗАЦИИ АЛДАНСКОГО ЩИТА

В.М.Терентьев, Г.М.Беляев, Б.Е.Кудрявцев

I. Статистической обработкой около 5000 полуколичественных спектральных анализов штуфных проб с графическим отображением результатов в одном из районов Алданского щита выявлена региональная геохимическая зональность с характерным концентрическим строением, охватывающая территорию свыше десяти тыс.км^2. Образование геохимической концентрически-зональной структуры относится к эпохе мезозойской тектоно-магматической активизации кристаллического фундамента Сибирской платформы, представленного комплексом метаморфических и ультраметаморфических пород. Тектоно-магматическая активизация выразилась в развитии и подновлении системы долгоживущих разломов глубокого заложения (бластомилонитовых швов), внедрении магматических расплавов щелочного состава и проявлении интенсивной высоко-средне-низкотемпературной гидротермально-метасоматической деятельности.

2. Внутренний ореол геохимической кольцевой структуры радиусом около 4 км образован вольфрамом, ниобием, мышьяком и таллием - элементами, типоморфными для магматических и гидротермально-метасоматических образований эпохи активизации. В породах фундамента вне зоны влияния активизационных процессов эти элементы полуколичественным спектральным анализом не устанавливаются. Промежуточный ореол с радиусом около 25 км оконтуривается пороговыми содержаниями молибдена, свинца, серебра, бария и меди. Самый широкий внешний ореол (75x120 км) установлен для германия, сурьмы, висмута и стронция. Элементы молибденовой и германиевой ассоциаций свойственны как образо-

ваниям мезозойской эпохи, так и породам кембрийского кристаллического фундамента.

3. Геохимический ореол урана располагается целиком в пределах внешнего ореола, пересекает промежуточный ореол и включает в себя внутренний ореол полиэлементных ассоциаций. Соответственно устанавливаются тесные геохимические связи урана в пределах внутреннего ореола с вольфрамом, ниобием, мышьяком и таллием, в пределах промежуточного ореола - с молибденом, свинцом и серебром.

Полиэлементная ассоциация уран-молибден-свинец-серебро характеризуется более высоким торий-урановым отношением (0,1-0,3), чем ассоциация уран-вольфрам-ниобий-мышьяк-таллий (0,06-0,15) при постоянстве содержаний тория в обеих элементных ассоциациях. Разным элементным ассоциациям соответствуют и разные типы регионально развитых гидротермально-метасоматических пород. Урановo-молибденовая ассоциация характерна для высокосреднетемпературных метасоматитов натриевого ряда с циртолитсфеновой акцессорной минерализацией, урановo-вольфрамовая ассоциация для низкотемпературных калиевых гумбеитов с сульфидной акцессорной минерализацией.

4. Геологические, минералого-геохимические и изотопные данные свидетельствуют о стадийном развитии тектоно-флюидитных процессов мезозойской эпохи, что нашло отражение в строении геохимической зональности. В стадию становления интрузивов щелочно-сиенитовой формации и образования кварц-полевошпатовых метасоматитов натриевого ряда сформировались внешняя (германиевая) и промежуточная (молибденовая) зоны за счет перераспределения элементов кристаллических пород фундамента. Для молибденовой ассоциации устанавливается повышение концентраций составляющих ее элементов с удалением от эпицентра тектоно-флюидитной деятельности. Третью, внутреннюю зону на данной стадии образовал уран, находящийся в тесной геохимической связи с элементами молибденовой ассоциации. Ослабление со временем термодинамического режима способствовало проявлению низкотемпературной гидротермально-метасоматической деятельности с образованием метасоматических пород типа калиевых гумбеитов. В эту стадию сформировалась вольфрамовая зона концентрической геохимической структуры и, очевидно, имел место привнос урана гидротермами из глубоких горизонтов по системе разломов севе-

ро-западного простирания, что привело к изменению изометричного контура урановой зоны в вытянутый, эллиптический в соответствии с ориентировкой тектонических структур.

5. Выявленная закономерная миграция урана и элементов-спутников по периферии очага мезозойской тектоно-флюидитной деятельности имеет много общих черт с экспериментально изученной в термоградиентном поле термоконвекционной системой (Дударев и др., 1973), характеризующейся зональным распределением химических элементов вокруг двумерного источника тепла в условиях увлажненной среды.

МИГРАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

М.И.Ициксон, В.А.Максимовский, Л.М.Алексеев, Г.В.Дитмар, Г.П.Смирнова

На территории юга Дальнего Востока широко проявлены два этапа тектоно-магматической активизации: позднепалеозойский-раннемезозойский, представленный, в основном, интрузивными образованиями (лейкократовые, биотитовые и амфибол-биотитовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты) и позднемезозойский (меловой), представленный как продуктами интрузивного (гранодиориты, кварцевые диориты, диориты), так и эффузивного (липариты, андезито-дациты, реже андезито-базальты) магматизма.

Анализ поведения радиоактивных элементов в магматическом процесса указанных этапов активизации показывает определенную направленность их миграции. Так, например, в позднемезозойских магматических сериях происходит обогащение конечных продуктов как ураном, так и торием. Однако, в целом, не наблюдается увеличения содержания урана и тория во времени от одного магматического комплекса к другому.

В сложных многофазных интрузивных комплексах независимо от условий их формирования четко проявлена тенденция обогащения радиоактивными элементами их поздних дериватов. При этом устанавливается, что конечные продукты более дифференцированных комплексов характеризуются большей степенью обогащенности этими элементами, чем более простые, слабо дифференцированные комплексы.

При становлении как интрузивных, так и субвулканических массивов во многих случаях наблюдается миграция урана и тория из центральных в краевые фации массивов и вмещающие породы экзоконтакта. В процессе контактового метаморфизма уран мигрирует из внутренних в краевые зоны ореола контактового метаморфизма, причем вынос его достигает 50-75% от первоначального количества. В автометасоматических и постмагматических процессах (грейзенизация, калишпатизация и др.)происходит высвобождение урана и тория из магматических минералов (петрогенных и акцессорных) и связывание их в метасоматических минералах, при этом некоторая часть этих элементов остается в свободном состоянии в легкоподвижной форме.

При магматических и постмагматических процессах обоих периодов тектоно-магматической активизации поведение урана и тория взаимно связано в первую очередь с поведением таких петрогенных элементов, как кремнезем, калий и кальций.

УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ГРАНИТООБРАЗОВАНИЯ И ПОСТМАГМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ (УРАЛ)

Б.К.Львов, Н.И.Петрова, А.С.Житков

Большое разнообразие состава позднепалеозойских гранитоидов Урала, структурной позиции и морфологии слагаемых ими геологических тел, широкое распространение как площадных, так и локально проявленных процессов постмагматического изменения пород позволяет проследить поведение радиоактивных элементов на всех этапах гранитообразования. Среди них основными, охарактеризованными радиогеохимическими данными эпохами, являются следующие.

I. Метасоматическая гранитизация разнородного по составу и степени предшествовавшего метаморфизма субстрата, сопровождаемая селективным плавлением, с образованием автохтонных массивов гранито-гнейсов и мигматитов, Общей тенденцией поведения U и Th на этом этапе является некоторое повышение их содержания в продуктах гранитизации, слабо выраженное на ранней стадии плагиофельдшпатизации и более отчетливо проявленное в стадию интенсивной микроклинизации. Геохимический фон, на котором происходят эти изменения, определяется составом пород субстрата и степенью их метаморфизма. В производных селективного плавления существенного изменения радиоактивных элемен-

тов обычно не наблюдается.

2. Массовый анатексис предварительно интенсивно гранитизированных толщ, как правило, сопровождается скачкообразным повышением содержания U и Th , либо одного из них до значений, в полтора-два раза, превышающих кларковые. Вместе с тем, радиогеохимическая характеристика гранитоидов и этого этапа продолжает в определенной степени зависеть от первичного геохимического фона.

3. Формирование остаточных гранитных расплавов и их внедрение по зонам тектонических нарушений приводит к образованию высокорадиоактивных гранитов. Особенности минерального состава последних указывают на обогащенность этих расплавов летучими компонентами и в первую очередь фтором.

4. Постмагматические изменения гранитов, не меняя качественно их радиогеохимическую характеристику, приводят в целом к более или менее значительному увеличению неравномерности их распределения. Сходные изменения не всегда имеют одинаковый геохимический результат. Относительно устойчивый привнос урана наблюдается в процессах щелочного метасоматоза, однако и в этих случаях наблюдаются отклонения от общей тенденции.

Степень подвижности урана на всех этапах гранитообразования определенным образом отражается на формах его нахождения в породах, главными из которых по данным количественного изучения "осколковых" радиографий являются: а) изоморфная примесь в "обычных" акцессорных минералах, б) собственные минералы, также присутствующие в акцессорных количествах, в) сорбционная форма. При этом в слаборадиоактивных гранитоидах первых этапов количественно преобладает первая форма, в высокорадиоактивных гранитах - вторая, а для их метасоматически измененных разновидностей в равной степени характерны первая и вторая.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СООТНОШЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ С ПЕТРОГЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ИХ ПОВЕДЕНИЯ В МАГМАТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

В.П.Ковалев

Открывшаяся параллельно с радиогеохимическим изучением изверженных пород возможность экспрессного накопления петрохимической информации позволяет выносить вполне обоснованные

суждения о природе магматических расплавов, о сущности магматических процессов, о механизмах дифференциации магм, о пределах такой дифференциации и т.п.

Комплексирование петро- и радиогеохимических исследований позволило автору получить оригинальные характеристики нижнедевонских вулканогенных накоплений юга Красноярского края. На основе применения разнообразных петрохимических диаграмм раскрыта принадлежность этих образований к нескольким комплементарным рядам, характеризуемым только им присущими регулярными изменениями соотношений SiO_2 и Al_2O_3. Отчетливо выявляется дискретность исследованных пород по названному параметру - и не только у продуктов мантийных и коровых выплавок, но и у производных разноглубинных генераций мантийных магм (более глубинные из них оказываются изначально менее обогащенными Al_2O_3).

Составляя основу природных расплавов, в которой оказываются растворенными все прочие инградиенты земного вещества, эти окислы, как показывают теоретические расчеты (А.А.Кадик, 1963) и эксперименты (В.М.Иванов, 1974), в гравитационном поле подвержены молекулярно-ионной дифференциации. В результате молекулярно-ионно-гравитационной дифференциации каждая генерация магм способна стать родоначальницей производных, в которых содержание SiO_2 увеличивается за счет одновременной убыли Al_2O_3, вследствие чего между кремнеземом и глиноземом и устанавливается статистически обратная линейная связь (В.В.Груза, 1964). Прерывистость химических составов пород по Si-Al соотношениям сильно маскируется в обычных координатах взаимным перекрытием (трансгрессией) исходных данных и становится максимально отчетливой лишь в результате специальных петрохимических пересчетов.

Указанные закономерности химизма вулканогенных пород подкрепляются радиогеохимическими данными, которые статистически коррелируются как с отдельными петрогенными элементами, так и с Si-Al отношениями. Изменению Si-Al соотношений в пределах комплементарных рядов отвечают строго определенные градиенты накопления урана и тория. Каждый ряд характеризуется своим уровнем заражения радиоактивными элементами, что нами связывается с особенностями субстрата, за счет которого генерировались магмы. Самые глубинные и менее распространенные в сос-

таве вулканогенной серии характеризуются минимальными содержаниями, максимальными - коровые.

Сочетание петрохимического изучения магматических пород с радиогеохимическим дает совершенно объективные свидетельства характера поведения урана и тория в расплавах. Они ведут себя в гравитационном поле совершенно иначе, чем, например, золото, хотя удельный вес последнего (I9,3 г/см^3) практически неотличим от удельного веса урана (I9,05 г/см^3). Это объясняется равной с Si валентностью урана и тория в расплавах, способностью их кислородных тетраэдров включаться в состав сиботаксисов, образуемых тетраэдрами SiO_4^{4-} и перемещаться вместе с ними в верхние части расплава предпочтительно перед $(Si, Al)O_4^{4-}$ - тетраэдрами. Опережающее накопление тория (R = I.IOA) с ростом кислотности в богатых щелочными металлами расплавах в отличие от опережающего накопления урана (R= I.05A) в щелочноземельных расплавах следует связывать с большей "рыхлостью" щелочных расплавов (особенно богатых калием). Поведение щелочных металлов в Si-Al расплавах определяется не столько гравитацией, сколько электрическими взаимодействиями: как слабозаряженные ионы они вытесняются кверху. Тем не менее, как указывал Н.В.Белов (I967), жидкостную аспилляцию расплавов, богатых Al, лучше приостанавливает Ca^{2+}, а высококремнистых - Na^+, так что, в конечном счете, гравитация и зарядовые взаимодействия совпадают по направлению.

Проведенное исследование убеждает в том, что наблюдаемое в вулканических породах распределение урана и тория является функцией первоначального содержания этих элементов в материнских выплавках и большего или меньшего перераспределения исходных концентраций в результате глубинной дифференциации магматического вещества.

ФАКТОРЫ, УПРАВЛЯЮЩИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ УРАНА, ТОРИЯ И КАЛИЯ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА)

В.Д.Алексеенко, И.Д.Белонин, Б.Г.Ванштейн, Г.Т.Скублов

Для прогнозно-металлогенической оценки крупных блоков земной коры широко привлекаются результаты региональных геохимических исследований. При этом существенно важно установить факторы, управляющие распределением химических элементов, и

определить степень их влияния на элементы.

В качестве примера решения поставленной задачи рассмотрим особенности распределения U, Th, K в неизмененных магматических породах Центрального и Южного Казахстана. Для этого было использовано около 18000 количественных анализов. По геологическим признакам они были сгруппированы в 369 выборок, представляющих все развитые в районе магматические формации. Рассчитанные по ним средние содержания элементов были подвергнуты корреляционному анализу и обработаны методом главных компонент факторного анализа, в прямой и обратной постановках (Белонин и др., 1971).

Главнейшим фактором, управляющим распределением U, Th, K в магматических породах, является широко известный фактор кремнекислотности. Вес его составляет 72%. Этот фактор характеризует закономерное увеличение содержаний урана (2,1; 2,4; 3,4; 3,9 г/т), тория (6,2; 8,9; 14,5; 19,1 г/т) и калия (1,7; 2,0; 2,8; 3,5) при переходе от основных к средним, среднекислым и кислым магматическим породам. Фактор кремнекислотности весьма устойчив и не зависит от других факторов. Это подтверждает общепринятую точку зрения, что ведущим фактором миграции урана, тория и калия являются процессы магматической дифференциации.

Выявление закономерностей распределения U , Th, K, в зависимости от возраста пород, условий их образования и территориального положения оказалось возможным только при условии исключения влияния фактора кремнекислотности. Для этого были рассчитаны "дельты" содержаний химических элементов, которые являются разностями между наблюдаемыми концентрациями и теоретическими, определяемыми в предположении влияния только главного фактора. Иными словами, "дельты" - это результат действия всех факторов, кроме фактора кремнекислотности.

Следующим по значимости является фактор региональной геохимической зональности. Вес его 19%. По этому фактору выделяются две группы регионов: 1 - Чуйское и Бурунтауское поднятия, Карасайский и Западно-Прибалхашский прогибы, с повышенными концентрациями урана (U = +0,43 г/т) и с пониженными - калия (K =-0,26%); 2 - Атасу-Моинтинский и Новалы-Кызылэспинский антиклинории, Токрауский синклинорий и Сасырлыкский прогиб (U = -0,22 г/т; K = +0,07%). Обращает на себя внимание

полярность свойств урана и калия. В этой связи отношение K:U представляется более важным геохимическим индикатором, чем отношение Th:U, так как последнее сильно зависит от фактора кремнекислотности. Причиной различий в условиях миграции урана и калия является блоковость строения земной коры и неоднородность внутреннего строения подкорового субстрата.

Меньшее значение имеет фактор глубинности образования магматических пород. В ряду: покровные - жерловые - субвулканические - гипабиссальные - мезабиссальные магматические образования по "дельтам" устанавливается уменьшение содержаний урана (+0,I6; +0,25; +0,06; -0,2I; -0,I6 г/т) и увеличение концентраций тория (-0,83; -I,27; -I,03; +0,95; +I,I7 г/т), при индифферентном характере распределения калия. Таким образом, большая миграционная подвижность урана по сравнению с торием приводит к преимущественному накоплению урана в вулканитах, а тория - в плутонитах.

Полярность свойств урана и тория проявляется и в возрастном факторе, по которому выделяется пять эпох: I - протерозойская (U = -0,35; Th = -0,35 г/т); 2 - кембрийско-ордовикская (+0,I5 и -0,90); 3 - позднеордовикская-силурийская (-0,35 и +0,3I); 4 - девонская (+0,2I и -0,72); 5 - каменноугольно-пермская (U = -0,4I; Th = +I,95 г/т).

Проведенные исследования показали высокую эффективность "дельт" - новых геохимических характеристик, которые позволяют сравнивать различные по кремнекислотности породы и выявлять некоторые важные геохимические закономерности, сильно затушеванные главным фактором.

ЦИРКОН КАК ИНДИКАТОР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ

А.И.Тугаринов, Е.В.Бибикова

I. Большой материал, накопленный в геохронологической литературе по содержанию урана и тория в цирконах из различных магматических и метаморфических пород позволил провести обобщение этих данных с целью установления закономерностей распределения радиоактивных элементов на значительных площадях. Содержание радиоактивных элементов в цирконе отражает усредненную концентрацию этих элементов в значительных объемах

горных пород и, следовательно, может служить мерилом насыщения больших массивов интрузивных и метаморфических пород ураном и торием.

2. Проведенное обобщение результатов изучения распределения урана и тория в акцессорных цирконах из различных комплексов Балтийского щита (~ 80 цирконов) показало нарастание содержания урана в цирконах из одновозрастных архейских формаций в направлении с севера на юг (кольские гнейсы - 0,01-0,2%, беломорские гнейсы - 0,02-0,03%, породы фундамента карелид - 0,03-0,05%), максимальные концентрации урана достигаются в районе Северного Приладожья (0,05-0,1%). Концентрации тория в пределах всего Балтийского щита остаются незначительными (0,005-0,03%).

3. Некоторые особенности в распределении урана и тория в акцессорных цирконах могут быть выявлены и для Украинского и Алданского щитов.

На Украинском щите обогащение цирконов ураном и торием (примерно в равных количествах - 0,1-0,3%) начинается с верхнеархейских образований возрастом в 2750 млн.лет. Цирконы из более древних пород с возрастом выше 3000 млн.лет не несут значительных концентраций этих элементов.

Данные для Алданского щита свидетельствует о высоких содержаниях тория в цирконах из самых различных по возрасту, местонахождению формациях ($> 0,1-0,8\%$) и о локальных повышениях содержания урана (до 0,15%) в цирконах преимущественно из гранитоидов 2000 миллионного возраста. Исключение составляют цирконы из пород Станового комплекса с низкими содержаниями как урана, так и тория ($< 0,01-0,02\%$ для обоих элементов).

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАМИРА

Х.С.Таджидинов

На примере палеовулканических образований Центрального Памира рассмотрено поведение урана и тория. В геологической истории этого региона можно выделить три основных периода (цикла): допалеозойский (ранне-среднепротерозойский -?) геосинклинальный с океаническим типом коры; палеозой-мезозойский (допозднепалеогеновый) парагеосинклинальный (?) со сквозным

Цикл	Возраст	Стадия	Этап	Преобладающий тип магматизма	U г/т	Th г/т	Th/U	вес.%	K вес.%	Na вес.%
Позднепалеоген-неогеновый	P_3-N	Послеорогенная	Автономной активизации	Калиевых базальтоидов и сиенитов	9,9	78,0	7,2	25,I (79)	6,0 (79)	I,3 (79)
			Консолидации	Натровых базальтоидов и габброидов	I,36 (56)	7,85 (42)	5,8	23,0 (90)	2,0 (90)	2,7 (90)
Палеозой-мезозойский (допозднепалеогеновый)	K-P_2	Орогенная	Позднеорогенный	Монцонитоиды и трахилипариты	2,68 (30)	20,I (I5)	7,5	30,2 (43)	2,9 (43)	2,5 (43)
			Раннеорогенный	Базальтоиды и габброиды	I,53 (46)	I0,0 (I9)	6,5	26,9 (62)	2,I (62)	3,0 (62)
	C_3-J_3	Предорогенная	-	Андезитовый	0,98 (I9)	7,I (I6)	7,2	24,I (I0)	0,2 (I0)	2,8 (I0)
	C-C_2	Раннегеосинклинальная	-	Базальтовый	0,66 (45)	8,2I (43)	I2,4	23,8 (54)	I,5 (54)	2,7 (54)
Допалеозойский	PR_{1-2}	Геосинклинальная	-	Офиолитовый	I,I3 (25)	I0,2 (20)	9,0	2I,7 (50)	I,2 (50)	2,7 (50)

унаследованным развитием; позднепалеоген-неогеновый эпигеосинклинальный. Каждый из этих периодов характеризуется особым типом магматизма, обуславливающим и различное поведение радиоактивных элементов (таблица). Общая тенденция в поведении последних заключается в следующем: I) намечается увеличение содержания радиоактивных элементов от древних магматических образований к молодым, в том же направлении намечается и общее увеличение щелочности; 2) торий-урановое отношение уменьшается от древних к молодым; 3) наибольшие концентрации урана и тория отмечаются в породах орогенной стадии и автономной активизации, т.е. в тех породах, где калий преобладает над натрием; 4) во всех случаях содержание радиоактивных элементов выше кларков соответствующих пород, что согласуется с общим высоким содержанием щелочей в магматических образованиях Центрального Памира. (Примечание: в скобках таблицы указано число проб).

КИСЛЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК РУДНОГО ВЕЩЕСТВА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВУЛКАНОГЕННЫМИ ФОРМАЦИЯМИ

Г.А.Шатков, Л.Н.Шаткова

Поведение рудных элементов при кристаллизации расплава определяется взаимодействием двух тенденций: кристаллохимического рассеяния в породообразующих и акцессорных минералах и накопления в остаточном расплаве и газово-жидких флюидах. Концентрация широкого комплекса рудных элементов (Li, Rb, Cs, Be, Sn, W, Mo, U, Th и др.) в газово-жидкой фазе обусловлена не только повышенным содержанием их в исходном расплаве, но и степенью обогащенности расплава минерализаторами.

Содержание и распределение радиоактивных элементов в продуктах вулканизма в значительной мере зависит от степени раскристаллизации пород. Интрателлурическая кристаллизация в условиях умеренных глубин приводит к обогащению остаточного расплава ураном, торием и летучими компонентами. Раскристаллизация кислых лав и игнимбритов в поверхностных условиях (фельзитизация) сопровождается выносом рудных элементов (Be, Mo, Cs, U) и минерализаторов (F, Cl, B), которые могут принимать участие в гидротермальном рудообразовании.

Фельзитизация рассматривается как процесс кристаллизации, следующий непосредственно за извержением лав или игнимбритов и носящий взрывной характер, подобно кристаллизации переохлажденной жидкости.

Предполагается, что вынос рудных элементов и минерализаторов происходит одновременно с фельзитизацией. Интенсивность выноса литофильных элементов находится в прямой зависимости от обогащенности расплава галогенами, в особенности фтором.

Процесс кристаллизации расплава сопровождается существенным изменением форм нахождения урана: от равномерного рассеяния в вулканических стеклах (расплаве) к весьма неравномерному распределению в сосуществующих микрокристаллических породах. При этом значительно возрастает доля урана, находящегося в "подвижной" миграционно-способной форме.

Коэффициенты выноса (для 15 изученных палеовулканов) варьируют для урана от 15-20% до 50-70%, для молибдена и фтора - до 60%, для хлора - до 90%. Установлены также изменения коэффициента выноса рудных элементов и минерализаторов в процессе эволюции вулканизма, что свидетельствует о существенной роли глубинной магматической дифференциации вещества.

В дополнение к господствующим представлениям о том, что гранитоидные интрузии и глубинные магматические очаги вулканов являются наиболее вероятными источниками рудного вещества месторождений, авторы полагают, что кристаллизация кислых магматических расплавов, предварительно обогащенных рудными элементами и минерализаторами, может послужить одним из источников рудного вещества и минерализаторов в гидротермальных системах вулканических депрессий и терригенно-вулканогенных впадин.

По степени выноса элементов в сочетании с другими факторами (объем вулканитов, структурная обстановка, палеогидродинамический режим и др.) можно судить о потенциальной рудоносности палеовулканов.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ АССОЦИАЦИЙ СЕВЕРО-МИНУСИНСКОЙ ВПАДИНЫ

Ю.А.Фомин, В.К.Черепнин

I. Интрузивно-вулканогенные образования района входят в состав базальт-фонолитовой и дацит-трахилипаритовой полифа-

циальных ассоциаций, генетически связанных с эволюцией мантийного базальтоидного и корового гранитоидного расплавов (Фомин, 1972).

2. Петрогенетическим различиям пород данных ассоциаций соответствует различное поведение в них урана и тория.

Количество элементов в продуктах базальт-фонолитовой ассоциации определяется, главным образом, процессами глубинной кристаллизационной дифференциации магмы, приходящими к накоплению в остаточных щелочных расплавах обоих элементов, но преимущественно тория. На характер распределения урана и тория в процессе дифференциации оказывает влияние изменение химизма расплава, и прежде всего, режим его щелочности.

Поведение урана и тория в породах дацит-трахилипаритовой ассоциации обусловлено, во-первых, дифференциацией исходного расплава, причем в начальные стадии процесса (вулканизм) накапливается преимущественно торий, а к концу процесса (гранитоидная интрузия)-уран, и, во-вторых, явлениями контаминации и гибридизма. Взаимодействие гранитоидного расплава с высокоосновными образованиями приводит к обогащению его щелочами и обеднению ураном и торием.

3. Распределение радиоактивных элементов в минералах изученных ассоциацией имеет значительное сходство, отражающее сходные условия кристаллизации пород.

Главная часть урана и тория связана с породообразующими минералами, из которых обогащены элементами темноцветные компоненты (пироксены, амфиболы, биотиты) и обеднены - салические (полевые шпаты, нефелин, кварц). Из акцессорных минералов значительную роль в балансе урана и тория играет магнетит и гематит и весьма подчиненную - апатит и циркон.

Основные формы нахождения урана и тория представлены элементами, рассеянными в главных породообразующих и акцессорных минералах и вулканическом стекле (механически захваченными в процессе их кристаллизации) - 69-95%; изоморфно входящими в решетку некоторых акцессорных (циркон, апатит) и породообразующих (роговая обманка, биотит) минералов - 0,8-14,5%. Легкоподвижная часть урана (5-30%) сорбируется породообразующими минералами порфировых выделений в магматическую стадию, переотлагается в ходе диагенеза пород, а также отлагается в постмагматическую стадию процесса.

При кристаллизации изученных пород уран и торий накапливаются от интрателлурической фазы к эффузивной. В собственно-эффузивную фазу концентрации элементов также увеличиваются от ранних выделений к поздним.

4. Подтверждается значительная роль урана и тория как индикаторов петрогенных процессов. Изучение особенностей распределения этих элементов дает дополнительный материал для выяснения состава и характера эволюции исходных расплавов, а также условий формирования магматических продуктов. Эти данные согласуются с выводом о неоднократном выплавлении мантийных и коровых расплавов. Сравнение торий-уранового отношения для пород обеих ассоциаций служит подтверждением их геохимической самостоятельности, вытекающей из связи с различными глубинными источниками.

5. Изучение геохимии урана и тория в подобных образованиях представляет значительный практический интерес с точки зрения оценки потенциальной рудоносности последних.

Эволюция базальт-фонолитового магматизма имеет существенно ториевый уклон; причем, геолого-петрологические условия формирования продуктов данной ассоциации дают ограниченные возможности для постмагматической деятельности.

Эволюция гранитоидного расплава приводит на завершающих стадиях магматического процесса к относительному обогащению его продуктов ураном, причем обнаруживаются значительные возможности для перехода данного элемента совместно с молибденом и др. в постмагматические растворы.

Несмотря на весьма ограниченную фильтрационную активность урана, связанного с неизмененными эффузивами, можно ожидать существенное количественное увеличение легкоподвижной части элемента в пределах зон изменения пород.

СВЯЗЬ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ U, Th И K В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ИСЛАНДИИ И ЕЕ ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ

А.И.Поляков, О.П.Соборнов

I. При мобилизации мантийного вещества в рифтовой зоне Исландии под тонкой (8-I6 км) базальтовой корой возникают выплавки базальтового состава. Вещество верхней мантии является источником радиоактивных элементов (U , Th и K) в вулканических породах района.

2. Значительные вариации (I-2 порядка) в содержании U, Th и K в исходных базальтовых расплавах, формирующихся геологически одновременно в одном регионе обусловлены особенностями строения рифтовой зоны и условиями магмообразования.

3. Интенсивность продуцирования базальтовых расплавов из мантийного вещества на отдельных участках рифтовой зоны определяет содержание радиоактивных элементов в возникающих расплавах. В участках с низкой интенсивностью магмообразования (фланги рифтовой зоны) при малых относительных объемах плавления субстрата возникают расплавы, отвечающие по составу щелочным оливиновым базальтам, обогащенным радиоактивными элементами. В участках, где интенсивность магмообразования велика (осевые части рифтовой зоны) толеитовые выплавки существенно обеднены радиоактивными элементами до уровня типичных океанических базальтов.

4. Накопление урана, тория и калия в 5-I5 раз в комагматических риолит-базальтовых сериях соответствует отделению 5-I0% риолитовой эвтектики от первичного базальтового расплава в ходе его фракционной кристаллизации.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ УРАНА И ТОРИЯ ПРИ ЭВОЛЮЦИИ МАГМАТИЗМА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПАЛЕОЗОЙСКИХ СКЛАДЧАТЫХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

В.Д.Алексеенко, А.В.Булычев, А.А.Горцевский, Г.В.Нехорошев, Г.Т.Скублов, В.Н.Федоров

Особенности миграции урана и тория при эволюции магматизма складчатых систем определяются многочисленными и разнообразными факторами. Важнейшими из них являются: интенсивность и длительность проявления инициального магматизма, характер прединверсионной подготовки структур и последующего формирования геосинклинально-складчатого основания. Для внутригеосинклинальных поднятий важное значение имеет время и степень консолидации. Влияние отмеченных факторов на миграционную способность урана и тория показано на примере конкретных типов складчатых систем региона.

I. Каледонские эвгеосинклинальные. а) С интенсивным длительным проявлением инициального магматизма, слабо проявленным прединверсионным осадконакоплением и постинверсионным магма -

тизмом (Чингиз-Тарбагатайская). Пониженные содержания урана и тория (кларк концентрации 0,6-0,9) в породах магматических формаций всех этапов развития обусловлены первичной обедненностью этими элементами базальтоидной магмы. Содержания урана и тория в последовательных дифференциатах повышаются пропорционально их содержаниям и соотношению в исходной магме. Торий-урановые отношения не превышают 3,5-3,7. Направленное полициклическое эволюционирование приводит к последовательному увеличению концентраций (остающихся ниже кларка) для каждого этапа развития от ранних формаций к более поздним.

б) С сокращенным по времени проявления, набору и мощности формаций инициальным магматизмом, интенсивным осадконакоплением прединверсионного времени, мощным постинверсионным магматизмом (Бетпак-Дала-Чу-Илийская). Радиогеохимические особенности магматизма постинверсионного этапа (вулканогенно-молассовая, андезит-липаритовая, гранит-гранодиоритовая формации) обусловлены здесь длительной эволюцией андезито-базальтовой магмы, обогащенной ураном (кларк концентрации 1,3-1,5). В процессе становления вулканогенных серий уран более миграционноспособен, чем торий. Это выражается в последовательном увеличении его концентраций от ранних циклов к конечным (кларк концентрации в липаритах конечных циклов повышается до 2,0-2,5). В интрузивных сериях миграционная способность тория выше, чем урана. Это выражено повышением торий-уранового отношения от 3,5-3,7 до 6,0-6,5 в последовательных фазах внедрения. Валовые содержания урана и тория (максимальные кларки концентраций соответственно 2,5-3,0 и 3,0-4,0) выше, чем для вулканитов.

2. Внутригеосинклинальные поднятия ранней консолидации (Бурунтавское, Акдалинское и др.). Характер миграции рассматриваемых элементов в гранитоидах обусловлен процессами предшествующего метаморфизма. Для известных здесь интрузий характерно обеднение ураном гранитоидов ранних фаз внедрения (кларк концентрации урана 0,5-0,7, тория 1,0-1,2). Последующая эволюция магматизма приводит к повышению его миграционной способности и преобладающему накоплению. В гранитоидах заключительных фаз кларк концентрации урана достигает 1,5-2,0 тория 1,4-1,6. Отмечается редкометальная специализация.

3. Герцинские складчатые системы (структуры Северного Прибалхашья и др.). С незначительным проявлением инициального

магматизма, интенсивным длительным осадконакоплением миогеосинклинального типа и широко проявленным постинверсионным, преимущественно кислым по составу магматизмом. В ряде формаций этого времени для вулканитов и гранитоидов отмечена направленность в сторону повышения торий-уранового отношения. По возрастам оно составляет: C_I - 4,6; C_{2-3} - 5,0; C_3 - 7,8. Валовые концентрации урана близки, либо несколько выше кларка.

4. Пермские гранитовые, гранит-граносиенитовые формации (активизационные, общая консолидация региона). Их размещение слабо зависит от предыдущей истории развития структур. Отмечаются устойчиво высокие содержания тория, большой группы редкометальных (редкоземельных) элементов (кларк концентрации до 2,0-4,0) и переменные, зависящие от конкретных особенностей развития интрузий, содержания урана. Торий-урановое отношение колеблется от 2,0-3,0 до 7,0-9,0.

Направленность радиогеохимического развития увязывается с типом дофанерозойского фундамента (гранитизированного для Iб и 2, океаническая кора для Iа и 3).

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В ЭВОЛЮЦИИ ГРАНИТОИДНОГО ИНТРУЗИВНОГО МАГМАТИЗМА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Р.С.Журавлев, Д.К.Осипов

В Кузнецком Алатау известны три разновозрастных группы гранитоидных массивов: I - докембрийские сложнометаморфизованные, II - раннепалеозойские слабометаморфизованные и III - среднепалеозойские малоизмененные. Они характеризуются следующими цифрами содержаний урана и тория (в п.10^{-4}%):

I. Докембрийские	уран -	I,9,	тория -	8,9
2. Раннепалеозойские	-"-	3,8	-"-	9,4
3. Среднепалеозойские	-"-	5,2	-"-	I3,6

Увеличение содержаний в поздних гранитоидах сопровождается изменением форм нахождения урана. По результатам минеральных балансов, количество подвижного урана в названных группах пород колеблется следующим образом: I - 24,4, II - 59,4 и III - 29,4 процента от общего его количества.

Анализ результатов осколочной радиографии также позволяет подразделить гранитоиды на четыре разновидности, различающиеся местом накопления урана: I- с нахождением элемента в акцессориях (до 90%), 2 - с равномерным распределением между всеми

группами минералов, З - с преобладанием урана в породообразующих минералах (более 50%) и Э - с присутствием его в собственно урановых минералах. Акцессорное нахождение характерно для гранитоидов докембрия, где уран преобладает в стойких к изменению цирконах и сфенах ранних этапов кристаллизации расплава. Для среднепалеозойских массивов свойственно рассеяние элемента в породообразующих минералах, как равномерное распределение между всеми группами минералов. Наконец, в среднепалеозойских гранитах уран вновь концентрируется в акцессорных группах минералов, сформированных, однако, в завершающие стадии кристаллизации (монацит, циркон, апатит, магнетит), или в собственно урановых минералах, приуроченных к участкам дробления пород.

Аналогичная изменчивость форм нахождения и содержаний урана наблюдается и в многофазных (полихронных) массивов гранитов от ранних к завершающим фазам становления. При этом средние содержания радиоактивных элементов в породах начальных фаз кристаллизации близки к содержаниям их во вмещающих толщах за пределами экзоконтактовых ореолов (в последних содержания, как правило, понижены).

В целом для геохимии радиоактивных элементов региона установлены следующие закономерности.

Малая подвижность и пониженные содержания урана и тория в сложнометаморфизованных докембрийских гранитах являются следствием выноса их за пределы интрузивов при зеленосланцевом и амфиболитовом метаморфизме. Здесь сохраняется лишь та часть радиоактивных элементов, которая входит в состав высокотемпературных, стойких к изменениям акцессорных минералов. Очевидно значительная миграция многих, в том числе и радиоактивных элементов, выразившаяся в существенном изменении петрохимических и радиохимических характеристик пород.

Раннепалеозойские гранитоиды характеризуются широким рассеянием урана. При этом, граниты ранних фаз становления несут четкие следы палингенного унаследования радиоактивных элементов, в то время как породы поздних фаз обогащаются ими или за счет дифференциации расплавов, или при "подтоке" вещества из глубинных магматических камер. Возможность такого "подтока" доказана экспериментально. Относительно слабые метаморфические изменения этих гранитов не приводят к существенному массоперено-

су и процесс ограничивается лишь местными перераспределениями элементов, способствующими рассеянию урана и в меньшей степени тория во всех минералах.

Среднепалеозойским гранитам свойственны высокие степени дифференциации расплавов. Консервация урана и тория в породах связана с заключительными этапами магматической стадии, вследствие чего эти элементы частично входят в решетки завершающих кристаллизацию акцессориев, а частично обособляются в самостоятельные минералы. Эти процессы ведут к обогащению поздних гранитоидов ураном и торием при качественно отличных от предыдущих пород формах нахождения, создавая предпосылки для последующей термальной активизации радиоактивных элементов.

ФОРМЫ УРАНА В ГРАНИТОИДНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЧАТКАЛО-КУРАМИНСКОГО РЕГИОНА (СРЕДНЯЯ АЗИЯ)

Р.А.Магдиев, М.А.Шаисламова

Придавая особое значение формам нахождения и распределения кларкового урана в разновозрастных формациях гранитоидов в деле познания их геохимических особенностей, авторы провели исследования по искусственному выщелачиванию урана. Исследованиям подвергались более 300 образцов из каледонских и герцинских гранитоидов Чаткало-Кураминского региона, собранных авторами и В.И.Айзенштатом. Процесс извлечения урана из пород осуществлялся 5% раствором углекислого аммония с добавлением перекиси водорода и 5% бикарбоната натрия по методике, предложенной Л.В.Таусоном.

I. Гранитоиды каледонского комплекса характеризуются надкларковым содержанием урана. Это связано не с первичными повышенными концентрациями урана в магме, а обусловлено вторичным его перераспределением. Как правило, в более поздних дифференциатах магмы труднорастворимая форма урана преобладает над подвижной.

2. Герцинские гранитоиды, особенно их поздние дифференциаты, обладают большим количеством как подвижной, так и труднорастворимой форм урана, чем каледонские гранитоиды. Так, если из гранитоидов каледонского комплекса извлекается 43,5% труднорастворимой формы урана, то из герцинских гранитоидов более

ранних (C_2) формаций извлекается 46,3%, а более поздних - (C_3 и P-T) - 61%.

В то же время степень извлечения легкоподвижной формы урана в упомянутых формациях гранитоидов меняется в обратном порядке и с меньшей интенсивностью..

3. Легкоподвижной формой урана относительно богаты молодые формации гранитоидных интрузий и в том числе те из них, которые больше подверглись постмагматическим изменениям. Если гранодиоритовая формация (C_3) содержит $5,4.10^{-4}$% суммарного количества урана и 30% из него приходится на легкоподвижную форму, то аналогичные породы из зон хлоритизации, содержащие около $5,1.10^{-4}$% урана, характеризуются большей (57%) концентрацией легкоподвижной его формы. В альбитизированных гранодиоритах процент выщелачиваемости меньше, по сравнению даже с неизмененными породами. Это указывает на то, что процесс альбитизации не только обогащает данную породу ураном (Хамрабаев, Магдиев, 1972), но также способствует закреплению его в составе минералов. Извлечение этого урана возможно лишь при добавлении в раствор реагентов - окислителей (перекись водорода).

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ УРАНА В ГРАНИТОИДНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ КАРАМАЗАРА

С.М.Бабаходжаев

Карамазар в системе Кураминской подзоны характеризуется широким развитием палеозойских магматических образований. Развитие гранитоидов,в основном, связано с герцинской складчатостью. Позднепермско-нижнетриасовая активизация во многом осложняет складчатые структуры региона и способствует широкому развитию дифференцированных интрузивов повышенной кислотности.

В рамках герцинского магматизма здесь выделяются 5 интрузивных комплексов: среднекарбоновый, верхнекарбоновый, нижнепермский, верхнепермский и нижнетриасовый. Выделенные комплексы характеризуются сменой петрохимического состава интрузивов от более основного и среднего (C_2-C_3 - диориты, кварцевые диориты, гранодиориты) в начальные стадии развития магматизма от кислого ($P-T_I$ - граниты, аляскиты), в конечных его стадиях. Эта последовательность связана с процессами гибридизма и

кристаллизационной дифференциации.

Среднее содержание урана в породах гранитоидных комплексов следующее: среднекарбоновые гранодиорит-граниты - 3,4 г/т, верхнекарбоновые порфировидные гранодиориты-граниты - 6,0 г/т, нижнепермские сиенито-диориты - 4,8 г/т, верхнепермские лейкократовые граниты - 9,3 г/т и нижнетриасовые липариты и гранит-порфиры - 8,5 г/т.

Выяснилось, что уран в гранитоидах концентрируется неравномерно и его миграционная активность варьирует в зависимости от содержания некоторых петрогенных элементов. В породах отмеченных гранитоидов колеблется содержание (вес.%) SiO_2 и K_2O соответственно (SiO_2 - 67,7-64,7-59,1-72,6-70,7; K_2O - 3,88-3,94-3-25-4,32-6,07).

Из приведенных данных видно, что повышение миграционной активности урана гранитоидов находится в тесной связи с колебаниями содержаний кремнезема и щелочей и имеет закономерный характер; концентрация и миграционная активность урана возрастают к завершающим стадиям развития гранитной магмы. Повышенная концентрация урана в пермо-триасовых гранитоидах согласуется с частым присутствием акцессорных урансодержащих минералов - урано-торит, урановая слюдка, ортит и др.

В вертикальном сечении ряда гранитоидных массивов максимальные концентрации урана имеют место в центральных и нижних зонах. В верхних частях гранитоидных массивов и эффузивных покровах уран плохо задерживается и рассеивается во внешних зонах интрузивной камеры.

Гранитную магму, давшую породы пермо-триасовых интрузивов, можно считать источником урана в последующих процессах.

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (РЭ) В ПРОЦЕССАХ СТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИТОИДОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО ПАМИРА)

В.С.Лутков

I. Обычно описывается тесная связь U с Th и их накопление в поздних кислых и щелочных дифференциатах (Комлев, I950; Ларсен и др., I956; Туровский, I957; Абрамович, I959; Марин, I966; Иванов, I967 и др.), хотя нередки исключения из этого правила (Баранов и др., I962; Дмитриев, Леонова, I962; Семенов, Смис-

лов, 1963; Лутков и др., 1971). Большинство исследователей отмечает сходство в поведении РЭ и Si , K, в то время как В.И.Барановым и Ду-Ле-Тянем, С.Д.Туровским (1957, 1972), Н.Н.Амшинским и др. (1972) предполагается миграция РЭ совместно с минерализаторами. Как будет показано ниже, подобная неустойчивость поведения РЭ обнаруживается и внутри генетически связанных гранитоидных ассоциаций.

2. Радиогеохимическая неоднородность магматических комплексов изучена на примере 7 синхронных гранодиорит-гранитных массивов, которые соединяются на глубине в единое тело мощностью 5-7,5 км. Комагматичные плутоны или их группы, включая сложенные породами одноименных фаз, формировались в разнообразных геолого-структурных и физико-химических условиях и различаются рядом петролого-геохимических признаков, вплоть до появления пород с чертами гранитоидов разных формационных типов (петрологическая неоднородность комплексов).

3. Породы одних и тех же фаз некоторых массивов существенно (в 2-3 раза) различаются содержанием РЭ. Повышенные концентрации U свойственны гранитоидам с невысокими содержаниями Si и K, что согласуется с отсутствием прямых линейных связей РЭ с петрогенными компонентами. Минимальные концентрации U найдены в глубоко вскрытом Южнокаракульском плутоне. Однако в других массивах уровень эрозионного среза заметно не влияет на распределение U и, тем более, Th . К поздним дифференциатам содержание РЭ в одних плутонах растет, а в других падает или остается неизменным, вопреки традиционным представлениям об их распределении в генетически связанных сериях. Нет единообразия в статистических связях U и Th , они варьируют от прямых до обратных; от массива к массиву изменяется Th/U отношение (4-13).

В ряде случаев есть основания считать, что одним из факторов миграции РЭ являются особенности поведения летучих, участвующих в эманационном переносе РЭ. В целом для изученных гранитоидов характерна положительная зависимость между содержаниями U и B, P, отрицательная - Th и B ; связи U , Th-F не проявлены, U интенсивнее накапливается в поздних дериватах, богатых B: в них коэффициенты накопления равны 1,3-2,4, а в обедненных B дифференциатах - 1,2-1,3. В жильных гранитах преобладает тенденция снижения концентрации РЭ, связанная,

очевидно, с явлениями дегазации остаточных расплавов. Вместе с тем от массива к массиву могут меняться сила и знак статистических связей РЭ с летучими.

В связи с изложенным вряд ли целесообразно изучение радиогеохимических особенностей гранитоидов на основе единичных "эталонных" массивов или, наоборот, интрузивных комплексов в целом, без учета радиогеохимической автономности отдельных магматических тел.

4. Радиогеохимическая и петрологическая неоднородность комплексов в какой-то мере моделирует многообразие условий формирования гранитоидов. Можно предполагать, что содержание и миграция РЭ в магматическом процессе определяются совокупностью геолого-тектонических, петрологических и собственно геохимических факторов. К ним относятся: положение гранитоидных плутонов в блоках разного глубинного строения, размеры, морфология, эрозионный срез и механизм формирования массивов, физико-механические свойства и состав среды, состав гранитоидов, их глубинность, флюидный режим, тип и масштабы дифференциации, гибридизма, магматического замещения, метасоматоза и выщелачивания, первичный уровнь концентрации РЭ и субстрата и палингенном гранитоидном расплаве, формы нахождения, характер связей с петрогенными и летучими элементами и их миграционная активность.

В зависимости от геологических и физико-химических условий формирования гранитоидных сообществ или входящих в их состав плутонов может изменяться относительное значение некоторых из перечисленных причин, чем отчасти объясняется разноречивость сведений о распределении РЭ в гранитоидах различных регионов. В связи с тем, что действие всех названных факторов тесно взаимосвязано, далеко не всегда удается выделить среди них какой-либо доминирующий или универсальный и увязать особенности миграции РЭ с определенными геолого-петрологическими и геохимическими процессами.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ПРОЦЕССЕ СТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИТОИДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАМИРА

М.Б.Акрамов, О.Норметов

Центральный Памир в структурном отношении принадлежит к се-

верному обрамлению Каракорумской складчатой системы. В пределах этой зоны западная ее часть занимает свое особое место как область чрезвычайно интенсивной интрузивной деятельности, приуроченной ко времени от условно протерозойского до неогенового периода.

Интрузивные комплексы западной части Центрального Памира соответствуют двум тектоно-магматическим циклам - условно допалеозойскому и мезозойско-раннекайнозойскому и представлены следующими комплексами: дустирозским допалеозойским габбро-амфиболитовым, зайчским раннемеловым габброидным, кумачдаринским позднемеловым диорит-гранодиоритовым, ванч-язгулемским палеогеновым гранитоидным, сунгатским палеоген-неогеновым дайек кислого состава.

Основные породы района в целом характеризуются средним содержанием урана. Причем радиоактивность дустирозского комплекса (4,2 г/т) несколько выше радиоактивности зайчского (I,2 г/т) габброидного комплекса.

Поведение концентрации урана и тория, как правило, сопровождается некоторым уменьшением содержания в породах кремния, натрия и повышением количества алюминия, титана, железа, магния и извести.

В породах Кумачдаринского комплекса накопление урана и тория происходит в породах ранних фаз. Постепенное уменьшение радиоактивных элементов от ранних дифференциатов к поздним сопровождается возрастанием кислотности пород и снижением извести, титана, магния и железа. Кумачдаринский комплекс по сравнению с зайчским характеризуется равным содержанием урана и повышенным (примерно в 2 раза) содержанием тория.

В целом, для интрузивных комплексов района устанавливается возрастание количества тория в направлении от основных к кислым, хотя при этом отмечаются значительные вариации. Исключение представляет дистирозский комплекс.

Наиболее многообразно представлен ванч-язгулемский гранитоидный комплекс, среди его продуктов встречаются породы четырех последовательных интрузивных фаз, представленных самым различным петрографическим составом. В породах этого комплекса от ранних более основных к кислым конечным дифференциатам происходит постепенное увеличение урана и тория. При этом, содержание урана возрастает в меньшей степени, чем тория.

Содержание в породах урансодержащих акцессорных минералов (циркон, ортит, монацит, торит) изменяется прямо пропорционально, указывая на то, что некоторая часть урана, содержащегося в породах, концентрируется в акцессорных минералах.

В акцессорном монаците устанавливается постепенное уменьшение содержания урана от пород ранних фаз к поздним, а наибольшее его содержание фиксируется в монацитах из пегматитов.

Отчетливо устанавливается прямая зависимость содержания радиоактивных элементов от щелочности гранитоидов и обратная - от показателей анортитовости.

Общее непостоянное, скачкообразное отношение Th/U (от 3,3 до 13,3) в совокупности с анализом вариации химического состава позволяет гранитоиды ванч-язгулемского комплекса относить к производным кислых магм, в отличие от базальтоидных, где это отношении более постоянно.

Изучение поведения урана и тория по вертикальному разрезу гранитоидных массивов (Кударинский интрузив) показало возрастание их содержания с глубиной. Некоторое увеличение содержания радиоактивных элементов с глубиной эрозионного среза объясняется возрастанием содержания монацита и циркона в центральной части массива.

В целом, разновозрастные интрузивные комплексы западной части Центрального Памира довольно четко различаются по содержанию радиоактивных элементов и относятся к категории типов низкой и средней радиоактивности.

О ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ УРАНА В ПРОЦЕССЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

П.С.Козлова, И.Г.Берзина, М.Ю.Гурвич

С помощью f -радиографии изучено пространственное распределение урана в нефелиновых сиенитах и продуктах их гидротермального изменения. Получены следующие результаты:

1) Основными носителями урана в нефелиновых сиенитах являются акцессорные минералы (циркон, апатит, сфен) и гранат, один из породообразующих темноцветных минералов породы.

2) Главную массу урана в гранате составляет равномерно распределенный сингенетичный уран, входящий в решетку минерала при кристаллизации. Небольшое количество его обусловлено

микровключениями урансодержащих акцессорных минералов.

3) Процесс низкотемпературного гидротермального изменения нефелиновых сиенитов сопровождается разложением граната и выносом из него значительной массы урана.

4) Выщелоченный из нефелиновых сиенитов уран концентрируется в полевошпатовых прожилках в виде урансодержащего рутила.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕОХИМИИ УРАНА И ТОРИЯ В ПОЛИСТАДИЙНОМ ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ю.А.Багдасаров, Л.А.Березина

Уран и торий являются типоморфными элементами в сложных щелочно-ультраосновных карбонатитовых комплексах. Изучение их распределения в этих породах показывает, что оно контролируется рядом факторов, таких как изоморфная емкость породообразующих минералов, наличие минералов - концентраторов, температура и кислотно-основные свойства метасоматизирующих растворов и субстрата, определяющие поля устойчивости соответствующих комплексных соединений.

Геохимическое поведение радиоактивных элементов в процессе образования докарбонатитовых силикатных пород магматического этапа достаточно близко- они распределены в породообразующих и отчасти в рудных минералах - титаномагнетите, пироксене, сфене.

Поведение U и Th в карбонатитовом процессе сложно и определяется полистадийностью процесса и полифациальностью образующихся метасоматитов.

Метасоматическое карбонатитообразование ранней стадии, не сопровождающееся появлением сингенетических минералов - концентраторов, вызывает снижение содержаний U и Th по сравнению с исходными породами. вследствие замещения силикатов кальцитом.

Различия в поведении U и Th обнаруживаются со второй редкометальной стадии образования карбонатитов, отличающейся наиболее высоким содержанием радиоактивных элементов. Особенности поведения и миграции U на этой стадии карбонатитового процесса определяются его тесной корреляционной связью с Ta/ r = 0,9-0,96/ и контролируются условиями взаимодействия рудоносных растворов с субстратом. В условиях сравнительно небольшого гра-

диента основности на границе субстрат-раствор и высоких абсолютных значений этой величины образуются фации с повышенной урановосностью (до I6-I8% U_3O_8 в гатчеттолитах, до 3-5% - в циркелитах). В тыловых частях метасоматитов, вследствие возрастания кислотности, содержание U и Th постепенно падает до первых % каждого элемента в минералах группы пирохлора. По субстрату иного состава образуются фации с еще меньшей урановостью.

Условия концентрации Th на данной стадии процесса оказываются иными. Высокие корреляционные связи пары Nb-Th определяют концентрацию Th в участках карбонатитов, богатых пирохлором, при низкой общей тантало- и урановосности. Подобные участки формируются при высоких значениях градиента основности субстрат-раствор или резкой химической неравновесности карбонатитообразующего флюида и силикатного субстрата, препятствующих геохимической дифференциации как Ta и Nb , так и U и Th в новообразованных фациях карбонатитов.

Изучение распределения U и Th по зонам роста минералов группы пирохлора показывает, что во внешних зонах метасоматитов с максимальной урановосностью, U концентрируется, главным образом, в "ядрах" кристаллов, образуя также максимумы в нескольких кольцевых зонах роста, реже - в периферических каймах кристаллов. В тыловых частях метасоматитов, внешние зоны кристаллов характеризуются минимальной урановостью, что свидетельствует о выносе и отсутствии вторичной фиксации элемента.

Что касается Th , то при том же общем характере распределения - уменьшении его содержания от внешних частей метасоматитов к тыловым - размещение его по зонам роста кристаллов указывает на возможность вторичной фиксации в метасоматическом процессе.

Более поздние стадии формирования карбонатитов проходят только с выносом U . Поведение Th более сложно. Th выносится из минералов группы пирохлора с первично высоким его содержанием до 9-I5%, фиксируясь в пирохлорах позднейших генераций, содержащих до I,5% Th , при 0,0n-0,I % U. Еще более контрастным оказывается поведение их в заключительную стадию формирования карбонатитов. U и Ta почти нацело выносятся при замещении гатчеттолита ферсмитом и колумбитом, циркелита - цирконом, тогда как Th входит в состав карбонатов TR и мона-

цита. Указанные породы, как и образования т.н. "посткарбонатитового этапа", фиксирующиеся, главным образом, в надапикальных частях массивов, характеризуются резко выраженной ториевой активностью (Th : U I00).

УРАН В ПРОЦЕССАХ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАГМ

А.С.Сергеев, А.С.Житков

По данным "валовых" определений, содержание U в оливинитах, перидотитах, пироксенитах, нефелиновых пироксенитах щелочно-ультраосновной формации Балтийского щита на несколько порядков превосходит содержание U в гипербазитах дунит-гарцбургитовой формации (0,п - пхI0^{-4}% и 0,00пхI0^{-4}% соответственно).

Проведенное количественное изучение содержания и распределения U в ряде образцов ультраосновных пород из массивов Лесной Бараки, Африканды и Турьего полуострова методом осколочной радиографии (деление U тепловыми нейтронами) показало, что U по минеральным фазам распределен крайне неравномерно. Главные породообразующие минералы характеризуются следующими содержаниями U : оливин - 0.000п x I0^{-4}%, моноклинный пироксен - 0,00п x I0^{-4}%, магнетит - 0,000п x I0^{-4}%, т.е. не отличаются от соответствующих минералов дунитов и диаллагитов. Перовскит, кристаллизовавшийся в щелочно-ультраосновных породах в магматическую стадию, по содержанию U сопоставим с клинопироксеном (0,0п - 0,00п x I0^{-4}%).

Главными концентраторами являются минералы позднемагматической и постмагматической стадий: апатит, сфен, шерломит (п x I0^{-4} - п x I0^{-3} %), а также поздний перовскит (до п x I0^{-3} %). Такими же содержаниями характеризуются участки в раннем перовските, перекристаллизованные и обогащенные U в наложенных процессах. В акцессорных минералах, количество которых повышается в зонах постмагматических изменений и в приконтактовых частях интрузивных тел, сосредоточено более 80% U. Существенная доля U (до I0-I5%) локализована в межгранулярных трещинах.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют об ограниченном накоплении U при дифференциации щелочно-ультраосновных расплавов. В этом отношении гипербазиты щелочно-ультра-

основной формации сходны с гипербазитовыми сериями подвижных поясов.

Резкое накопление U происходило лишь в постмагматическую стадию, при формировании мелилитизированных, нефелинизированных, карбонатизированных и др. метасоматических пород при воздействии на ультраосновные породы щелочных растворов глубинного происхождения. В недифференцированных петрохимических эквивалентах щелочно-ультраосновной формации (жильных оливиновых мельтейгит-порфирах Турьего п-ва) содержание и распределение U практически такое же, как и в гипербазитах. Это дает основание считать, что привнос U лишь отчасти можно связывать с процессами автометаморфического характера.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ УРАНА В ПРОЦЕССЕ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ЧИНЕЙСКОГО ГАББРО-НОРИТ-АНОРТОЗИТОВОГО ЛОПОЛИТА

В.Т.Свириденко

I. Ритмически расслоенные габбро-норит-анортозитовые интрузии характеризуют магматизм ранне-среднепротерозойской активизации крупнейших протоплатформ (район Трансвааль, Южная Африка; район Эллиот-Лейк, Канада и др.).

2. Формационным аналогом их на западе Алданского щита являются габброиды среднепротерозойского Чинейского лополита. В ряду дифференцированных габброидов Чинейского лополита детально изучено распределение U, Th, K, Rb в анортозитах, норитах, плагиоклазовых пироксенитах, титаномагнетитовых габбро и титаномагнетитовых рудах. представляющих собой последовательно кристаллизующуюся в условиях сохранения общего состава серию пород.

3. В исследованной серии пород U тесно коррелируется с Rb, K, K/Rb отношением, что предполагает, вероятно, и единство механизма, ответственного за их поведение в магматическом процессе.

Ранее автором установлено, что подвижность K и Rb при фракционировании толеитовой магмы обусловлена не геохимической их близостью, а режимом P_{O_2}.

4. Ведущим фактором поведения U в процессе кристаллизации расплава является его окислительно-восстановительный потенци-

Таблица

Породы	P_{O_2}	U x 10^{-4}	Th x 10^{-4}	K%	Rb x 10^{-4}	K/Rb
Анортозиты	$2,16 \times 10^{-4}$	1,50	2,37	1,18	32,7	361
Нориты	$0,30 \times 10^{-5}$	1,10	2,77	0,32	5	640
Пироксениты	$0,45 \times 10^{-6}$	1,00	2,31	0,29	4,4	661
Рудные габбро	$4,73 \times 10^{-7}$	0,83	3,64	0,14	2	700
Титаномагнетитовые руды	$1,13 \times 10^{-10}$	0.59	1,76	0,10	1	700

ал в сочетании с изменением P_{O_2}. Из таблицы видно, что с увеличением P_{O_2} в магме на ранних стадиях ее кристаллизации в породах увеличивается и содержание U. Как известно, U имеет более высокий окислительно-восстановительный потенциал по сравнению с железом и, естественно, он ранее железа подвергается окислению и извлечению его из расплава.

5. Парциальное давление кислорода регулирует фазовые и минеральные превращения в процессе кристаллизации. При сохранении общего состава изменяющееся P_{O_2} кристаллизующейся магмы, согласно правилу Ле-Шателье, приводит к периодической смене кристаллизации силикатных магнезиально-железистых минералов (пироксены) окислами железа и титана (ильменит, титаномагнетит). Вхождение в кристаллическую решетку последних Rb и U затруднено, что приводит к накоплению их в более ранние фазы кристаллизации (анортозиты, лейкогаббро, нориты). Для этих же пород получены максимальные значения коэффициента накопления U, вычисленного по методу Д.Шоу.

6. Если основные закономерности геохимии U в процессе кристаллизации толеитовой магмы как будто проясняются, механизм, управляющий распределением Th остается еще неясным. Содержание Th и коэффициента его накопления в последовательном ряду кристаллизующихся пород непостоянно и не имеет видимой связи с ураном.

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ОСНОВНОГО МАГМАТИЗМА И УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ДРУЗИТОВ БЕЛОМОРЬЯ)

Н.Д.Малов, В.К.Титов

I. Изучено распределение U и Th в породах друзитового комплекса, их метаморфизованных разностях и вмещающих гнейсах беломорской серии.

2. На основе изучения основных-ультраосновных пород, не затронутых амфиболизацией, установлены следующие особенности распределения калия, урана и тория:

Элементы	Перидотиты	Оливиновые габбро-нориты	Габбро-нориты	Габбро-пегматиты
K (%)	0,2I	0,49	0,65	0,82
Th ($.10^{-4}$%)	I,2	2,0	2,2	3,I
U ($.10^{-4}$%)	концентрации менее 0,I			0,5
Th/K	5,9	4,0	3,3	3,8

Почти тридцатикратное обогащение торием ультрабазитов и более чем пятикратный дефицит урана в базитах по сравнению с кларками связываются с несовершенством магматической дифференциации в процессе формирования интрузивного комплекса. На фоне этой особенности намечается зависимость уровней концентрации K и Th от геоструктурного положения интрузивов:

Типы структур II и III порядка	Элементы	Ультрабазиты	Базиты
Антиклинали	Th ($.10^{-4}$%)	I,0	2,3
	K (%)	0,3	0,7
	Th/K	3,5	3,2
Синклинали	Th ($.10^{-4}$ %)	I,3	I,7
	K (%)	0,2	0,35
	Th/K	6,5	4,8

3. В зонах ультраметаморфизма и гидротермальных изменений друзиты преобразуются в амфиболиты, реже в амфибол-биотитовые мигматиты, а вмещающие гнейсы - в кианит-гранат-биотитовые плагиомигматиты, вплоть до гранитов и анатектитов. При

этом во всех парагенетических семействах устанавливается отчетливая тенденция к накоплению калия, тория и урана. Так, при амфиболизации основных пород содержания калия достигают 0,75-0,86%, тория - $3,5.10^{-4}$%, урана - $0,8.10^{-4}$%; при превращении кианит-гранат-биотитовых плагиогнейсов в мигматиты калий увеличивается до 1,2% вместо 0,5%, торий до $4,9.10^{-4}$% вместо $2,4.10^{-4}$% и уран - до $0,6.10^{-4}$% против 0,1- $0,5.10^{-4}$%.

4. Детальное изучение массивов амфиболизированных пород и вмещающих их гранитизированных биотитовых гнейсов на участках оз.Уракко и Попов Наволок показало, что в узких приконтактовых зонах интрузивных тел фиксируется скачкообразное изменение уровня концентрации щелочных и радиоактивных элементов. Причем в подстилающих гнейсах устанавливается значительно более высокий фон содержаний калия и урана, нежели в перекрывающих интрузивы гнейсах. Это может быть объяснено экранирующим влиянием жестких масс основных пород на распределение гранитизирующих растворов. В изученных случаях мощность экзоконтактовой зоны обогащения калием, ураном и торием прямо пропорциональна размерам массивов основных пород.

УРАН И ТОРИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРИЗОНТАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ НА ПАМИРЕ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ КСЕНОЛИТОВ В ТРУБКАХ ВЗРЫВА

Э.А.Дмитриев

Изучение распределения U и Th в различных горизонтах земной коры и мантии помогает понять законы их геохимической миграции. Распределение радиоактивных элементов, достаточно хорошо известное для гранитного слоя, еще мало изучено для глубинных частей земной коры и верхней мантии.

Неогеновые трубки взрыва щелочных базальтоидов на Памире прорывают уже раздифференцированную кору, пережившую длительную и сложную историю геологического развития. В трубках отмечаются ксенолиты различных горизонтов коры и мантии. Разрез земной коры и верхней мантии на Памире, судя по этим ксенолитам, можно представить в следующем виде.

Под осадочным чехлом, сложенным метаморфизованными породами фанерозоя, залегает кристаллическое основание из гнейсов, кристаллических сланцев и мигматитов, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации. Ниже залегают кислые гранулиты.

Еще более низкий горизонт сложен основными гранулитами, по крайней мере часть которых образовалась при гранулитизации эклогитов. Под гранулитовым слоем залегают различные эклогиты и, наконец, еще ниже располагаются гранатовые пироксениты.

Среднее содержание U и Th (в г/т) в различных горизонтах земной коры и верхней мантии на Памире

	Породы	U	Th	Th/U
Земная кора	Метаморфизованные породы осадочного чехла	I,7	I3	7,6
	Палингенные граниты	3,8	20	5,3
	Гнейсы и кристаллические сланцы кристаллического основания	I,9	I4	7,3
	Кислые гранулиты	2,4	I5	6,2
	Диориты	2,6	I4	5,4
	Основные гранулиты	I,5	6	4,0
Верхняя мантия	Эклогиты	I,8	7,7	4,3
	Пироксениты	0,9	6	6,7
	Фергусит-порфиры	9,9	75	7,6

В таблице приведены средние содержания U и Th в указанных породах, а также в мел-палеогеновых палингенных гранитах, возникших при переплавлении кристаллического фундамента и диоритов, очаг образования которых находился, вероятно, в горизонте основных гранулитов. Из таблицы следует, что содержание радиоактивных элементов растет от наиболее глубинных пород к менее глубинным. В метаморфизованных породах осадочного чехла содержание U и Th несколько ниже, чем в породах кристаллического основания. Палингенные граниты, образовавшиеся в кристаллическом фундаменте при его переплавлении, содержат наибольшие концентрации радиоактивных элементов.

Следует отметить общую повышенную радиоактивность всех пород разреза коры и верхней мантии на Памире, что, вероятно, является следствием высоких концентраций этих элементов в более глубоких горизонтах верхней мантии. На это определенно указывают высокие содержания U и Th в фергусит-порфирах,

образовавшихся из недифференцированного расплава, зародившегося заведомо ниже эклогитов и пироксенитов в верхней мантии. Особенно высокое относительное содержание радиоактивных элементов наблюдается в наиболее глубинных породах - эклогитах и пироксенитах, что на порядок выше концентраций этих элементов для глубинных включений в кимберлитах.

К ВОПРОСУ О ПОВЕДЕНИИ КАЛИЯ И УРАНА ПРИ НЕКОТОРЫХ ТИПАХ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ)

И.В.Мушкин, В.И.Климов

I. Геолого-петрологические и геофизические данные позволяют выделить в Южном Тянь-Шане два сектора: северный (нуратау-кызылкумский) с мощным и южный (гиссарский) с редуцированным гранулит-базитовым ("базальтовым") слоем. Первому из них в целом присущи пониженные калиевость, редкометальность и урановосность орогенных гранитоидов при повышенной золотоносности, для второго - картина в общих чертах обратная. Эти различия обусловлены спецификой эволюции и состава коры и, по-видимому, мантии. Указанная закономерность не распространяется на позднеорогенные калиевые граниты, приуроченность которых к тому или иному сектору мало сказывается на их геохимическом облике. Концентрации урана и калия, а также свинца и тория возрастают в породах завершающих фаз гранитоидных комплексов (И.Х.Хамрабаев, Р.Л.Магдиев, 1972; В.В.Могаровский и др., 1971), достигая максимальных значений в породах с широко проявленным щелочным метасоматозом.

2. Изучение ксенолитов пород "базальтового" слоя в дайках раннемезозойских щелочных базальтоидов позволило установить, что при эклогитизации двупироксеновых гнейсов (вещество гранулит-базитового слоя) происходил значительный вынос кремния (54 кг/м^3), натрия (29,7 кг/м^3), урана (0,001 кг/м^3) и летучих, которые, вероятно, поступали в более верхние части коры, подвергающиеся гранитизации.

3. Существующее мнение (А.П.Акимов, 1971) о возможности заимствования калия и урана базальтоидами из пород коры не подтверждается нашими петро-геохимическими данными - вокруг ксенолитов образуются биотитовые оторочки с одновременным обеднением расплава этими компонентами (калия выносится до

50 кг/м^3 и урана до 0,001-0,002 кг/м^3).

4. Изложенные региональные закономерности распределения урана и калия иллюстрируются радиогеохимическими картами, составленными по материалам крупномасштабных аэрогамма-спектрометрических съемок.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЕРЭ) В БАЗАЛЬТАХ ОСТРОВОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Ф.П.Кренделев

Базальтоиды опробованы на о-вах Пасхи, Сало-и-Гомес, Галапагосах и во впадине Хесса во время 8-го рейса НИС "Дм.Менделеев" (1972), Содержания U, Th и K измерялись гамма-спектрометрически с кристаллом NaJ (Tl) 150x150 мм. В таблице породы упорядочены по их относительному возрасту; в двух последних точках возраст не изучен, но их можно считать типичными океаническими базальтами.

О-в Пасхи представляет собой трехглавую вершину Восточно-Тихоокеанского поднятия, отделяющего по сейсмоактивной структуре (зона спрединга) Тихоокеанскую плиту от плиты Наско. О-в Сало-и-Гомес расположен на асейсмической зоне, пересекающей в широтном направлении плиту Наско. Впадина Хесса занимает точку тройного сочленения, соединяющей рифтовую зону с двумя сейсмо-тектоническими структурами.

Вулканические породы о.Пасхи отчетливо стратифицированы (7 циклов вулканизма), причем стратификация проявляется и в каждом цикле (лавы, туфы, туффиты, пеплы). Основность пород максимальна в ранних циклах и падает по времени от цикла к циклу так же как в пределах каждого цикла. Дифференциация ЕРЭ отчетливо проявляется в каждом цикле по резкому возрастанию трех ЕРЭ от оливиновых базальтов, к андезитовым базальтам, андезитовым туфам, шлакам и, наконец, к обсидианам.

Самые низкие содержания трех ЕРЭ присущи базальтам Галапагосов, впадины Хесса и коснолитам сходных пород в туфах о.Пасха. Сульфидизация и хлоритизация базальтов в зонах спрединга не ведет к перераспределению ЕРЭ. Максимальные концентрации Th и K наблюдаются в асейсмических зонах проявления вулканитов повышенной щелочности (мугиериты) на стыках плит, т.е. в условиях, сходных с платформенными образованиями суши. Наи-

более резкая дифференциация пород в ЕРЭ в них в пределах консолидированных плитных структур. Заметим, что при цеолитизации лав и туфов происходит резкий вынос U и K, а на о.Сало-и-Гомес - U, Th и K (натровый метасоматоз) Любопытно отметить, что при образовании латеритов на экваторе возрастает содержание всех трех ЕРЭ, а на о.Пасхи - только Th (уран и калий выносятся).

№№ пп	Материал пробы	Число проб	U г/т	Th г/т	K %
	Галапагосы (Санта-Крус,Сан-Кристобаль)				
I.	Латеритные почвы, охры	2	0,35	2,5	0,29
2.	Оливиновые базальты,андезиты	8	0,I0	I,0	0,I0
	Впадина Хесса				
3.	Базальты (драга 530-02)	8	0,3I	0,I	0,22
4.	Базальты хлоритизированные и сульфидизированные(драга 536-0I)	I3	0,55	0,4	0,29
	Остров Пасхи				
5.	Почвы, охры	8	0,43	2,7	0,II
6.	Цеолиты из прожилков в туфах	2	0,95	I,6	0,76
7.	Обсидианы (наконечники,скребки)	5	3,93	I0,4	2,79
8.	Туфы и шлаки Рано-Кау	8	I,72	4,5	0,92
9.	Туфы, туффиты, туфолавы Рано-Рораку	5	0,75	3,5	0,35
I0.	Красные туфы,пемзы Пуна-Пао (шапки)	2	I,30	3,3	0,92
II.	Базальты андезитовые (основание о-ва)	9	I,II	2,4	0,52
I2.	Оливиновые базальты (ксенолиты, рубила)	2	I,I7	3,5	0,62
	Остров Сало-и-Гомес				
I3.	Пемзы цеолитизированные	2	2,75	0,5	0,I0
I4.	Пемзы андезито-базальтов	2	3,85	6,5	0,99
I5.	Туфопесчаники, конгломераты	3	I,I7	4,9	0,50
I6.	Оливиновый андезито-базальт (муджиерит)	3	2,03	8,5	I,79
I7.	Миаролитовый базальт	4	2,62	9,3	2,69
I8.	Туфобрекчии основания острова	I	I,60	6,3	I,II

По характеру дифференциации ЕРЭ можно выделить районы распространения трех групп вулканических пород океанов:

I) типично океанические базальты (впадина Хесса, Галапагосы); 2) вулканиты повышенной щелочности на стыках плит (Сало-и-Гомес); 3) сочетание океанических базальтов и дифференцированных пород в зонах спрединга Восточно-Тихоокеанского поднятия (о.Пасхи). Эти выводы, вероятно,представят интерес для интерпретации результатов гамма-спектрометрических измерений на Луне, Марсе и других планетах.

УРАН В ПРОЦЕССАХ МЕТАМОРФИЗМА И УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА (НА ПРИМЕРЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА)

Я.Н.Белевцев, А.М.Жукова

I. В результате изучения распределения урана в породах регионального метаморфизма (Heier , Adams I965; Ермолаев, Жидикова, I966; Смыслов, Титов, I967; Ермолаев, I97I; Горлицкий, I97I; Белевцев, I972; Мельгунов, I972; Жуков, Жукова,I972; Жукова, Венедиктов, Жуков, I974; Белевцев, Комаров, I974) в последние годы были выявлены весьма интересные закономерности поведения радиоактивных элементов в связи с процессами метаморфического преобразования и гранитизации осадочных и вулканогенных пород. На Украинском щите нами изучались породы разного состава и различных фаций метаморфизма: гранулитовой (Мариупольское железорудное месторождение и Среднее Приднестровье), амфиболитовой (Белозерское месторождение, Западное Приазовье, Северное Криворожье) и зеленосланцевой (Белозерское, Центральное Криворожье) фаций метаморфизма, а также продукты их ультраметаморфизма. Указанные разновидности охарактеризованы достаточно представительными сериями проб (многие десятки и сотни). Содержание урана в пробах определялось люминесцентным методом с таблеточным окончанием.

2. В метаморфизованных осадочных и вулканогенных породах содержание урана различное. Наименее урановосными являются вулканогенные основного и ультраосновного ряда и хемогенные породы (менее $I,0.I0^{-4}$%). Наиболее урановосными являются кластогенные породы (гравелиты, конгломераты) нижнего протерозоя (порядка $I2-I5.I0^{-4}$%). Промежуточное значение имеют породы илисто-глинистого состава, представленные на щите всевозможными кристаллическими сланцами и парагнейсами.

Уран в осадочных слабометаморфизованных породах в большей

своей части находился в легкоподвижной форме в аутигенных урансодержащих минералах, меньше в малоподвижной форме - в виде изоморфной примеси в темноцветных минералах (хлорит, биотит, эмфибол) и неподвижной форме - в акцессорных минералах (гранаты, цирконы, ортиты).

3. Региональный динамотермальный метаморфизм вызвал широкое перемещение урана, которое усиливалось с увеличением метаморфизма. Вынос урана из пород терригенной группы при самых высоких фациях метаморфизма достигал 50-75% первоначального его содержания. Менее заметное перемещение урана наблюдается при метаморфизме вулканогенных и хемогенных образований. Таким образом урановосность метаморфических пород зависит от содержания урана в первичных породах и интенсивности их метаморфического изменения. Установлено, что доля миграционноспособного урана осталась наименьшая в породах гранулитовой фации, а наибольшая - в породах зеленосланцевой фации метаморфизма.

4. Ультраметаморфические процессы вызвали активное перемещение урана, однако различное для различных условий.

Изофациальные гранитоиды показали незначительное обогащение ураном в сравнении с метаморфическими породами, по которым они образовались, тогда как в реоморфических гранитоидах наблюдается накопление урана, превышающее в несколько раз содержание его в изофациальных гранитоидах. Особенно высокие концентрации урана наблюдаются в метасоматитах - микроклинитах, альбититах, эгиринитах и карбонатитах, являющихся диафторитами постгранитизационного происхождения. Продукты ультраметаморфизма отличаются более высоким содержанием "подвижного" (растворимого) урана, чем метаморфические породы.

5. Установленная закономерность различной урановосности исходных осадочных и вулканогенных пород и ее изменения при региональном динамотермальном метаморфизма и ультраметаморфизме хорошо отражается на карте урановосности пород Украинского щита. Отчетливо выделяются самыми низкими содержаниями урана высокометаморфизованные вулканогенные породы архея, тогда как метаморфизованные терригенные породы нижнего протерозоя, гранитоиды и особенно реоморфические граниты характеризуются более высокими содержаниями урана.

ПРИЧИНЫ РАДИОАКТИВНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.И.Климов, Г.В.Перевозчиков

Известен ряд золоторудных проявлений, характеризующихся повышенной радиоактивностью в зоне гипергенеза. Скопление на них урановых слюдок - тюямунита, цейнерита, карнотита, отенита наблюдаются как в почвах и коре выветривания, так и в коренных породах исключительно в приповерхностной зоне до уровня грунтовых вод. С глубиной активность уменьшается до фоновой и лишь на отдельных золоторудных проявлениях имеется незначительная первичная урановая минерализация.

Золоторудные проявления провинции относятся к золото-сульфидной и золото-сульфидно-кварцевой формации. Интенсивная трещиноватость пород (пористость достигает 4,5-6% на фоне I,3-2,5% неизмененных пород) вызывает окисление сульфидов рудных тел и вмещающих пород с образованием сульфатсодержащих минералов: гипса, питтицита, ярозита, алунита, водных сульфатов, карбонатов, а также гидроокислов железа: гетита, гидрогётита, гематита и лепидокрокита.

Как показал фазовый анализ, уран в породах и рудных скоплениях находится в легкорастворимой (до 50-70%) форме и вследствии энергичной водной миграции в окислительной обстановке легко переносится и осаждается на сорбционном барьере, образующимся при окислении сульфидсодержащих золоторудных тел. Урановые слюдки локализуются главным образом в трещиноватых зонах, межпластовых пустотах и дробленых контактовых частях кварцевых жил и прожилков. Поэтому ореолы повышенной гаммаактивности, вызванные скоплениями урановых слюдок, обычно полностью совмещены с контуром развития золоторудной минерализации.

Следовательно, современное аридное выветривание, вызывая сорбционные концентрации урана в приповерхностной части золоторудных месторождений , является основной причиной сонахождения урана и золота.

О МИГРАЦИИ УРАНА И ТОРИЯ ПРИ ДИСЛОКАЦИОННОМ МЕТАМОРФИЗМЕ

Т.В.Билибина, А.Д.Дашкова, В.К.Ильгин, Д.И.Макарова,
В.К.Титов, Л.Я.Шмураева

Детальное геохимическое изучение особенностей поведения радиоактивных элементов в пределах долгоживущих зон региональных разломов Алданского, Украинского и Балтийского щитов свидетельствует о том, что в них происходит вынос, привнос и значительное локальное перераспределение этих элементов, обусловленные динамотермальным метаморфизмом прогрессивной и регрессивной стадий. По термодинамическим параметрам тектониты этих зон отвечают производным альмандин-амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма У.Файфа и др. (1962).

Процессы дислокационного метаморфизма, как правило, взаимосвязаны с ультраметаморфизмом. Тектониты альмандин-амфиболитовой фации развиваются параллельно с формированием гранитоидов и характеризуются высоким потенциалом щелочей (особенно калия). Проявление регрессивного дислокационного метаморфизма следует после завершения процессов гранитизации в условиях меньших глубин и снижения роли щелочей. Новая активизация щелочей происходит после завершения диафтореза и выражается в интенсивном проявлении щелочно-углекислого метасоматоза и концентрации урана.

На прогрессивной стадии образования милонитов бластомилонитов и катаклазитов вне зависимости от возраста их формирования, как и при региональном метаморфизме, происходит вынос урана и тория по мере усиления степени метаморфизма, достигающий для производных амфиболитовой фации 30-50% от исходного количества этих элементов во вмещающих породах. Ведущий механизм отторжения урана и тория связан с процессами бластеза.

При формировании диафторитов регрессивной стадии, наследующих структурный план строения древних зон, преобладают изохимические реакции замещения минеральных ассоциаций прогрессивной стадии на фоне устойчивого привноса воды, углекислоты и натрия, устанавливаемого по подсчетам баланса вещества и минеральным новообразованиям (хлорит, эпидот, кислый плагиоклаз, карбонат). Диафториты зеленосланцевой фации, как правило, незначительно обогащены радиоактивными элементами по сравнению с

тектонитами альмандин-амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. Более существенным здесь является появление миграционно-способных форм нахождения урана, которые впоследствии могут вовлекаться в рудный процесс гидротермальными растворами. Как показали микрорадиографические исследования, среди легкоподвижных соединений урана в диафторитах преобладают адсорбированные формы на поверхности кристаллов и зерен (главным образом в хлорите, эпидоте, микроклине и альбите) и микровключения урановых минералов, избирательно приуроченные к деффектам структур минералов и, по-видимому, уран в растворенном состоянии в жидких включениях и межзерновой жидкости.

Процессы дислокационного метаморфизма регрессивной стадии (диафтореза) рассматриваются нами как определяющие при подготовке пород к рудообразованию для широкого круга урановорудных формаций.

РОЛЬ ГРАНИТИЗАЦИИ, ДИАФТОРЕЗА И ДИСЛОКАЦИОННОГО МЕТАМОРФИЗМА В МОБИЛИЗАЦИИ И МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ КАРЕЛИИ

М.И.Бураков, А.С.Воинов, Ю.С.Полеховский

I. В течение ряда лет авторами изучалось поведение радиоактивных элементов при разновременных процессах гранитизации диафтореза и дислокационного метаморфизма на примерах докембрийских комплексов Северной, Западной и Южной Карелии. Работами различных исследователей (Н.Г.Судовиков, К.О.Кратц, С.Б.Лобач-Жученко, Ю.И.Лазарев и др.) установлено исключительно широкое развитие ультраметаморфических процессов (явлений гранитообразования), связанных с нижнепротерозойским этапом развития территории. Кроме того, как в региональном, так и в особенности в зонах долгоживущих разрывных нарушений проявлялся разновременный диафторез амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Поэтому указанные районы являются вполне представительными для решения поставленной задачи. Фактический материал, которым оперируют авторы, включает более 4000 определений урана и тория в частных пробах, выполненных в 1971-1973 гг. по единой методике и в одной лаборатории.

2. Процессы образования плагиогранитной и гранитной ультраметаморфических серий были изофациальны региональному мета-

морфизму амфиболитовой фации. Они сопровождались перекристаллизацией пород, частичным анатексисом и выборочной мобилизацией гранитоидного материала в толщах гнейсов и сланцев. В ходе указанных процессов, приведших к развитию обширных полей гранито-гнейсов, статистически значимых изменений концентраций урана не происходит. Вместе с тем устанавливается отчетливое возрастание содержания тория. Вследствие этого выделяются значительные площади, сложенные гранитоидами с ториевой специализацией и высоким отношением тория к урану (от 6 до II); содержание тория при этом соответствует кларку в гранитоидах. Только в перемещенных гранитах, обогащенных летучими компонентами и сформированных в условиях прогрессирующей консолидации территории, наблюдается увеличение содержания урана, с кларком концентрации равном 3.

3. В диафторитах, формирование которых происходило в условиях дислокационного метаморфизма, устанавливается изменение соотношений урана и тория. При неизменной кларковой концентрации тория отмечается увеличение или уменьшение содержания урана. Наиболее ощутимо это фиксируется в образованиях, слагающих зоны разрывных нарушений. В результате дифференцированного поведения урана и тория происходит формирование специализированных урановых и ториевых зон. Первые из них интерпретируются как зоны привноса урана, а вторые - как зоны его выноса. Необходимым условием образования зон урановой специализации является сочетание диафторических и низкотемпературных гидротермально-метасоматических процессов. Эта специализация заметно усиливается при благоприятным сочетании структурных и литологических факторов. Проявление высокотемпературного метасоматоза, который накладывается на ранее диафторированные образования, приводит к формированию метасоматитов с редкометально-ториевой минерализацией. Изучение форм нахождения радиоактивных элементов по трекам индуцированного деления показывает, что в диафторитах они большей частью приурочены к межзерновым пространствам, микротрещинам и находятся не только в цветных минералах, но и в кварце, и полевых шпатах.

4. Зоны дислокационного метаморфизма контролируют на ранних этапах своего развития наиболее интенсивные проявления гранитизации и распределение перемещенных гранитов. С поздними этапами их развития связано формирование полифациальных ди-

афторитов и метасоматитов. К ним же пространственно тяготеют участки с ярко выраженной радиогеохимической специализацией.

5. Сделанное обобщение материалов по указанным районам показывает: а) процессы ультраметаморфизма определяют преимущественно миграцию тория. Уран в этих процессах ведет себя "пассивно", без значимого изменения содержаний.б) Миграция урана в гранито-гнейсовых комплексах в значительной мере определялась процессами полифациального диафтореза. Совокупность явлений дислокационного метаморфизма и диафторических изменений в сочетании с другими факторами (литологический контроль, интенсивность метасоматических процессов и др.) обусловливает возникновение специализированных радиогеохимических зон.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПОВЕДЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ МЕТАМОРФИЗМА ПОРОД ГРАНУЛИТОВОЙ ФАЦИИ И УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА

А.Д.Ножкин

Радиогеохимическому исследованию подвергнуты породы канского метаморфического комплекса архея (Енисейский кряж), сформированные в условиях гранулитовой фации метаморфизма и ультраметаморфизма. Комплекс сложен гранатовыми гнейсами (плагиогнейсами) и подчиненными им гранат-гиперстеновыми гнейсами и гранулитами, чередующимися в ряде мест с пластовыми залежами пироксен-плагиоклазовых пород. Гнейсы часто имеют характер послойных мигматитов и содержат значительное количество прослоев и линз, представленных грубозернистым материалом того же минерального состава, что и вмещающие породы, но обогащенных кварцем и плагиоклазом. Значительно реже среди гнейсов встречаются гранатсодержащие кварц-ортоклазовые породы, слагающие неправильные по форме обособления, прожилки и иногда горизонты.

В нижней половине разреза комплекса относительно широко распространены чарнокиты, к которым отнесены массивные магматического облика гранитоидные породы с гиперстеном, ортоклазом-микропертитом и гранатом. Среди них выделяются автохтонные и аллохтонные породы. Автохтонные чарнокиты, по химическому составу отвечающие сиенито-диоритам и кварцевым диоритам,

развиты обычно в участках переслаивания гнейсов с пироксен-плагиоклазовыми породами и связаны с ними совершенно постепенными переходами. Изредка такого типа чарнокиты, но преимущественно гранитного состава, встречаются среди гранатовых и гранат-ортоклазовых гнейсов. Аллохтонные чарнокиты имеют граносиенитовый состав и распространены исключительно среди гнейсов и гранулитов, с которыми они имеют резко секущие контакты. В верхней части разреза комплекса, где гранатовые плагиогнейсы чередуются с двуполевошпатовыми гнейсами, чарнокиты сменяются гиперстен- или гранатсодержащими микроклиновыми гранитогнейсами и гранитами.

Радиохимические и гамма-спектрометрические данные по содержанию радиоактивных элементов (РЭ) в породах показывают, что в процессе прогрессивного метаморфизма гранулитовой фации сопровождающегося перекристаллизацией, обезвоживанием и декарбонатизацией пород, происходит резкое перераспределение всех РЭ и выносится значительная доля урана. Однако и такие интенсивно преобразованные породы, оказывается, унаследуют первичную металлоносность исходных пород. Это отчетливо видно по всем элементам, но особенно по торию и калию. Содержания РЭ уменьшаются от гранатовых гнейсов к гранулитам и пироксен-плагиоклазовым породам.

Процессы метаморфической дифференциации, сопровождающиеся селективным плавлением (мигматизацией) наиболее легкоплавких кварц-полевошпатовых смесей, обуславливают дальнейший выход урана и тория в геохимическую миграцию. Об этом свидетельствует факт значительного обеднения ураном и торием лейкократовых обособлений и обогащения их калием, причем уран и торий в них связаны с наиболее тугоплавкими акцессорными минералами.

В участках, где процессы метаморфической дифференциации и метасоматоза приводят к максимальному местному обогащению щелочами и усилению активности воды, выборочное плавление сменяется сплошным, в массе. Следовательно, проявляется в данном случае ультраметаморфизм, в результате чего и формируются чарнокиты. При этом растворяются все минералы, происходит полное "вскрытие" пород в отношении РЭ. Кристаллизация таких "корневых" ультраметаморфических расплавов сопровождается почти полным удалением урана и тория. Например, содержания урана, тория и калия в автохтонных чарнокитах соответственно равны: 0,2 г/т,

0,8 г/т и I 8 %; в аллохтонных чарнокитах урана и тория еще меньше, что объясняется, видимо, большей чистотой перемещенных магм в отношении материала субстрата.

На более высоких стратиграфических уровнях комплекса, где протекают в массовом масштабе процессы гранитизации (зона развития двуполевошпатовых гнейсов и гиперстеновых гранито-гнейсов) происходит заметная концентрация урана и тория, так как кристаллизация магмы осуществляется при температурах значительно более низких, чем максимальные температуры прогрессивного метаморфизма, и сопровождается она регрессивным метаморфизмом.

УРАН И ТОРИЙ В ПРОЦЕССАХ КОНТАКТОВОГО МЕТАМОРФИЗМА ГОРНЫХ ПОРОД

А.С.Митропольский, С.В.Мельгунов, Т.Г.Носова, З.В.Малясова

I. Геохимия урана и тория в процессах контактового метаморфизма изучена очень слабо. Условия его разнообразны и зависят от ряда причин. К ним, помимо ведущего значения температуры, относятся: состав подвергающихся метаморфизму пород и степень их первоначального изменения, тип проявления магматизма (автохтонный, интрузивный), глубина эрозионного среза и положение экзоконтакта относительно различных частей массива, количество и состав выделяющихся из магмы флюидов. Сочетание тех или иных условий контактового метаморфизма в каждом конкретном случае обуславливает свои особенности в поведении радиоактивных элементов. Нами изучены контактовые ореолы типичных гранитоидных массивов в южной части Алтае-Саянской складчатой области.

2. Для биотитовых и биотит-кордиеритовых роговиков вблизи контакта с глубоко эродированными гранитоидными массивами, прорывающими нижнепалеозойские геосинклинальные песчано-сланцевые толщи, характерно низкое содержание урана (0,8-I,0 г/т) и повышение (I,9-2,0 г/т) во внешних участках экзоконтакта. Коэффициент вариации содержания элемента изменяется от I3 до 30%. Подавляющее количество урана в роговиках фиксируется в новообразованных лейкоксене, рутиле и цирконе. Приведенные данные указывают на вынос урана из внутренних частей экзоконтакта в его внешнюю зону. Среднее содержание урана I,3-I,4 г/т во вмещающих гранитоиды неороговикованных толщах свидетель-

ствует об отсутствии наложенного воздействия магматогенных флюидов на роговики. Торий в рассмотренном примере ведет себя инертно - содержание его, несмотря на смену минералов-носителей (хлорита и серицита на биотит), в роговиках и за их пределами сохраняется на уровне 6,6-7,8 г/т, характерном для незатронутых ороговикованием пород.

Контактовые изменения в гнейсах над телами автохтонных гранитоидов проявляются в перекристаллизации и обогащении их некоторыми рассеянными элементами, в том числе и ураном. Содержание последнего в таких породах достигает I,9 г/т, превышая содержание его в исходных гнейсах (0,5 г/т); одновременно увеличивается неравномерность распределения элемента с 23 до 44%. Привнесенный уран концентрируется в новообразованных минералах - цирконе, ортите, рутиле и ильмените. Содержание тория в гнейсах, подвергшихся контактовому воздействию, не изменяется, составляя около 8 г/т; при этом сохраняется ведущее значение биотита, как основного минерала-носителя тория.

Контактовое воздействие интрузий калиевых гранитов на вмещающие гнейсы и кристаллические сланцы выражено в их полной перекристаллизации в узкой полосе (до 0,5 м) с развитием слюд, турмалина, апатита и сфена. Одновременно повышается и содержание урана в породах до 4,3-6,8 г/т, основное количество которого сосредоточено в биотите, цирконе и рутилизированном ильмените. Изменений в содержании тория в породах экзоконтакта не наблюдается.

Слабо эродированные купола гранитных массивов, прорывающие известковистые песчано-сланцевые толщи нижнего и верхнего девона, окружены широкими ореолами биотитовых и биотит-амфиболовых роговиков, в которых по сравнению с неметаморфизованными породами резко возрастает содержание урана (от 2,0 до 4,0-8,0 г/т) и неравномерность его распределения до γ = I4I%. Содержание тория остается на том же уровне II,0 г/т. При образовании роговиков сменяются главные минералы-носители и концентраторы урана. Если в исходных породах ими являлись глинистые минералы и карбонат, то в роговиках - новообразования рутила, лейкоксена и циркона.

3. Рассмотренные примеры показывают, что в процессах контактового метаморфизма четко намечается две тенденции в поведении урана. В одних случаях происходит перераспределение

урана с сохранением его общего количества в пределах зоны экзоконтакта, в других - устанавливается обогащение ураном роговиков за счет выноса его флюидами из магмы. Торий при этом, несмотря на смену минералов-носителей и концентраторов, ведет себя инертно. Обращает внимание ведущая роль окиси титана и новообразованного циркона, ассоциирующего с титанистым биотитом, как основных концентраторов урана в роговиках.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ УРАНА ПРИ МЕТАМОРФИЗМЕ ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

В.П.Ковалев, А.Г.Миронов, А.Д.Ножкин, З.В.Малясова

Особенности поведения урана при метаморфизме эффузивов выявляются путем сравнительного анализа направленности изменения содержания, форм нахождения и степени выщелачиваемости элемента в свежих и гидротермально измененных породах среднего палеозоя Южно-Минусинской впадины, а также в различной степени метаморфизованных вулканитов докембрия Енисейского кряжа.

Известно, что как в кайно-, так и палеотипных (в том числе в докембрийских) эффузивах подавляющая часть урана (75-90%) рассеяна в основной массе, а оставшаяся его доля приходится на фенокристы и различные акцессорные минералы.

Выщелачивание урана нагретым до кипения 5%-ным раствором углекислого аммония в присутствии окислителя - пергидроля показывает весьма низкое (I,5-4%) содержание подвижного урана в излившихся породах палеозоя. В вулканитах кряжа, сравнительно слабо измененных в условиях хлоритовой зоны зеленокаменного метаморфизма, количество подвижного урана увеличивается до 8-I0% в основных и до I0-I5% в кислых разностях. Слабую выщелачиваемость палеозойских эффузивов можно объяснить более равномерным распределением урана в плохо раскристаллизованной основной массе, а также образованием на поверхности частиц экранирующих гелевых пленок кремнезема, препятствующих диффузии урана (Ковалев, Малясова, I97I).

При метаморфизме рифейских базальтоидов, сопровождающимся образованием минеральных ассоциаций хлорит-альбит-серицит-карбонат-эпидот-лейкоксен обнаруживается устойчивое повышение содержания урана, а также комбинированного коэффициента рас-

пределения. Это отмечается в продуктах регионального и гидротермального метаморфизма. Повышение концентрации урана в них связано с развитием вторичных минералов - слоистых алюмосиликатов и гидроокислов титана, являющихся хорошими сорбентами этого элемента (Гавшин, 1972; Кулик и др., 1972). Основное количество урана (60%) здесь приходится на хлорит и серицит, а также на выделения лейкоксена и сфена (25%), причем с ростом валового его содержания в породе растет и концентрация в этих минералах. Сорбционное обогащение минералов происходит из обычных метаморфизующих растворов. Дальнейшее более высокотемпературное преобразование метабазитов с появлением биотита и магнетита сопровождается заметным снижением содержания урана и становится близким исходным породам.

Метаморфизм базальтоидов, протекающий с образованием минеральных ассоциаций эпидот-альбит-карбонат-актинолит, обычно не сопровождается изменением содержания урана в породе. Однако, плагиоклаз - роговообманковая ассоциация, формирующаяся по этим же метабазитам, но в зоне амфиболитовой фации, отличается весьма низким (0,3-0,4 г/т) его содержанием. Еще более низкие содержания элемента (менее 0,1 г/т) отмечены в пироксен-плагиоклазовых породах, залегающих среди гранулитов и гиперстеновых гнейсов. Вынос урана из фациальных зон (амфиболитовой и гранулитовой) обусловлен процессами декарбонатизации и обезвоживания ортопород.

Зеленосланцевый метаморфизм кислых эффузивов, сопровождающийся перекристаллизацией основной массы и развитием существенно серицит (мусковит) кварцевого лепидогранобластового агрегата, не приводит к заметному изменению содержания урана. Однако в таких порфироидах резко увеличивается (с 10-15 до 40-60%) доля подвижного урана, концентрирующегося преимущественно (50-80%) в белых слюдах, В условиях амфиболитовой фации порфироиды дифференцируются на кварцевые и слюдистые агрегаты и, в целом, отличаются пониженной урановостью. Подобные явления в микромасштабе обуславливают появление слабо радиоактивных слюдистых "кварцитов".

В процессе гидротермального метаморфизма эффузивов всегда устанавливается резкое перераспределение урана, хотя абсолютное его содержание может меняться в сторону уменьшения или увеличения в зависимости от типа изменений. При этом как в

палеозойских, так и в докембрийских породах постоянно возрастает доля легкоподвижного урана.

Следовательно, перекристаллизация основной массы вулканогенных пород при их метаморфизме приводит к возрастанию миграционно способного урана, что предопределяет возможность мобилизации его и переотложения в ходе последующих наложенных процессов. Кроме того, по относительному количеству подвижного урана можно судить о первичной или эпигенетической природе трудно диагностируемых вулканических продуктов.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ МЕТАМОРФИЗМА БАЗАЛЬТОИДОВ

А.Г.Миронов

Вопросы поведения U , Th , K в процессе метаморфизма базальтоидов рассмотрены на примере продуктов верхнерифейского вулканизма Енисейского кряжа и нижнекембрийского вулканизма юго-западного Забайкалья. В сравнении с относительно неизмененными разностями исследованы метабазиты фации зеленых сланцев зоны ультраметаморфизма, гидротермально метаморфизованные эффузивы основного состава и автометаморфически измененные диабазы дайковых комплексов.

Установлено, что при метаморфизме базальтоидов, сопровождающимся образованием минеральных ассоциаций хлорит-альбит-серицит (мусковит) - карбонат-эпидот-лейкоксен обнаруживается устойчивое повышение содержаний U и K, в меньшей мере Th . Это наблюдается в продуктах регионального метаморфизма, гидротермального метаморфизма и автометаморфизма, Аналогичная тенденция в поведении U отмечена и для современных базальтов Атлантического океана (Мэтьюз, 1973).

Повышение концентраций U и, вероятно, Th в таких породах связано с появлением и широким развитием в них вторичных минералов - слоистых алюмосиликатов и гидроокисных соединений титана, являющихся хорошими сорбентами U (Гавшин, 1972; Кулик, 1972). На примере U по данным нейтронно-осколочной радиографии рассмотрены особенности перераспределения этих элементов. Основное количество U (50-60%) приходится на хлорит и серицит-мусковитовый агрегат (2-3,5 г/т), а также на выделения лейкоксена и сфена (4,5-7 г/т; 20-30%), Минимальные со-

держания U установлены в альбите (0,5 г/т).

Наблюдения над порфировыми выделениями метаморфизованных пород показали, что количество U в них увеличивается в 3-10 раз по сравнению с неизмененными фенокристаллами авгита и лабрадора, особенно при интенсивной хлоритизации и серицитизации последних. Происходит выравнивание содержаний урана в порфировых выделениях и основной массе.

Сорбционное обогащение U и слоистых алюмосиликатов и тонкодисперсных агрегатов гидроокислов титана возможно даже из метаморфизующих растворов с низким "кларковым" содержанием в них этого элемента (Кулик и др., 1972) или несколько обогащенных U и Th в связи с выносом их из более высокотемпературных зон метаморфизма (Ермолаев, 1966, 1971; Мельгунов, 1970, 1972).

При метаморфизме базальтоидов, протекающем с образованием минеральных ассоциаций эпидот-альбит-актинолит (роговая обманка) не наблюдается заметного выноса или привноса радиоактивных элементов. Содержание их близко к таковому неизмененных пород (табл.). На γ-радиографии видно, что U равномерно распределен между минералами породы с некоторым обогащением зерен эпидота.

Таблица

Метабазиты	Уран, г/т		Торий, г/т		Калий, %	
	М	И	М	И	М	И
Ассоциации ал+хл+сер+кар+лейк						
региональный	2,6	1,4	9,4	4,0	1,4	0,8
гидротермальный	1,3	0,9	5,2	2,9	1,5	0,7
автометаморфизм	1,8	0,9	7,4	3,4	1,3	0,8
эп+ал+акт+маг	0,7	0,9	2,0	2,8	0,7	0,7
рог.об+ал+эп (ортоамфиболиты)	0,4		1,6		0,5	

М - метаморфизованные базальтоиды

И - исходные породы

В ортоамфиболитах количество U , Th , K заметно ниже, чем в метабазитах хлорит-альбит-серицитовой ассоциации и, возможно, ниже, чем в исходных породах. Об этом, в частности, может

свидетельствовать тот факт, что ортоамфиболиты различных комплексов и зон Енисейского кряжа по содержанию этих элементов слабо различаются между собой.

Учитывая многочисленные данные по распределению U , Th , K в кайнотипных и палеотипных базальтоидах, следует отметить, что зеленокаменно метаморфизованные породы (особенно спилит-диабазовой формации) являются более радиоактивными, чем молодые аналоги. Это, вероятно, свидетельствует в пользу того, что установленная закономерность имеет более общий характер.

ОПЫТ СРАВНИТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ (ПОВЕДЕНИЯ) УРАНА И ЗОЛОТА В УСЛОВИЯХ ЗЕЛЕНОСЛАНЦЕВОЙ ФАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА ПЕСЧАНО-СЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ ДОКЕМБРИЯ

Х.К.Каримов, Х.Н.Баймухамедов

В процессе изучения потенциально-золотоносных и редкометальных стратифицированных геохимических полей в пределах осадочно-метаморфических толщ верхнего протерозоя (венд) устанавливаются, с одной стороны, определенные закономерности, этапы и условия образования рудных концентраций основного компонента (золота) и с другой, поведение тех или иных его постоянных элементов - спутников: U, W, Mo, As, Ni, Co, Pb, Zn, Zr, Cr, Ti, V и т.д. в общей схеме эволюции геологического развития рудных районов и самого рудного процесса. Поскольку все известные до настоящего времени месторождения и рудопроявления золота, редких и других металлов в данной провинции строго контролируются определенными литологическими горизонтами верхнепротерозойских (венд) отложений, метаморфизованными на уровне филлитов, и не обнаруживаются какие-либо конкретные связи образования "рудных" концентраций с магматическими процессами, как представляется, что сравнительное изучение пространственного распределения (поведения) золота и урана в процессе регионального метаморфизма этих толщ представляет определенный интерес. Основные выводы изучения сводятся к следующему.

I. В изученных верхнепротерозойских осадках углеродисто-песчано-алевролито-сланцевого состава имеют место регионально выдержанные сингенетичные концентрации Au, U, W, Zr, Ti,

Mo, Cu и некоторых других элементов, повышенные на I-2 порядка по сравнению с литературными значениями для аналогичных пород из других регионов. Эти породы по существу являются основным источником рудного вещества, мобилизуемого при геологической эволюции региона.

2. Слабая дифференцированность элементов (в том числе и урана) внутри различных зон регионального метаморфизма. Так, если по данным более 650 лабораторных гамма-спектрометрических определений и I000 химических анализов на уран и около I5000 спектральных анализов (золото и др. элементы-спутники) содержание золота и урана в продуктах наиболее ранних этапов регионального метаморфизма (зона хлорита-мусковита по Б.Я.Хоревой), соответственно 0,008-0,0I5 г/т и $3{,}8.10^{-4}$-$1{,}8.10^{-3}$%, то в зонах биотита-мусковита золота - до 0,0I8 (редко 0,05) г/т и урана - до $2{,}4$-$2{,}8.10^{-3}$%, т.е. происходит некоторое увеличение элементов, особенно урана. Золото в это время очевидно слабее чем уран мигрирует, о чем свидетельствует низкое (менее 0,0I г/т) содержание его в широко развитых послойных (метаморфогенных) кварцевых образованиях, а уран обособляется вокруг таких жил и особенно вокруг зерен метаморфического пирита I, пирротина и скоплений углистого вещества (т.е. по существу происходит метаморфическое укрупнение как зерен породообразующих минералов, так и рудных частиц). В целом миграция Au и U при зелено-сланцевой фации регионального метаморфизма верхнепротерозойских отложений не существенна, а образование наиболее высоких концентраций обусловлено последующими тектоническими и гидротермально-метасоматическими (по природе тектоно-метаморфическими) процессами.

3. В породах зелено-сланцевой фации регионального метаморфизма все еще сохраняются устойчивые положительные корреляционные связи между главными рудными элементами (Au, W, Mo, V, Sn, Cr, Zr, Ti, Cu и др.) и ураном (r = 0,22-0,99). При этом для обломочных разностей пород (песчаники и алевро-сланцы) сохраняется четкая редкометальная минералогическая (своего рода шлиховая) ассоциация: золото, пирит, пирротин, циркон, рутил, шеелит и уранинит. Характерно, что размеры зерен всех отмеченных минералов колеблются в пределах 0,065-0,0I мм.

ПОВЕДЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЕРЭ) И ЗОЛОТА ПРИ КОНТАКТОВОМ МЕТАМОРФИЗМЕ (НА ПРИМЕРЕ КОШРАБАДСКОГО МАССИВА ГРАНОСИЕНИТОВ, ЗАП.УЗБЕКИСТАН)

Х.К.Каримов, Г.А.Жохов, И.М.Аббасов

Исследование поведения химических элементов в процессе метаморфизма представляет теоретический и практический интерес. В практическом отношении геохимические методы могут способствовать выявлению участков, перспективных на обнаружение полезных ископаемых. Особый интерес это представляет и для исследуемого района, так как к южному эндо- и экзоконтакту Кошрабадского интрузива приурочены месторождения и целый ряд рудопроявлений золота, фиксируемые также соответствующими значениями ЕРЭ. Купченко П.Д., (1954), Юдалевич В.А., (1963), Асетуллаев А.,(1970) разделяют массив на большое количество фаз. Породы главной интрузивной фазы - биотит-амфиболовые граносиениты, слагают около 80% площади Кошрабадского интрузива и вмещают все интрузивные породы других фаз. Южный контакт массива большей частью согласный и совпадает с простиранием осадочных толщ. Вмещающие породы на юге - песчано-сланцевые отложения нижнего силура регионально метаморфизованные на уровне филлитов. Влияние интрузива было локальным и сказалось в изменении состава и структуры регионально метаморфизованных пород в экзоконтактовом ореоле. В последнем выделяются три последовательные зоны: внутренняя зона (Ш) - зона контактовых роговиков, средняя зона (П) - зона узловатых сланцев, внешняя зона (I) - зона пятнистых сланцев.

Поведение химических элементов нами рассматривается в разрезе скважин, вскрывающих южный контакт интрузива с вмещающими породами. Шаг отбора проб 3-5 м. Пробы отбирались из пород без видимых следов гипергенных изменений и слабыми постмагматическими изменениями. Замеры содержаний ЕРЭ проводились на лабораторном гамма-спектрометре ИГиГ СО АН СССР. Содержания золота определялись спектрометрическим методом.

Анализ полученных результатов показывает, что среднефоновые содержания ЕРЭ - урана (по радию), тория и калия составляет в граносиенитах (зона У) 6.10^{-4}%, $11.1.10^{-4}$%, 3,5 %; в песчано-сланцевой толще (зона I - пятнистых сланцев) - $3,1.10^{-4}$%, $8,9.10^{-4}$%, 3,4%. В области эндо- и экзоконтакта - шириной 300-

400 м (зоны Ш-IУ) - происходит резкое уменьшение содержаний ЕРЭ, минимальными содержаниями ЕРЭ характеризуется зона контактовых роговиков (зона Ш). Полученные данные позволяют утверждать, что при контактовом метаморфизме происходит значительная миграция (вынос) ЕРЭ (I,2) и золота. Концентрации золота уменьшаются в области эндо- и экзоконтакта - зоны IУ, Ш относительно концентраций в исходных породах (зоны I, У) почти в шесть раз (таблица).

Зоны	№№ скв	К-во проб	Средние содержания по выборке				Th/U
			U п.10^{-4}	Th п.10^{-4}	К,%	Au усл.ед.	
У	6	2I	5,I	I2,2	3,5	78,0	2,40
	9	I7	6,7	II,8	3,6	72,0	I,76
	II	24	5,6	I2,2	3,9	69,0	2,I8
	I2	20	6,I	II,8	3,2	58,0	I,93
IУ	I3	I8	6,4	II,6	3,I	I5,0	I,80
Ш	I4	I6	3,4	6,0	I,4	2I,0	I,79
	I5	26	2,4	6,6	I,5	I5,0	2,75
П	I6	I7	2,8	9,8	2,4	63,0	3,50
I	I7	24	3,I	9,9	3,4	96,0	3,I9

Следовательно, можно достаточно обоснованно говорить об одинаковом характере и значительном перераспределении ЕРЭ и золота при контактовом метаморфизме и считать зоны Ш, IУ неблагоприятной средой для отложения рудной минерализации.

Представляется высокоэффективным использование гамма-спектрометрических исследований в практике геологических работ для картирования зон перераспределения элементов и выделения на этой основе участков, перспективных для рудоотложения.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ПРОЦЕССАХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ГНЕЙСОВ

А.С.Митропольский, С.В.Мельгунов, В.П.Раевский

В метаморфических зональных комплексах Горного Алтая, возникших в условиях эпидот-амфиболитовой фации, широко проявл-

лась гранитизация с образованием мигматитов и тел автохтонных гранитоидов. С завершающим этапом становления автохтонных гранитоидов в гнейсах экзоконтактовых ореолов получили развитие высокотемпературные метасоматические изменения, к которым относятся рассматриваемые гранат-силлиманитовые кварциты. Последние слагают несогласные крупные линзовидные и пластообразные тела, мощностью до первых сотен метров.

Метаморфогенные кварциты образовались в результате кислотного выщелачивания биотитовых гнейсов. Этот процесс предшествовал внедрению интрузии калиевых гранитов, прорывающих тела кварцитов.

По минеральному и химическому составу и условиям образования метаморфогенные кварциты близки грейзенам. Изменения гнейсов при превращении их в кварциты проявляются в исчезновении плагиоклаза, резком уменьшении количества слюд и увеличении содержания кварца. Слюды представлены новообразованными мусковитом и титансодержащим биотитом. В кварцитах обычно присутствуют силлиманит и гранат, содержание которых в наиболее окварцованных породах снижается. Соответственные изменения химического состава пород от биотитовых гнейсов к кварцитам выражаются следующими цифрами (от - до в весовых %): кремнезема 64-85, глинозема I4,5-5,5, суммы окислов железа 8-4,5, окисей магния и кальция 7-2,9, щелочей 5-I,5.

Существенные изменения в минеральном и химическом составе пород при кислотном выщелачивании вызывают интенсивную миграцию урана и в особенности тория. Содержание этих элементов от гнейсов к кварцитам падают от I,3 до 0,2 г/т урана и от 8 до 0,I г/т тория. Ранее нами было установлено, что основными минералами-носителями и концентраторами урана в гнейсах являются циркон, ортит и в меньшей мере рутил и ильменит, а тория - биотит и отчасти ставролит и апатит. Образование кварцитов сопровождалось разложением перечисленных минералов, при этом находящиеся в них радиоактивные элементы переходили в легкоподвижную форму и выносились за пределы зон кислотного выщелачивания. Обращает на себя внимание исключительная подвижность в этом процессе тория, обычно являющегося инертным при формировании кристаллических сланцев, гнейсов и роговиков.

Значительный интерес представляет также поведение в рассматриваемом процессе рассеянных элементов. Содержание цирко-

ния уменьшается (в процентах) от 0,006 до 0,001, титана от 0,8 до 0,1, хрома от 0,027 до 0,003, ванадия от 0,02 до 0,001, никеля от 0,017 до 0,001, бария от 0,025 до 0,01, иттрия от 0,0007 до 0. Исключение составляет примесь марганца (0,2-0,3%), входящего в состав новообразованного граната.

Установление интенсивной миграции радиоактивных элементов при кислотном выщелачивании указывает еще на один из важных источников рудного вещества, масштабы которого, учитывая широкое распространение метаморфогенных кварцитов, могут быть значительными.

НАКОПЛЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ГРЕЙЗЕНИЗИРОВАННЫХ ГРАНИТАХ И ГРЕЙЗЕНАХ КАК РЕЗУЛЬТАТ МОБИЛИЗАЦИИ ИХ ИЗ ГРАНИТОВ В ПРОЦЕССЕ ПОСЛЕМАГМАТИЧЕСКОГО МЕТАСОМАТОЗА

Э.И.Иванова, Н.Г.Сыромятников, Л.А.Трофимова

При гидротермальном послемагматическом изменении пород первичное распределение радиоэлементов обычно нарушается, оно становится более неравномерным, наблюдаются области локального привноса или выноса, с разделением или без существенного разделения урана и тория.

Нами изучено поведение радиоэлементов в процессе кислотного метасоматоза на нескольких массивах пермского комплекса, с которым в Казахстане генетически связано редкометальное (W , Mo) оруденение кварцево-грейзеновой формации.

Согласно исследованиям автометаморфической зональности в интрузиях этого комплекса, глубинные фации представлены микроклинизированными и альбитизированными гранитами (раннещелочная стадия метасоматоза), апикальная фация представлена грейзенизированными гранитами (кислотная стадия метасоматоза).

Наиболее детально рассмотрено распределение урана и тория в трех массивах, отличающихся по интенсивности послемагматической переработки: I-ый со сравнительно слабой степенью изменения, 2-ой и 3-ий со значительной степенью изменения. В табл. даны содержания урана и тория в неизмененных и в разной степени измененных гранитах этих массивов.

Альбитизация и калишпатизация (I-ый массив) приводит к уменьшению содержания урана в гранитах. Дефицит урана в данном случае составляет I,I г/м^3 породы. Содержание урана в грейзенизи-

рованных гранитах возрастает, причем в прямой зависимости от интенсивности кислотного метасоматоза (в I,3 раза для I-го массива, в 4,3 раза для 2-го, еще в большей степени для 3-го. В процессе грейзенизации в апикальные части интрузии привносится в расчете на I $м^3$ породы: на I-ом массиве 3 г, на 2-ом 32 г, на 3-ем больше 60 г. Приведенные данные позволяют предполагать, что на ранней стадии послемагматического метасоматоза (раннещелочная стадия) происходит мобилизация урана из большого объема породы и перенос его в верхние части интрузий, где он выпадает из растворов на стадии кислотного метасоматоза в меньшей по объему области грейзенизированных гранитов. Наиболее высокое содержание урана отмечается в грейзенах. По данным осколко-радиографии, по мере развития фаций грейзенов в них уменьшается количество урана в рассеянной форме и возрастает в форме собственных и урансодержащих минералов, в основном окаймляющих включения пирита и приуроченных к окислам железа.

Таблица

Породы	Число проб	U г/т		Th г/т		Th/U
		x	%	x	%	
I-ый массив						
Неизмененные граниты	38I	3,3	39	35	27	II,0
Грейзенизированные граниты	57	4,4	4I	34	26	7,4
Грейзены	I7	4,7	45	28	32	6,0
Альбитиз. и калишпат.граниты	28	2,9	59	45	I6	I6,0
2-ой массив						
Наименее измененные граниты	I4	3,5	43	35	37	I0,0
Грейзенизированные граниты	4	I5,2	36	32	38	2,I
3-ий массив						
Граниты (грейзенизир.в массе)	I97	I0	46	46	47	4,6
Грейзенизированные граниты	24	25	44	40	33	I,6
Кварц-мусковитовые грейзены	22	I6	56	39	35	2,4
Кварц-топазовые грейзены	I9	23	49	35	39	I,5
Кварцевые грейзены	30	44	59	33	42	0,75

Поведение тория в процессе метасоматического изменения гранитов отличается от поведения урана. В калишпатизированных и альбитизированных гранитах (I-ый массив) содержание тория выше, чем в неизмененных. В грейзенизированных гранитах и грейзенах наблюдается тенденция к уменьшению концентрации тория. Вынесенный на стадии кислотного метасоматоза торий откладывается в стадию позднещелочного метасоматоза. Масштаб выноса - отложения тория уступает масштабу перераспределения урана.

Таким образом, в метасоматическом процессе образования грейзенизированных гранитов и грейзенов происходит обогащение ураном и некоторое обеднение торием вновь образованных пород, что обусловлено переменной валентностью урана и различием в кислотно-основных свойствах U (IУ) и Th .

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ПРОЦЕССАХ ОБРАЗОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Г.М.Беляев, В.М.Терентьев

I. В ряде районов Восточной Сибири среди докембрийских образований установлено зональное размещение регионально проявленных метасоматических пород, металлогеническую специализацию которых среди прочих элементов определяют уран и торий. Отдельные члены региональных метасоматических колонок отвечают уровню формации или субформации, а колонка в целом - формационно-генетическому ряду.

2. Различаются метасоматические колонки комплементарного и некомплементарного типа. В первом случае метасоматические образования (в ранге формации или субформации) отдельных зон колонки комплементарны по отношению друг к другу. Зональность такого типа образуется в связи с процессами ультраметаморфизма и представляет собой (пример) последовательную смену по вертикали (снизу вверх) формации магнезиально-железо-кальциевых метасоматитов (I/ зона диопсидовых пород с магнетитом или шпинелью, 2/ зона диопсид-скаполит-кварцевых пород) формацией кварц-плагиоклаз-ортоклазовых метасоматитов (3/ зона метасоматических диопсидовых амфиболитов и слюдитов, 4/ зона кварц-полевошпатовых метасоматитов, 5/ зона метасоматических куммингтонитовых амфиболитов, 6/ зона гроссулярсодержащих кварц-по-

левошпатовых метасоматитов).

3. Формирование колонок комплементарного типа происходило в поле низких градиентов давления и температуры, но при широких вариациях (волнового характера) щелочности растворов. Активность U как более сильного, чем Th основания при повышении щелочности растворов возрастало быстрее, на что указывает увеличение Th/U отношения от зоны к зоне в рядах /5/---/3/---/2/---/1/, /4/---/6/. /3/---/4/, /5/---/6/. Волновой характер изменения щелочности минералообразующих растворов предопределил не только петрохимические различия между метасоматитами зон /4/, /6/ и /1-3/, /5/, но также более высокие валовые содержания радиоактивных элементов в кремне-щелочных метасоматитах, тесную геохимическую связь U и Th с TR в зонах /4/, /6/ и с V, Ti, Cu в зонах /1-3/, /5/ и различную роль летучих элементов-комплексообразователей - F, Cl (зоны 4 и 6), P, S, CO_2 (зоны 1-3,5).

4. Метасоматические колонки некомплементарного типа характеризуются последовательной сменой метасоматитов какого-либо одного петрохимического профиля - магнезиально-железо-кальциевого или кремне-щелочного. Колонки такого типа наблюдаются в областях тектоно-магматической активизации. Для некомплементарных кремне-щелочных метасоматитов по относительной роли K и Na устанавливаются компенсированные и некомпенсированные колонки. Некомпенсированные колонки имеют вид: кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты --- кварц-альбитовые метасоматиты --- Na-гумбеиты. То-есть высокая активность щелочного металла, в данном примере Na, сохраняется в широком интервале термодинамических условий метасоматического породообразования. Чаще же наблюдаются компенсированные колонки: I. Микроклиниты --- Na-гумбеиты --- гидрослюдисто-карбонатные метасоматиты или березиты; II. Щелочные Na-метасоматиты (фениты)--- K-гумбеиты --- пренит-анальцим-цеолитовые метасоматиты. Возрастание активности щелочей происходит в первом случае в последовательности K- Na-K, во втором - Na -K- Na.

5. Формирование некомплементарных колонок происходило в поле крутых градиентов давления и температуры при относительно нешироких вариациях щелочности растворов на общем фоне ее понижения. В высокотемпературную стадию Th активнее U и геохимически тесно связан с K и TR. Уран более характерен для

редкометальных Na -метасоматитов . Среди летучих элементов в эту стадию главную роль играли B, P, F. С понижением температуры и щелочности растворов активность Th резко падает и в минерагенезе средне- и низкотемпературных стадий этот элемент ведет себя индифферентно. Активность урана достигает максимума в низкотемпературную стадию, когда он вступает в тесную геохимическую связь с K и Au , а главную роль среди летучих играют CO_2 и S. При образовании колонок некомпенсированного типа отложение из растворов урана и тория в силу отсутствия резких градиентов термодинамических параметров происходит в ограниченных масштабах, а Th/U отношение понижается плавно. В компенсированных колонках различия в поведении K и Na существенно влияют на поведение урана и тория: эти элементы достигают максимума активности в разные стадии минерагенеза, избирательно концентрируются в определенных типах метасоматитов, Th/U отношение меняется в широких пределах.

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРОЦЕССАХ ЩЕЛОЧНОГО МЕТАСОМАТОЗА (НА ПРИМЕРЕ МЕТАСОМАТИТОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)

А.С.Сергеев, А.С.Воинов, Н.Н.Еляков

По геологическим и геохронологическим данным выделены 3 формационных группы щелочных метасоматитов:

а) нижнепротерозойская (2200 млн.лет) - метасоматиты граносиенитового и сиенитового состава с гастингситом и эгирин-диопсидом - в зонах разломов южного обрамления мурманского антиклинория;

б) среднепротерозойская (1800 млн.лет) - кварцево-альбито-микроклиновые метасоматиты с гастингситом, рибекитом и эгирином, образующие переходы к щелочным гранитам - преимущественно в разломах, обрамляющих кейвский синклинорий. К этой же группе относятся метасоматиты сиенитового и нефелинсиенитового состава, иногда сопряженные с щелочногабброидными массивами;

в) палеозойская (500-300 млн.лет) - типичные метасоматиты фенитовых серий, альбитовые, альбито-карбонатные и др. - в зонах разломов, контролирующих палеозойские щелочно-ультраосновные, нефелинсиенитовые массивы и в контактовых ореолах этих массивов.

Рассматриваемые метасоматиты образуют фациальный ряд от наиболее глубинной щелочногранитной серии к сиенитовым, нефелинсиенитовым и фенитовым сериям. Метасоматиты менее глубинных фаций контрастнее локализованы в разрывных структурах. Процессы замещения протекали в широком температурном диапазоне, завершаясь иногда палингенезом. От головных к типовым частям метасоматических колонок возрастала активность щелочей (с "опережающей волной" Na). Формирование тыловых зон метасоматитов фаций малой глубинности отвечало максимальной активности Na и K, ведущими агентами метасоматоза являлись щелочно-алюминатные растворы. Во внешних зонах колонок реакции замещения протекали с участием щелочно-силикатных и щелочно-карбонатных растворов.

U и Th обнаруживают значительную подвижность в процессах щелочного метасоматоза, что проявляется в существенных вариациях валовых содержаний этих элементов, доли легкоподвижного U и Th отношения в различных зонах метасоматических колонок. Из субстрата метасоматитов на стадии щелочно-карбонатного и щелочно-силикатного замещения выносилось до 25-30% U . Доля легкоподвижного U возрастает в 2 раза и более в головных зонах, где закономерно уменьшается Th/U . В тыловых зонах доля легкоподвижного U и уменьшается, но при интенсивном Al-Na метасоматозе (нефелинизация) может происходить привнос U и Th . Глубинные фации щелочных метасоматитов характеризуются более интенсивной миграцией Th , для менее глубинных фаций миграция Th существенна лишь при развитии карбонатного метасоматоза. При прогрессирующем разрастании фронта метасоматического замещения, в головных частях метасоматических колонок возникали комплементарные зоны привноса и осаждения радиоактивных элементов. Особенности формирования таких зон во многом определяются структурными факторами и составом боковых пород.

АССОЦИАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ РАЗНОВАЛЕНТНОГО УРАНА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ДОКЕМБРИЯ

И.Г.Минеева, Э.В.Паст

I. Рассмотрены две группы щелочных метасоматитов-альбититов, сопровождающихся уран-ториевой и урановой минерализаци-

ой. Метасоматиты обоих типов развиты в толще метаморфических и ультраметаморфических пород, приурочены к зонам крупных тектонических нарушений, по возрасту достаточно близки между собой и отвечают среднему - верхнему протерозою.

2. Процесс формирования метасоматитов многостадиен. Ранняя, собственно альбитовая стадия, в обоих случаях начинается с микроклинизации вмещающих пород и завершается образованием зональных альбититов. Поздние стадии проявлены различно: в ториеносных альбититах они представлены кварц-апатитовой, карбонатно-апатитовой, слюдисто-кварцевой; в урановосных - эпидот-хлоритовой, хлорит-гематит-карбонатной, кварцевой.

3. Статистически изучено распределение урана и сопутствующих элементов в выделенных типах метасоматитов. Установлены две парагенетические ассоциации элементов, связанные между собой и ураном высокой положительной корреляционной связью.

Первая парагенетическая ассоциация проявлена на ранней альбитовой стадии формирования метасоматитов, включает высоковалентные литофильные и сидерофильные катионы Th, Zr, TR_{Ce}, Ti, V , из анионов в ассоциацию входит фосфор, очень редко фтор. Ассоциация прослеживается как в ториеносных, так и в урановосных альбититах, в последних, как правило, нарушается корреляционная связь урана с торием и фосфором.

Вторая ассоциация элементов прослеживается только в урановосных типах альбититов, включает халькофильные катионы As, Bi, Ag, Au, Co, Ni и анионы угольной кислоты, проявлена на поздних (хлорит-гематит-карбонатной) стадиях метасоматического процесса.

4. Первая парагенетическая ассоциация является характерной для четырехвалентного урана, определяется кристаллохимическим фактором, поскольку включает изоморфные элементы, близкие по размеру радиусов ионов, связанных общностью кристаллохимических решеток, близостью поляризационных свойств. Появление ассоциации зависит в значительной мере от катионного, в основном, натриевого состава метасоматических растворов, что объясняется склонностью этих элементов к комплексообразованию в щелочной среде, при насыщении растворов натрием в присутствии анионов фосфорной, фтористой, угольной кислот.

5. Вторая парагенетическая ассоциация элементов является характерной для шестивалентного урана, определяется физико-

химическими факторами, регулирующими совместный перенос и осаждение урана с сопутствующими элементами. Совместная миграция зависит от температуры, кислотности-щелочности и окислительного потенциала растворов. Появление ассоциации обусловлено анионным составом растворов.

По мере накопления в метасоматических растворах углекислоты, при снижении температуры, создаются благоприятные условия для переноса урана в шестивалентной форме. При этом прежде всего происходит разделение урана с торием, что отражается на характере корреляционных связей.

6. Урановосность метасоматитов зависит от анионной составляющей растворов, появляющихся на поздних стадиях метасоматического процесса. Необходимым условием для концентрации урана в альбититах является достаточная концентрация углекислоты, что роднит их с обычными гидротермальными месторождениями урана.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И НЕКОТОРЫХ ЕГО СПУТНИКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОКОЛОРУДНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА

П.А.Раудонис, В.Л.Сидельникова

I. На основании обработки результатов опробования с применением ЭВМ выяснено поведение радиоактивных элементов, главным образом, урана при формировании околорудных метасоматитов на месторождениях золота, в которых золоторудная минерализация нередко пространственно совмещена с урановорудной.

2. Процессы, сформировавшие золото- и урановорудную минерализацию, при всей несхожести, в ряде случаев имеют общие черты, выражающиеся в образовании однотипных метасоматитов-березитов. Ореолы березитизации сложены минеральными парагенезисами из кварца, серицита, хлорита, карбоната и подчиненного количества пирита. Центральные зоны имеют кварц-серицитовый состав. Золоторудные березиты указанного состава, в случаях развития их по терригенным породам, часто содержат значительное количество углеродистого вещества типа шунгита.

3. При образовании урановой минерализации с процессами околорудного изменения отмечается заметное накопление радиоактивных элементов, а при золоторудной - вынос их. При этом вынесенное количество радиоактивных элементов не соответствует интенсивности проявления метасоматоза. Во всяком случае концен-

трация урана во внутренних зонах чаще всего более высокая чем во внешних.

4. В участках накопления углеродистого вещества обычно отмечается повышенная концентрация молибдена (до двух порядков выше геохимического фона), элемента, характерного для проявлений урановорудной минерализации.

5. Корреляционные связи между ураном и другими элементами в отдельных зонах березитов существенно различные. Во внешней зоне сохраняется большинство связей, характерных для исходных пород. Здесь отмечается хорошая корреляция ($r > 0,4$) урана с Be, P, Rb и Sr . Появляются и некоторые новые связи: значимая положительная с Sb и значимая отрицательная с Na , элементом который подвержен интенсивному выносу при березитизации пород. В березитах внутренних зон первичные корреляционные связи урана практически совершенно не сохраняются (за исключением связи с фосфором). Здесь проявляется хорошая положительная корреляция урана с характерными элементами руд - Zn, Pb и Cu . Вместе с тем с целой группой литофильных элементов - Na, Ti, Cr и Sr , подверженных выносу, уран обнаруживает и отрицательную корреляцию.

Необходимо отметить, что для золоторудных березитов совершенно не проявлена зависимость содержаний U и Mo, что имеет место в рудах урана.

6. Значительная часть урана в золоторудных березитах фиксируется в составе минералов титана и фосфора-лейкоксене и апатите. На связь урана с апатитом указывает и высокое значение коэффициента корреляции U-P . Более высокое содержание урана в березитах внутренних зон в значительной степени обусловлено наличием здесь повышенного количества апатита.

7. Различное поведение радиоактивных элементов при формировании околорудных метасоматитов обусловлено физико-химическими условиями, в частности различной активностью в растворах сульфидной серы.

Золоторудная березитизация происходила при относительно высокой активности серы, на что указывает широкое развитие пирита. Характерно, что при наложении изменений, связанных с отложением руд урана, на золотосодержащие колчеданные руды, происходит разложение сульфидов и вынос серы, золота, железа и других элементов.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ВМЕЩАЮЩИХ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД НА ХАРАКТЕР УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Н.Г.Круглова, Н.А.Перец

I. К настоящему времени в различных районах обнаружена урановая минерализация, приуроченная к континентальным вулкано-плутоническим поясам. Урановые минералы локализуются в породах кислого состава (риолитах, липаритах, фельзитах и их порфировых разностях) и, в меньшей стерени, щелочного состава (трахилипаритовых порфирах, эпилейцитовых порфирах, псевдолейцитовых порфирах, фонолитах).

2. Структурно-геологическое положение и генезис урановой минерализации, приуроченной к вулканитам различного состава сходны.

3. Урановая минерализация ассоциирует с различным комплексом сопутствующих минералов в зависимости от состава вмещающих пород. Для щелочных пород характерна ассоциация минералов урана и циркония, для кислых - ассоциация минералов урана с минералами молибдена. Если урановая минерализация залегает и в щелочных и в кислых вулканогенных породах, в ее состав входят минералы урана, циркония и молибдена.

4. Характер минеральных ассоциаций, развитых в породах кислого или щелочного ряда, одинаков для различных геологических провинций и не зависит от возраста вмещающих пород.

5. Геохимические особенности минеральных ассоциаций, приуроченных к вулканитам различного состава, различны. Типоморфными элементами спутниками урановой минерализации в кислых породах являются свинец, мышьяк, молибден, таллий, сурьма, в щелочных - цирконий, гафний, бериллий, титан и др.

6. Урановые ассоциации разного состава образовались в результате однородных эндогенных процессов гидротермального генезиса. Для них характерны многостадийность минералообразования, относительно низкие температуры отложения минералов, приуроченность урановой минерализации к зонам интенсивно измененных гидротермальными процессами пород. Формирование минерализации происходило в приповерхностных условиях.

НАКОПЛЕНИЕ РАДИЯ В ТРАВЕРТИНАХ

Ю.М.Пузанков

В травертинах и охристых отложениях Нальчевских, Краеведческих и Апанельских горячих источников (Камчатка) обнаружено накопление радия до $3{,}4.10^{-11}$ - $8{,}6.10^{-10}$ г/г. Радий концентрируется в форме радиобарита или сорбируется (?) железо-марганцевыми окислами. Его скопления приурочены во всех случаях к участкам выхода вод на поверхность и обусловлены, по-видимому, дегазацией минеральных растворов. Естественно думать, что в недрах гидротермальных систем, в зонах вскипания перегретых вод происходит подобное же формирование эманирующих коллекторов. Последние, в свою очередь, являются источником радона в термальных водах и спонтанном газе.

ИЗУЧЕНИЕ МОБИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОСКОЛКОВОЙ РАДИОГРАФИИ

О.П.Елисеева, Б.И.Омельяненко

Изучение распределения урана в магматических породах, в различной степени затронутых автометасоматическими, гидротермально-метасоматическими и гипергенными преобразованиями, проведенное с помощью метода осколковой радиографии показало следующее;

I. Любой даже слабо проявленный процесс, связанный с воздействием водных растворов на горные породы, неизбежно приводит к перераспределению урана между минералами. При этом общее содержание урана в породе может возрастать, уменьшаться или оставаться на прежнем уровне.

2. По способности концентрировать уран среди вторичных минералов могут быть выделены три группы: а) минералы, характеризующиеся высокой способностью концентрировать уран (минералы концентраторы), к ним относятся окислы и гидроокислы титана, железа, хлорит, сульфиды железа; б) характеризующиеся умеренной способностью к концентрации урана, к ним относятся серицит, эпидот, глинистые минералы; в)не накапливающие уран, к ним относятся кварц, карбонаты, полевой шпат.

3. По мере возрастания в породе количества минералов-концентраторов в них сосредотачивается все большая доля урана, за-

ключенного в горных породах. Этот уран может быть частично извлеченным из растворов, а также частично или целиком накоплен за счет перераспределения урана в минералах или замещения их другими минеральными видами.

4. В условиях застойного характера растворов перераспределение урана между различными минералами осуществляется путем диффузии. Повышенное содержание урана в минералах концентраторах вблизи акцессорных минералов позволяет утверждать, что уран заимствуется из акцессорных минералов.

5. В условиях инфильтрации растворов возникают две противоположно направленных тенденции: а) к извлечению урана из растворов минералами-концентраторами и б) к выносу его из пород растворами. Привнос или вынос урана из пород растворами зависит от характера и количества минералов концентраторов, от содержания урана в исходных растворах и от физико-химических особенностей последних.

6. При воздействии на породу растворов, способных выщелачивать уран (например содовых), в первую очередь будет выщелачиваться уран, заключенный во вторичных минералах-концентраторах, в межзерновых швах и в метамиктных акцессорных минералах (циртолит, малакон, оранжит, ураноторит и т.д.). Выщелачивание урана из слабоизмененных акцессорных минералов лимитируется их малыми размерами, слабой проницаемостью и растворимостью.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА ПОРОД НАЛОЖЕННЫХ СТРУКТУР ДЕВОНА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Л.П.Рихванов, В.К.Черепнин

Миграция урана и тория в процессе средне-низкотемпературного гидротермального метаморфизма происходит на фоне эволюционирующего раствора по составу от хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатного с низким отношением калия к натрию в пропилитах до сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатного с высоким отношением калия к натрию в кварц-полевошпат-гидрослюдистых метасоматитах и сульфатно-гидрокарбонатного с низким отношением калия к натрию в околорудных метасоматитах. Температуры их образования колеблются от 400-300° в пропилитах до 350-200°

в кварц-полевошпат-гидрослюдистых метасоматитах и 200-100° в околорудно-измененных породах. Режим кислотности-щелочности растворов изменяется от слабощелочного до кислого.

В продуктах гидротермальной переработки наблюдается увеличение содержания урана от менее измененных пород к более измененным. При этом кларк концентрации урана в пропилитах равен 2,4-3,9, в кварц-полевошпат-гидрослюдистых метасоматитах-I,4-5,5, в околорудно-измененных породах - 2,4-I3,6. Максимальные кларки концентрации урана отмечаются в метасоматитах, развитых по основным и кислым эффузивам. Торий также имеет тенденцию к накоплению (за исключением отдельных зон метасоматических колонок). Величина торий-уранового отношения уменьшается от неизмененных пород к измененным, и только в случае развития кварц-полевошпат-гидрослюдистых метасоматитов по известнякам она возрастает.

Одинаковую с ураном миграционную способность при формировании дорудных метасоматитов обнаруживает кремний. В продуктах околорудного метасоматизма уран геохимически тесно связан с калием, натрием, магнием (в случае развития их по породам кислого состава) и с калием, магнием, кремнием (при мафическом составе эдукта). Торий ведет себя одинаково с калием, натрием и, реже, кремнием. Одновременно с концентрацией радиоактивных элементов в продуктах гидротермального метаморфизма устанавливается накопление молибдена, свинца, цинка, меди, бериллия, циркония, висмута, мышьяка, серебра. Однако распределение указанных элементов зависит от состава исходных пород и химизма процесса.

В процессе гидротермального метаморфизма пород происходит миграция изотопов свинца. Отношения радиогенных изотопов к первозданному возрастает от неизмененных пород к измененным. Максимум этих отношений наблюдается в околорудных метасоматитах.

Максимальные концентрации урана в минералах гидротермально-измененных пород отмечается в пирите (0,25-I00 г/т), хлорите (0,25-26,5 г/т), дикките (0,I5-24,5 г/т), кальците (0,I5-26,8 г/т, доломите (0,I5-3,8 г/т), анкерите (0,I5-2,48 г/т), флюорите (0,7-I00 г/т), кварце (0,I5-2,3 г/т), альбите (0,I5-I,8 г/т), эпидоте (0,I5-2,7 г/т).

При гидротермальной переработке пород происходит увеличение процента легко выщелачиваемого урана (от 8-18%, в неизмененных породах, до 24-65% в измененных разностях). В процессе метасоматических преобразований происходит изменение форм нахождения урана, Вместо форм молекулярного рассеяния и изоморфного вхождения в минералы неизмененных пород основная масса урана в их измененных разностях находится в виде субмикроскопических выделений собственных минералов и в состоянии сорбции на глинистых минералах, хлорите, гидроокислах железа.

Перенос урана в метаморфизующих растворах мог осуществляться в уранил-карбонатной, уранил-сульфатной и уранил-силикатной формах. Преобладание той или иной формы зависело от физико-химического состояния гидротермальной системы. Уранил-силикатная форма переноса, возможно, преобладала при формировании кварц-полевошпат-гидрослюдистых метасоматитов по известнякам.

О ПРОЯВЛЕНИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА И СВЯЗАННОЙ С НИМ УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ АКТИВИЗИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ ПАЛЕОЗОЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ф.И.Ковальский, К.В.Суетнова, В.А.Архангельский
В.В.Прошаков

I. Урановая минерализация приурочена к кальцитизированным, доломитизированным, в меньшей мере окварцованным, кавернозным известнякам, доломитам и осветленным пестроцветным песчано-глинистым породам верхнекаменноугольного и перми-триасового возраста.

2. Уран и его минералы установлены в окисленных битумах разной консистенции, битуминозных "черных" кальцитах, различных модификациях сульфидов железа, хеггит-керитовых агрегатах. Отмечается прямая зависимость содержания урана от степени окисленности битуминозного вещества.

3. В пределах зон оруденения установлена полиметаллическая минерализация (галенит, сфалерит, халькопирит, никелин), твердые битумы, флюорит, а в ряде случаев водные алюмосиликаты, повышенное содержание тория, молибдена, мышьяка, ртути, хрома, серебра и других элементов.

4. Характер рудной минерализации и приуроченность ее к тек-

тонически активным зонам указывает на возможность проявления процессов, связанных с деятельностью углекислых гидротермальных растворов, в которых наиболее вероятной формой миграции урана являлись уранил-карбонатные комплексы.

5. Приуроченность зон оруденения к обводненным комплексам пород объясняется видимо тем, что минералообразование урана происходило в условиях смешения урановосных глубинных растворов с пластовыми инфильтрационно-седиментационными сульфатными водами.

6. Рудоотложению способствовало резкое снижение окислительно-восстановительного потенциала вследствие окисления битумного вещества сульфат-ионами водоносных комплексов, что находится в определенной зависимости от степени засульфаченности вмещающих пород. Характерным является локализация урановой минерализации преимущественно в породах с повышенным содержанием гипсов и ангидритов.

7. На основании комплекса признаков сделан вывод о возможности развития гидротермальной уран-сульфидно-битумной минерализации в пределах активизированных областей палеозойской платформы.

УРАН, ТОРИЙ И КАЛИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.Б.Ронов. О.П.Соборнов, А.А.Мигдисов

Изучен обширный и систематизированный в пробах каменный материал, представляющий важнейшие типы пород крупных стратиграфических комплексов фанерозоя и докембрия Русской платформы. Получены достоверные оценки концентраций урана, тория и калия методом низкофоновой сцинтилляционной γ-спектрометрии, причем абсолютные значения концентраций соответствуют калибровке γ-спектрометра по международным геохимическим стандартам.

Рассмотрены закономерности изменения концентраций U, Th и K в ходе геологического времени. Даны уточненные кларки этих элементов для всего осадочного чехла Русской платформы, подсчитанные с учетом объемной распространенности отложений различного литологического состава и возраста. Произведено сопоставление средних содержаний радиоактивных элементов в осадках Русской и Северо-Американской платформ.

ОБ УСЛОВИЯХ МОБИЛИЗАЦИИ УРАНА ПРИ СОВРЕМЕННОМ ГИПЕРГЕННОМ РУДООБРАЗОВАНИИ

А.В.Коченов, С.Д.Расулова

I. Вынос урана из горных пород в гумидных условиях наиболее

интенсивно осуществляется на стадии дезинтеграции и формирования щебенистой коры выветривания. Задолго до образования профиля глинистой коры выветривания из зоны гипергенеза выщелачивается в среднем около 50% от исходного содержания урана.

2. Для мобилизации урана из материнских пород метеорными кислородсодержащими водами благоприятным условием является относительное превышение массива над базисом эрозии. В связи с этим проявляется роль неотектонического и геоморфологического факторов в выщелачивании урана из пород.

3. В областях, испытавших недавнее поднятие, с омоложенным рельефом, наблюдаются (при прочих равных условиях) более высокие фоновые содержания урана в поверхностных водах относительно пенепленизированных территорий, перекрытых площадными корами выветривания.

4. Возрастание концентрации урана в водах областей питания в свою очередь служит одной из предпосылок для образования экзогенных аммумуляций урана в области разгрузки подземных вод. Аномалии урана в современных озерно-болотных отложениях в равнинных и горных областях располагаются, как правило, в обрамлении поднятий, что подчеркивает роль неотектонического контроля оруденения.

ГИПЕРГЕННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В ДРЕВНИХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ГУМИДНОГО ЛИТОГЕНЕЗА

А.И.Пак

Вопросы, затрагиваемые в докладе, рассматриваются на геологических материалах урановосных кор выветривания углисто-кремнистой формации докембрия. На породах формации широко проявлена нижнемеловая кора выветривания гумидного литогенеза. Морфологически она представлена площадным, межпластовым и линейно-трещинным типами. По составу различают коры выветривания кремнистых, алюмосиликатных и карбонатных пород. Их профили характеризуются своеобразным зональным строением и по вещественному составу резко отличаются друг от друга.

Из всех петрографических разностей пород, вне зон коры выветривания лишь углисто-кремнистые сланцы характеризуются повышенным по сравнению с кларком содержанием урана. Локальные концентрации урана пространственно приурочены к межпластовым и линейным корам выветривания только углисто-кремнистых сланцев на границе с корами выветривания алюмосиликатных и кар-

бонатных пород. По мере выклинивания кор на глубину содержание урана уменьшается до фонового значения в зоне неизмененных пород.

Зоны урановой минерализации отсутствуют в площадных корах выветривания всех петрографических разностей пород, а также в межпластовых и линейных корах выветривания алюмосиликатных и карбонатных пород.

Зональное развитие рудной минерализации в изученных нами корах выветривания обусловлено спецификой палеогидрогеохимических процессов в профиле коры выветривания ландшафтов переменно-влажного климата. Граница сопряжения кор выветривания углисто-кремнистых сланцев, с одной стороны, алюмосиликатных пород, известняков и доломитов, с другой, являлась зоной стыка и дренирования корообразующих растворов, зоной смешения кислых и щелочных вод. Все это создавало геохимические контрасты и приводило к выпадению урана. Источником рудного материала являлся уран, заключенный в углисто-кремнистых сланцах.

Гипергенные концентрации урана можно ожидать в линейных и межпластовых корах выветривания переменно-влажного тропического и субтропического климатов всех геологических возрастов. Поиски рудных накоплений выше описанного типа можно осуществлять по выходам кор выветривания и связанным с ними радиоактивным аномалиям в пределах аридных зон. В современных гумидных ландшафтах поиски рудных проявлений сопряжены с определенными трудностями в связи с тем, что породы верхних горизонтов кор выветривания гумидного литогенеза обеднены ураном, а зоны урановой минерализации, связанные с линейным межпластовым морфологическими типами, не имеют выхода на дневную поверхность. Поэтому, площади развития древних и новейших кор выветривания переменно-влажного климата при наличии благоприятных геологических формаций представляют несомненный интерес на обнаружение рудных накоплений, не имеющих выхода на дневную поверхность.

ЛАТЕРАЛЬНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА В КРАСНОЦВЕТНОЙ ТОЛЩЕ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВОГО РАДИОГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

В.А.Бобров, В.М.Гавшин, А.В.Колбасин, В.И.Разилов

I. Современные масштабы бурения скважин предоставляют в рас-

поряжение исследователя огромное количество керна. Однако обычная последовательность операций: бурение – отбор проб – дробление – анализ – дополнительное опробование и снова дробление – затягивает полный цикл исследования на I-2 года.

2. Для того, чтобы ускорить процесс исследования, собрана полевая установка для экспрессного гамма-спектрометрического анализа керна на основе многоканального анализатора, больших сцинтилляционных кристаллов с колодцами и мощной защитой из свинца. Установка позволяет ежедневно анализировать от 30 до 50 штук I0-сантиметровых отрезков керна на U(по Ra), Th и K. Пороги чувствительности: U (по Ra) – 0,5 $\times 10^{-4}$%, Th – 0,6$\times 10^{-4}$%, K – 0,03%. Весь проанализированный керн, после отбора осколков на шлифы, возвращается на керносклад.

3. Экспрессный полевой анализ керна позволяет ежедневно наращивать статистическую обработку цифрового материала и наносить результаты на геологическую карту. Масштаб картирования определяется количеством скважин. В итоге исследования на контуры геологических тел накладываются изолинии содержаний U (по Ra), Th и K, причем карта изоконцентраций принимает окончательный вид к концу полевых работ.

4. В результате радиогеохимического картирования девонской континентальной красноцветной толщи, выполняющей межгорную впадину, установлена латеральная неоднородность распределения урана. В разрезе красноцветов перемежаются песчаники, алевролиты, алевропелиты, неоднородные по фациальной характеристике. Красноцветные слои образуют синклинальную складку широтной ориентации. Для исследования выбран стометровый стратиграфический интервал красноцветов, строго контролировавшийся по маркирующему горизонту. Из выбранного интервала проанализировано около 800 проб песчаников, алевролитов, алевропелитов.

5. Сратистической обработкой результатов анализа установлено, что по содержаниям тория и калия алевропелиты четко отличаются от песчаников и алевролитов, причем в той и другой группе пород оба компонента распределены равномерно, как в разрезе, так и в плане. По концентрации урана не обнаруживается значительных различий между отдельными пластами, фациальными и литологическими разновидностями пород. Распределение урана контролируется тектонической структурой: в центриклинальной области среднее его содержание как в песчаниках, так и в алевро-

пелитах примерно в 2 раза выше, чем на крыльях складки. От центриклинального замыкания ореол повышенных содержаний урана, не считаясь с литологическими и фациальными контурами, постепенно затухая, прослеживается к востоку по оси синклинальной складки.

Элементы складки	Кол-во проб	Средние содержания р/а элементов		
		U (по Ra)г/т	Th , г/т	K,%
Центриклиналь	216	2,8	4,8	I,6
Осевая часть	206	I,8	4,2	I,4
Северное крыло	265	I,5	4,4	I,6
Южное крыло	I0I	I,4	5,I	I,8

6. В настоящее время неясно, можно ли считать, что уран вынесен из пород южного крыла и переотложен в центриклинальной области. Торий-урановое отношение для красноцветов южного крыла близко к среднему значению для литосферы. Породы центриклинального замыкания характеризуются существенно пониженным торий-урановым отношением (2-2,5) и это может указывать на значительный привнос урана в период, когда складчатая структура в общих чертах уже наметилась.

7. Найденные неоднородности распределения урана в красноцветах позволяют говорить о мощных процессах постдиагенетического (и может быть синтектонического) перераспределения урана, которые в благоприятных условиях могут стать рудообразующими. Вместе с тем, полученные данные заставляют осторожнее относиться к попыткам определения "местных кларков": результаты, полученные при опробовании скважин, расположенных в 3-5 км одна от другой, могут различаться в 2-3 раза.

ГЕОХИМИЯ УРАНА И ЕГО ИЗОТОПОВ В МАЙКОПСКИХ ГЛИНАХ СЕВЕРНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

В.А.Филонов

Одной из характерных черт геохимии урана и его изотопов в осадочных процессах (седиментогенезе и диагенезе) является его геохимическая связь с органическим веществом (ОВ), которое играет существенную роль в миграции многих химических элементов, в том числе и урана. Обычно рассматривалась связь урана с гумусовым веществом, либо с С орг. (суммарно), включающим, как из-

вестно, большой комплекс компонентов рассеянного органического вещества–(РОВ).

Условия миграции урана и его изотопов в процессе седиментогенеза рассмотрены в трудах отечественных и зарубежных ученых. Всеми отводится существенная роль ОВ в миграции урана. Значительно меньше данных, касающихся поведения урана и его изотопов в процессе диагенеза осадков.

Нами было изучено влияние компонентов РОВ: С орг., хлороформенного битумоида ХБ(А), спирто-бензольного битумоида (А) и (С) – ДСББ (А) и ДСББ (С), а также нерастворимой части ОВ – НОВ, на миграцию урана и его изотопов в толще майкопских глин Северного Предкавказья, диагенетически измененных.

В разрезе осадочного покрова Северного Предкавказья глины майкопских отложений заметно отличаются от глинистых отложений других стратиграфических комплексов как по литолого-минералогическому составу, так и по повышенному содержанию РОВ.

При рассмотрении геохимической связи урана с компонентами ОВ удалось установить геохимическую связь урана лишь с С орг, ДСББ (А) и НОВ (коэффициенты корреляции соответственно равны 0,82, 0,80, 0,76).

Генетическая связь урана с ДСББ (А) обусловлена структурными особенностями органических веществ, входящих в этот битумоид (асфальтены, порфирины и др.), которые являются наиболее высокомолекулярными ОВ. По элементарному составу они близки к нефтяным смолам и содержат до 80 % С орг.

Асфальтены и порфирины можно рассматривать как полициклическую систему с короткими алифатическими цепями в качестве заместителей. Благодаря наличию в них карбоксильных и гидроксильных групп уран может образовывать с ними прочные уранпорфириновые комплексы и, следовательно, теряет миграционную способность.

Структурную схему соединений можно представить в виде комплекса, состоящего из центрального атома или иона (обычно металла), окруженного радикалами органических молекул, являющимися донорами электронов. Подобные геохимические связи возможны, по-видимому, для урана и с НОВ, так как последний является продуктом преобразования различных органических кислот, с которыми уран может образовывать химические соединения.

Отсутствие корреляционной связи урана с ХБ (А) обусловлено

низким содержанием в данной фракции высокомолекулярных соединений. Также не обнаружено прямой корреляционной зависимости и с ДСББ (С), что связано с присутствием в этой фракции более нейтрального ХБ (С).

Изотопные отношения U^{234}/U^{238} (J) представляют собой неравновесные величины и изменяются от 0,80 до 0,98. Учитывая, что в морской воде J превышает равновесное значение, то дефицит U^{234} в глинах следует отнести за счет преимущественной миграции дочернего изотопа (U^{234}) в результате энергии отдачи после фиксации урана компонентами органического вещества.

О ВОЗМОЖНОМ ГЕНЕТИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА И МОЛИБДЕНА В МОЛОДЫХ САПРОПЕЛИТОВЫХ СЛАНЦАХ ПЛАТФОРМЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Е.А.Светозарский

Исследовались пиро- битумные горючие сланцы в пределах северо-восточного борта крупной нефтегазоносной впадины юга СССР. Пласт сланцев мощностью до I,5 м залегает в основании мергелисто-глинистых осадков нижнего эоцена и через базальтный алевролито-песчанистый горизонт переменной мощности подстилается сульфатно-карбонатными отложениями палеоцена. Глубина залегания сланцев от 0 до 700 м, изученная площадь распространения в плане 37 тыс.кв.км.

Карбонатно-глинистая минеральная основа сланцев равномерно насыщена сапропелевым веществом, средние показатели состава (по А.Лузановскому, I969): нерастворимый в HCI остаток - 63,8%, органическое вещество - I5,3%, углерод органический - II,I%, гуминовые кислоты - 0,0034%, выход смол - I2,28%.

Химанализом керновых проб в сланцах найдены содержания урана, молибдена и ванадия (соответственно до 0,03%, 0,I2% и 0,49%), сопоставимые или превышающие максимальные значения в подобных отложениях палеозойского и докембрийского возраста, широко распространенных в различных районах земного шара.

Между содержаниями урана и молибдена установлена прямая линейная зависимость с коэффициентом корреляции $0,653 \pm 0,07$. Низкие количества калия (до I,8%) и тория (0,00п%) в сланцах позволяют связывать основную долю радиации с ураном, а пря-

мая зависимость между ураном и молибденом дает возможность с помощью качественного гамма-каротажа проследить изменение относительных количеств указанных элементов в плане.

Сопоставление построенной детальной пластовой карты изогамм со структурно-тектонической и палеогеографической картами выявило отсутствие фациального контроля в распределении полей максимальной металлоносности и тектоническую приуроченность последних к сводовым частям крупных нефтегазоносных структур П-го порядка.

С традиционной позиции сингенетического накопления рудных элементов в подобных образованиях, следует предположить влияние нижележащих нефтегазоносных отложений мела и юры как основного источника восстановительной среды, обусловившего создание над сводовыми частями поднятий контрастного геохимического барьера с осаждением здесь максимальных количеств металла по сравнению с остальными частями изученной территории.

ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ УРАНА И ТОРИЯ В ПОРОДАХ ТЕРРИГЕННО-ПЕПЛОВОЙ ФОРМАЦИИ

Ю.В.Ильинский, В.А.Буев, Л.Н.Шаткова

Терригенно-пепловые (терригенно-туфогенные) образования разного возраста широко распространены во многих регионах. Геолого-геохимическое изучение их проводилось нами на примере нижнекаменноугольной терригенно-пепловой формации межгорных впадин Алтае-Саянской складчатой области.

Для формации в целом характерно постоянное присутствие в породах (в количестве от 10 до 90%) продуктов вулканических извержений, поступавших через атмосферу в бассейны осадконакопления, и повышенные содержания урана, тория, а также циркония, бериллия, стронция, ниобия и других элементов при высокой дисперсии их распределения.

Интенсивная радиогеохимическая дифференцированность формации обусловлена сочетанием многих факторов:

1. Наличием нескольких источников радиоактивных элементов. Имеющиеся данные свидетельствуют о поступлении урана и тория в бассейн не только с терригенной и пепловой составляющими, но и с фумарольно-сольфатарными и гидротермальными источниками (по зонам разломов).

2. Взаимодействием различных процессов миграции: механической (водной и воздушной), физико-химической, биогенной и др.

3. Присутствием в составе формации многочисленных концентраторов урана и тория: растительный и рыбный детрит, фосфатное и кремнистое вещество, глинисто-железистые агрегаты и пр.

Особенно большую роль в миграции радиоактивных и других элементов играл пепловый материал.

Установлены следующие процессы миграции, связанные с пеплом:

I. Первичное обогащение части пеплов радиоактивными элементами в магматическую стадию.

2. Вынос и перераспределение урана и тория при девитрификации пеплового материала и других вторичных изменениях пирокластических пород: окремнении, альбитизации, хлоритизации, цеолитизации, ожелезнении и др. Часть этих изменений обусловлена химическим составом и высокой температурой самих пеплов, а часть возникла при взаимодействии пирокластического материала с водной средой бассейнов.

3. Избирательная сорбция урана вторичными продуктами изменения пеплового материала (гелями кремнекислоты и др.).

Таким образом, пирокластический материал, с одной стороны, являлся одним из источников урана и тория в породах формации, с другой - способствовал интенсивному перераспределению этих элементов, образуя многочисленные кислые, щелочные, адсорбционные, термодинамические и другие геохимические барьеры.

В то же время распределение вулканокластики в большей степени зависит от фациальных условий осадконакопления (вынос пеплов быстрыми водотоками и накопление их в прибрежно-морских и лагунно-озерных фациях).

УРАН И ТОРИЙ В ПРОЦЕССЕ ГИПЕРГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГРАНИТОИДОВ КОЛЫВАНСКОГО МАССИВА

В.П.Раевский, Л.В.Жданова

Колыванский гранитный массив Томь-Колыванской складчатой зоны представлен нормальными среднезернистыми биотитовыми гранитами. Массив слабо эродирован, характерно наличие ксенолитов кровли и развитие грейзенизации. Неизмененные граниты состо-

ят из примерно равных количеств кварца, калишпата и плагиоклаза (30-35%) и биотита (3-5%). Акцессории представлены преимущественно цирконом. Гипергенные процессы выразились в формировании каолиновой коры выветривания, развитой до глубин 20-25 м от поверхности.

Опробованию подвергался керн буровых скважин. Для определения среднего содержания урана в породах массива были составлены две выборки проб - из типичных среднезернистых биотитовых гранитов и дайковых лейкократовых мелкозернистых гранитов. Использовались пробы с глубин более 100 м без следов постмагматических и гипергенных изменений. Среднее содержание урана в биотитовых гранитах - 22.10^{-4}%, в лейкократовых гранитах - 15.10^{-4}%.

Для выяснения поведения урана и тория в процессах гипергенного изменения пород массива были изучены их содержания по вертикальному профилю от поверхности до глубины 275 м с помощью метода групповых проб. Результаты отражены в таблице 1.

Таблица 1

№№ групповых проб	Кол-во рядовых проб	Интервал глубин	Содержание элементов		Отношение Th/U	Степень гипергенного изменения
			U	Th		
1	6	5-25	10	37	3,7	интенсивная
2	8	26-45	20,6	38	1,85	слабая
3	6	90-120	22,5	34	1,5	отсутствует
4	8	135-160	21,1	34	1,3	-"-
5	6	185-210	21,3	36	1,6	-"-
6	7	245-275	23,1	37	1,6	-"-

Примечание: содержание элементов - среднее из 3-х определений.

Для двух групповых проб, характеризующих наиболее измененные (1) и наименее измененные (6) гипергенными процессами породы, произведено выделение мономинеральных фракций и определение содержания в них урана. Результаты приведены в таблице 2.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

граниты Колыванского массива характеризуются высоким средним содержанием урана 22.10^{-4}% при среднем содержании тория - 35.10^{-4}% и низким торий-урановым отношением 1,55.

В гранитах, не затронутых гипергенными процессами, сущест-

Таблица 2

№№ проб	№№ фракций	Состав	Содержание U n.10^{-4}%	%% содерж. фракций	Вклад U в %%	Итого
I	I-кв.	кварц	2,0	35	8,8	в породообразующих 31%, в акцессорных- 69%
	I-пш	п.шпат	2,0	60	I2,0	
	I-б	биотит	20,0	5	I0,0	
6	2-кв	кварц	2,0	25	2,7	в породообразующих - I6,5, в акцессорных - 83%.
	6-пш	п.шпат	3,5	70	9,5	
	6-б	биотит	2I,0	5	4,3	

венную роль в балансе урана играют акцессории, на долю которых приходится 80-85% урана, тогда как на долю породообразующих минералов приходится лишь I5-20%.

В гипергенных условиях из гранитов выносится значительная доля урана (до 50%), иттрия и циркония. При этом уменьшается относительная доля урана, заключенного в акцессориях, что объясняется, видимо, относительно более интенсивным разрушением акцессориев по сравнению с породообразующими минералами. Содержание тория неизменно по всему профилю.

Гранитные массивы, в которых значительная доля урана (более 50%) заключена в акцессориях, в определенных условиях могут служить источником урана для более поздних растворов.

УСЛОВИЯ ВЫНОСА УРАНА ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ ИЗ ПОРОД ОСНОВАНИЯ В ЧЕХОЛ ПРИ СЛАБО- И СИЛЬНОРАСЧЛЕНЕННОМ РЕЛЬЕФЕ

Ю.М.Гуртовенко

I. Вынос урана из складчатого основания в пологозалегающий чехол связан с циркуляцией кислородсодержащих подземных вод. Условия циркуляции различны в слаборасчлененных и горных районах. В случаях, когда окисление опережает эрозию, образуются зоны глубинного окисления (ЗГО).

2 В слаборасчлененных районах ЗГО возникают в небольших артезианских бассейнах. В больших артезианских бассейнах эрозия опережает окисление из-за медленной фильтрации вод.

3. Напор создается возвышающимися в рельефе выступами основания среди отложений чехла. Кислородсодержащие подземные

воды движутся от выступов по изверженным и метаморфизованным породам основания, а затем по разломам поступают снизу в чехол, через проницаемые породы которого разгружаются.

4. Сначала окисляются породы основания, затем - проницаемые горизонты чехла. Кислородсодержащие воды выносят из пород оснований, особенно из гранитов, уран и переносят его в чехол, где он может осаждаться на восстановительном барьере.

5. В горных районах намного интенсивнее эрозия, но выше и напоры подземных вод. В определенных условиях здесь также возникают ЗГО и происходит активный водообмен между чехлом и основанием, с выносом из последнего урана.

6. Региональный подземный сток горной страны весьма затруднен вследствие высокого гидравлического сопротивления артезианской системы (из-за больших линейных размеров ее и слабой проницаемости пород основания на больших глубинах). Ввиду замедленности по сравнению с эрозией, региональный сток не формирует ЗГО, но с ним связано образование минеральных восстановительных вод, часто углекислых и термальных.

7. Важное влияние на динамику подземных вод оказывают ущелья, расчленяющие горную страну на блоки с местным дренажом. Падение грунтового уровня на сотни метров на небольших расстояниях от местных водоразделов до ущелий создает в блоках резкий градиент напоров, что является условием возникновения активной циркуляции подземных вод - не только горизонтальной, но и нисходяще-восходящей. Последняя может вызвать образование ЗГО на сотни метров вниз, особенно при замедленной эрозии, например, при столообразном рельефе блоков.

8. По геолого-гидродинамическим условиям выделены блоки с раскрытым, нераскрытым и полураскрытым основанием, т.е. обнаженные, прикрытые водоупорным или проницаемым чехлом. Для инфильтрационного накопления в чехле урана, вынесенного из основания, благоприятны полураскрытые блоки (ПБ).

9. Градиент напоров подземных вод вызывает в ПБ активный водообмен между чехлом и основанием с выносом вверх урана. Аналогией может служить динамика подземных вод вблизи высоконапорного водохранилища. Вокруг него над разломами возникают восходящие источники, часто соленые, что говорит о подъеме глубинных вод. Падение напоров в стороны от водохранилища обуславливает нисходяще-восходящую циркуляцию подземных вод

по системам, гидравлически связанных пересекающихся нарушений, в том числе ниже местного базиса эрозии. При гидростроительстве артезианскую циркуляцию снижают цементацией разломов.

IO. ЗГО образуются сначала в чехле ПБ, затем они проникают в основание. На склонах ПБ восходящие по разломам воды выносят в чехол выщелоченные из пород основания щелочные и щелочно-земельные компоненты, уран и др. На стадии неглубокого проникновения окисления выносятся нерудные компоненты и происходит карбонатизация пород чехла. Уран выносится позже, на стадии окисления пород основания.

II. В ПБ района отложения чехла, особенно над гранитами с повышенным фоном радиоэлементов, обогащены ураном и карбонатизированы. Вблизи разломов рудная минерализация проникает вверх в отложения чехла на десятки метров.

I2. Рудные тела в чехле расположены возле выклинивания зон интенсивной или частичной лимонитизации пород. Отложению урана способствует обогащение пород углистым веществом и сульфидами. В рудах преобладают черни урана и сульфиды железа.

I3. Критериями локализации инфильтрационных урановых руд в чехле горных районов являются ПБ с гранитным основанием, угленосный чехол, разломы и опущенные ступени на склонах ПБ, участки выклинивания зон окисления. В раскрытых блоках перспективны опущенные участки с останцами угленосного чехла.

УСЛОВИЯ МОБИЛИЗАЦИИ УРАНА ПРИ СИНГЕНЕТИЧЕСКИ-ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОМ РУДООБРАЗОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ U-Au МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ

В.Г.Гарьковец, С.Т.Бадалов, Х.К.Каримов

Изучение геохимии и последовательности процессов U-Au минерализации в осадочно-метаморфических отложениях Pt_3^V, характеризующихся изначально повышенными концентрациями урана и золота, позволило проследить главные этапы и условия вовлечения рассеянных в породах элементов в "рудообразующий" процесс. В этом отношении пример урана в микрофациях показателен и для многих его спутников Au, W, V, Mo, Cu и т.д.

I. Ощутимым началом вовлечения рассеянного урана в "рудообразующий" процесс является наиболее ранний этап (зеленосланцевая фация) регионального метаморфизма. Однако миграция

его в это время носит исключительно местный характер - в пределах того же пласта, прослойка или даже минерального зерна, т.е. наблюдаются лишь редкие, обособленные новообразования настурановых почек (по существу местное укрупнение) на фоне тонкорассеянных кристаллов уранинита. Процесс сопровождался выносом SiO_2, H_2O, CO_2 и других летучих компонентов. Миграция Au еще несущественная; об этом свидетельствует весьма слабая золотоносность согласных жил и прожилков кварца-I (метаморфогенного) и сохранение тесной корреляции между Au и U (r = 0,72-0,99).

2. Повторная и более интенсивная миграция урана, но также в пределах пласта происходит в связи с локальными повышениями степени метаморфизма и сопровождается новообразованиями типа биотитизации, амфиболитизации, окварцевания и карбонатизации. Для данного этапа характерно, главным образом, отложение настурана на поверхности новообразованного биотита, актинолита, вокруг скоплений углистого вещества и пирита П. В это время золото еще свободно мигрирует, о чем свидетельствует слабая золотоносность метасоматитов (0,2-I,0 редко до 3,5 г/т) и сульфидов (сл.-0,5 г/т). Морфология урановых новообразований вкрапленно-точечная и гнездовая, (r = 0,55)

3. Наиболее интенсивные перемещения урана и золота связаны с процессами основного рудного (эпигенетического, по природе метаморфогенного) этапа, приводившего к образованию наиболее интересных скоплений этих компонентов и кварцево-жильных образований: секущие мономинеральные уранинит-настурановые прожилки и гнезда, секущие стержневые золотосодержащие кварцевые, кварц-сульфидные и сульфидные жилы, штокверковые зоны (альпийского типа). Морфология новообразований четко контролируется различными сочетаниями элементов наложенной разрывной тектоники (r =0,20-0,40). Миграция компонентов существенная - на I0-I00 и более метров за пределы пласта и горизонтов.

4. Наиболее благоприятными условиями для активизации и миграции U и Au являются t^0 ниже 300^0 сочетания литологических, тектонических и др. факторов, что вполне согласуется с фактическим материалом, свидетельствующим о связи оруденения с метаморфизмом, а не с процессами магматизма.

О ФОРМАХ КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В ПОРОДАХ УГЛЕНОСНОЙ ФОРМАЦИИ

В.И.Данчев

I.В месторождениях урана, связанных с угленосными формациями, рудные концентрации приурочены, главным образом, к гумусовому органическому веществу углей или к углефицированному растительному детритусу и коллоидно-дисперсной органике, присутствующим в отдельных пачках существенно обломочных пород, формировавшихся в благоприятной фациальной обстановке.

2. Результаты дробного фракционирования по плотности углистой массы урановосных углей и урановосного углефицированного детритуса, а также данные их микрозондирования позволяют с большей степенью достоверности считать, что формы концентрации урана (и сопутствующих ему элементов - Ge, Be, Mo, V и др.) существенно различны на разных стадиях литогенеза и последующего преобразования рудовмещающих пород.

3. Выявленное с помощью электронного микрозондирования равномерное размещение урана, наряду с преимущественной ассоциацией его с легкими фракциями углистой массы, видимо, следует воспринимать как показатель тесной связи элемента с органическими компонентами породы с образованием ураноорганических комплексов, формирование которых происходило в раннедиагенетическую стадию.

Неравномерное распределение урана в углях, ассоциация его со сростками и конкреционными стяжениями пирита, сульфидов и других металлов являются показателями частичного высвобождения элемента из сорбционных и связанных с органикой соединений и, следовательно, указывают на его позднедиагенетическую или эпигенетическую миграцию.

4. С увеличением степени метаморфизма урановосных углей наблюдается изменение содержаний урана в различных по плотности фракциях углистой массы, т.е. обогащение этим элементом все более тяжелых фракций. Такие соотношения позволяют предполагать возрастание роли собственных минералов урана за счет происходящего при метаморфизме разложения его сорбционных форм и ураноорганических комплексов.

УСЛОВИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В КРАСНОЦВЕТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Е.В.Зубов, Е.А.Жукова

При изучении концентраций урана в терригенных красноцветных осадках установлен процесс перераспределения урана при ведущей роли стадии диагенеза с последующими эпигенетическими преобразованиями осадочных пород.

Зоны перераспределения урана, имеют линзовидную, пластообразную форму и приурочены к зеленоцветным алевролитам. Последние залегают между серыми и перекрывающими их красноцветными алевропесчаниками.

Образование подобных концентраций урана происходило в два этапа. Первый этап связан с процессами сингенеза, когда накопление первично-осадочных концентраций урана происходило одновременно с седиментацией осадочных толщ. Отложение урана в терригенном материале приурочивается к участкам с максимальной литолого-фациальной изменчивостью в областях застойных или слабо подвижных вод. Второй этап характеризуется привносом, осаждением и перераспределением урана внутри зеленоцветных горизонтов в период диагенетических преобразований осадочных толщ с последующим процессом эпигенеза.

Эпигенетические изменения выразились процессами хлоритизации, анальцимизации в сочетании с альбитизацией, гематитизацией и незначительным окремнением. Кроме того, породы, содержащие повышенные концентрации урана, рассечены прожилками простого(битумного и анальцим-битумного) и сложного (анальцим-баритбитум-кальцитового) составов.

Основная масса урана поступала по водоносным горизонтам в растворах (насыщенных H_2S, CO_2 и др.). в виде уранил-карбонатных комплексов. Движение растворов было, вероятнее всего, направлено по слоистости или простиранию горных пород в области пониженных движений.

Уран осаждался на "комплексном" восстановительном глеево-сульфидном геохимическом барьере, где происходило разрушение уранил-карбонатного комплекса и восстановление урана до четырехвалентного состояния.

Одним из решающих и благоприятных факторов "садки" урана явилось снижение концентрации углекислоты в растворе, что в

свою очередь привело к увеличению активности серы и образованию эпигенетических сульфидов, в первую очередь, пирита. Об этом свидетельствуют и аналитические данные.

Источником восстановительной среды, с одной стороны, могло явиться органическое вещество в виде растительного детрита в красноцветах, а с другой - источником могли быть углеводородные газы, связанные с битумами. Последние обнаруживаются при микроскопических исследованиях.

Результаты изотопных анализов свинца также свидетельствуют о наложенном процессе образования концентраций урана.

ФАКТОРЫ КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В Mz-Kz ОТЛОЖЕНИЯХ

Ю.В.Ваньшин. В.В.Гудошников

Четкая связь Mz-Kz отложений с корами выветривания, из материала которых они образовались, различные расстояния переноса вещества от источников сноса до водоемов седиментации континентального и морского типов, изменение климата во времени, делают исследованный район благоприятной моделью для установления факторов, контролирующих распределение U в осадках.

Средние содержания U в γ/г по 870 пробам приведены в таблице.

По гранулометрическому спектру максимальные концентрации U характерны для глин.

Содержание U в каолиновых и монтмориллонитовых глинах определяется не их составом, а главным образом гидрохимическими условиями водоемов седиментации, обуславливающих форму нахождения U в воде (катионная или анионная). Вследствие этого, монтмориллонитовые глины аридных зон (N_2, K_1нс) содержат меньше, чем каолиновые - гумидных (J_{I-2}, и т.д.).

Степень карбонатности глин одного генетического типа, как в континентальных условиях седиментации (N_2, K_1нс), так и морских (K_2м-F_I), сопровождается ростом содержаний в них U.

Уровень концентрации U в породах на источниках сноса является определяющим только для отложений. При этом роль климата и состав глинистых минералов, отодвигаются на второй план. Это отражается в двухвершинном характере кривой распределения и уровнем концентрации в T_3 глинах гумидной зоны и N_1 -

семиаридной.

Таблица

I	II	III	IУ	У	УI	УII
А	N_2	К	2	глина (м)	3,2/8	0,32/3
				глина (м) с $CaCO_3$	300/4	–
С	N_I			глина (м)	4,2/34	0,3/7
			4	глина (к+г)	2,7/40	0,66/5
				глина (к+г)	5,7/8	–
	P_3^3		2	глина (к)	3,4/34	0,54/24
				глина (к) с Fe	4,I/I0	0,56/I
			3	песок	I,8/4	–
	P_I	М	I	глина (м)	2,7/4	0,22/4
				песчаник	2,5/6	0,36/6
				опока	2,4/6	0,48/6
Г	$K_2м$			глина (м+г) с $CaCO_3$	4,2/I2	0,3I/II
				алеврит	2,5/3	–
	K_IaI	К	2	глина (к)	4,0/2	0,32/3
				алеврит	2,5/6	0,22/6
				песчаник	2,3/5	0,47/5
				боксит	9,8/II	0,3/4
А	$K_Iпс$			глина (м)	2,2/I5	0,26/5
				глина (м) с Ca, $MgCO_3$	25,9/I	0,06/I
			5	гравеллит	4,3/2	0,2/2
Г	J_{I-2}		2	глина (к)	4,I/I39	2,2/73
				глина (к) с Fe	9,6/3	2,27/3
				алеврит	2,7/33	I,55/20
				алеврит с Fe	6,9/2	I,93/3
				песчаник	2,5/3	0,53/4
				песчаник с С орг.	II,7/2	I,07/I
	T_3		2	глина (к)	4,3/I8	0,72/II
				глина (к) с Fe	I7,3/I	0,53/3
				алеврит	2,5/5	0,64/2
				алеврит с Fe	9,3/3	0,39/2
				боксит	I0,7/73	–
			5	глина (к)	7,9/6 I,0/II	– I,I/5

Примечание: I – климат: А – аридный, С – семиаридный, Г – гумидный; II – возраст; III – условия седиментации: М – морские, К – континентальные, IУ – генетический тип отложений: I – мор-

ские, 2 - озерно-болотные, 3 - аллювиальные, 4- ложковый аллювий, 5 - склоновый; У - литология, в скобках основной глинистый минерал: -(м) - монтмориллонит, -(к) - каолинит, -(г) гидрослюда; УI - содержание U - в числителе, в знаменателе - число проб; УП - содержание С орг. в % - в числителе, в знаменателе - число проб.

По данным корреляционного анализа связь сингенетичных концентраций U с С орг. не установлена.

Эпигенетические процессы окислительного ряда приводят к образованию гидрогётитовой минерализации, с которой связаны урановые аномалии сорбционного типа. Масштабы проявления этого процесса незначительны, поэтому практическая значимость не велика.

Глеевые процессы восстановительного ряда, проявленные в породах J_{I-2} и N_2 возрастов, могут приводить к формированию рудных скоплений урана, имеющих практическую ценность.

О ХАРАКТЕРЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ДРЕВНИХ ЗОНАХ ПЛАСТОВОГО ОКИСЛЕНИЯ

Я.М.Кисляков

I. В последние годы установлена связь уранового оруденения с зонами пластового окисления докайнозойского возраста, представленными преимущественно красноцветными породами и развитыми в сероцветных, часто угленосных толщах. Несмотря на несоответствие современной гидрогеологической обстановке, пластово-эпигенетический характер окисления убедительно подтверждается приуроченностью красноцветов к проницаемым горизонтам, "языкообразной" формой в плане и разрезе, фациальной и палеоклиматической немотивированностью, наличием псевдоморфоз гидроокислов железа по органическим остаткам и минералам $Fe^{\cdot\cdot}$, в том числе и аутигенным (пирит, сидерит и др.).

2. На изученных объектах набор рудоконтролирующих эпигенетических изменений характеризуется некоторыми отличиями от современных зон пластового окисления и, в частности, весьма широким развитием вторично-восстановленных осветленных, либо сульфидизированных пород, зоны которых достигают по протяженности многих сотен метров и существенно маскируют первоначальные контуры распространения пластового окисления.

3. В результате изучения набора эпигенетических зон: красноцветно-окисленных пород → осветленных пород → переотложенного органического вещества → первично-сероцветных пород, делается вывод о наличии здесь зональностей двух типов, обусловленных проявлением окислительного эпигенеза, связанного с инфильтрацией кислородных вод, и восстановительного эпигенеза за счет восходящих растворов.

4. Анализ последовательности минералообразования позволяет увязывать формирование вторично-восстановительных пород (осветленных и сульфидизированных) с гидротермальной аргиллизацией, начальные более яркие стадии которой, проявившиеся до пластового окисления, обусловили интенсивную каолинизацию сероцветных осадочных пород, эффузивов и подстилающих гранитов.

5. Минералогические и геохимические особенности оруденения указывают на его связь с восстановительным эпигенезом, причем особенностью рудных стадий является их щелочной характер (развитие цеолитов, адуляра, гидрослюд, хлорита и т.д.). Урановое оруденение в одних случаях развивается по предварительно окисленным породам (иногда с образованием характерных "очковых" руд), в других - приурочивается к сероцветным угленосным породам у контакта последних с зоной осветления. В последнем случае на продолжении рудных тел отмечается проявление гетитизации, кальцитизации и омарганцевания осветленных пород, интерпретируемые как элементы зональности рудной стадии.

ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

М.Н.Альтгаузен

I. Многие исследователи считают, что уран и сопутствующие его металлы поступали в бассейны накопления рудного вещества с окружающей суши. Однако количество урана, например, в черных сланцах и в глинах с рыбными остатками столь велико, что привнос с суши мог компенсироваться менее I/I00 его части. Во многих породах, наряду с ураном, отмечаются сравнительно высокие концентрации таких металлов, которые в гипергенных условиях обычно малоподвижны (Ва, Рв).

2. Непосредственным источником были воды бассейна, обогатившиеся ураном при вековом накоплении за счет сноса с суши,

или за счет поступления его с рудоносными эндогенными флюидами, высачивающимися в бассейн. Океанологическими исследованиями установлены повышенные содержания урана в осадках хребта Меррей и Восточно-Тихоокеанского поднятия в зоне тепловых потоков. В осадках этой зоны отмечаются повышенные содержания V , Mo, P, Ba и др., являющихся характерными спутниками урана в стратиформных месторождениях. Следовательно, источником урана, накопленного в морских отложениях, могли быть эндогенные флюиды.

3. Более спорно в отношении урановосных осадков континентальных бассейнов, так как в фумаролах и термах зон современного наземного вулканизма повышенные содержания урана не отмечены. Зафиксированы лишь высокие концентрации продукта его распада - радона, свидетельствующего о скоплении урана на глубине.

Для континентальных осадков эндогенные флюиды могли быть источником урана только при более высоком, чем сейчас, планетарном атмосферном давлении, которое предохраняло уран от выпадении его из газовой или жидкой фазы. Повышение атмосферного давления могло быть в связи с изменением гравитационного потенциала Галактики по пути движения Земли (солнечной системы), которое по расчетам Г.П.Тамразяна может достигать 27%. С периодом такого повышения совпадает юрская эпоха скопления урана в угленосных континентальных толщах.

П. ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Г.Б.Наумов

I. Огромный эмпирический материал по закономерностям распределения радиоактивных элементов в различных геологических комплексах, горных породах и отдельных минералах чётко показывает значительную и в то же время неоднородную их миграцию в различных геологических процессах. В самом общем виде могут быть выделены три геохимические области, характеризующиеся принципиально различными доминирующими формами миграции урана и тория. Переход из одной области в другую приводит к изменению миграционных свойств радиоактивных элементов.

2. Эти общие закономерности не вскрывают значительных неоднородностей миграции радиоактивных элементов в конкретных геологических условиях, что объясняется различным сочетанием факторов, влияющих на поведение подвижных форм. Это приводит к тому, что эмпирические закономерности, полученные на разных объектах, могут существенно различаться между собой. Возникающие противоречия затрудняют использование результатов отдельных исследований в практике геологических работ.

3. Преодоление указанных трудностей требует раскрытия механизмов, определяющих процессы миграции радиоактивных элементов в различных термодинамических условиях и их конкретного проявления в реальных геологических ситуациях. Для этой цели наиболее рационально использовать кибернетические модели, построенные на базе элементарных физических и химических взаимодействий, связанных между собой параллельно или последовательно и управляемых по принципу обратной связи. Количество таких элементарных взаимодействий ограничено, а следовательно, для каждого из них предварительно может быть составлен единый алгоритм решения. Предметность, потерянная при общем описании, восстанавливается в дальнейшем путём введения конкретных констант и коэффициентов, отвечающих реальным веществам и условиям.

4. Анализ некоторых моделей, составленных для процессов мобилизации и отложения урана, показывает, что сходные конечные результаты могут возникать при разном сочетании факторов,

определяющих миграционные свойства данного элемента. Так отложение настурана из гидротермального раствора может быть вызвано действием различных восстановителей и изменением режима углекислоты. Величина кислотности, при которой эти явления дают наибольший эффект, не одинакова для процессов, протекающих при различных температурах. В результате типы околожильных изменений вмещающих пород для жил формировавшихся при различных Т и Р будут различны, что необходимо учитывать при их использовании в качестве поисковых критериев.

5. Построение комплексных моделей 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.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА УГЛЕКИСЛЫХ ВОД

Е.Н.Куцель, А.А.Черников

I. К углекислым авторы отнесли воды, содержащие свободную углекислоту (CO_2) более 750 мг/л. Выделено пять типов углекислых вод: дарасунский (нарзаны), железноводский, боржомский, ессентукский и арзнинский, различающиеся условиями формирования и, как следствие, физико-химическими параметрами.

Для собственно углекислых вод характерен положительный окислительно-восстановительный потенциал (Eh колеблется от +40 до +300 мв); для углекисло-сероводородных вод он снижается до -I00 мв.

2. Для всех типов холодных собственно углекислых вод характерны, примерно, одинаковые фоновые концентрации урана ($I.10^{-6}$ г/л), несколько меньше содержится урана в термальных углекислых водах (до $6,5.10^{-7}$ г/л).

Собственно углекислые воды характеризуются более высокими фоновыми концентрациями урана (на полпорядка-порядок) по сравнению с пресными водами тех же районов. Это связано как с более интенсивным изменением водоносных пород под действием уг-

лекислых вод, облегчающих переход урана в воды, так и с физико-химическими условиями углекислых вод, благоприятными для сохранения устойчивых в водах уранилкарбонатных комплексов. На основании известных расчетных методов были определены формы существования урана в углекислых водах. Доминирующими формами нахождения урана во всех типах углекислых вод (независимо от химического состава) являются диаквадикарбонат и трикарбонатураниловые комплексы (от 70 до 99% от общей суммы растворенного урана). Расчеты показывают, что при наблюдаемых концентрациях диаквадикарбонат и трикарбонатураниловых комплексов и карбонатных ионов в различных типах углекислых вод выделение из воды окиси четырехвалентного урана не происходит. Дегазация углекислых вод приводит к разрушению уранилкарбонатных комплексов и выделению из вод уранила благодаря сорбции его гидроокислами железа, глинистыми минералами и окислами марганца.

Для вод дарасунского типа наблюдается корреляционная связь (r = 0,48) между ураном и общей минерализацией воды, а также концентрацией гидрокабонатного иона. С ростом общей минерализации от 0,I5 до 2 г/л концентрация урана в воде возрастает от 4.10^{-6} до 3.10^{-5} г/л. Содержания урана выше 3.10^{-5} г/л воды связаны с повышенными содержаниями урана в водоносных породах.

3. Фоновые концентрации радия в холодных углекислых водах, примерно, на полпорядка выше, чем в пресных, причем они наибольшие для вод ессентукского типа (хлоридно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевых), достигая $I.10^{-II}$ г/л, тогда как в других типах углекислых вод фоновые концентрации не превышают 5.10^{-I2} г/л. Повышение температуры углекислых вод благоприятствует переводу радия в раствор. Горячие углекислые воды (железноводский тип) сложного состава с общей минерализацией до 4 г/л и температурой до 70°С обогащены радием до 6.10^{-II} г/л. Между радием и температурой вод существует корреляционная связь (r = 0,47-0,7).

4. Углекислые воды характеризуются низкими фоновыми концентрациями радона (до I0,0 эман), которые практически не отличаются от фоновых концентраций этого элемента в пресных водах того же района. Наблюдаемое повышение фоновых концентраций радона (до 26 эман) в углекислых водах Забайкалья объясняется

двумя причинами:

а) почти исключительной приуроченностью углекислых вод Забайкалья к кислым изверженным породам, характеризующимися более высоким кларком радиоэлементов,

б) самой низкой температурой (2-3^{0}С) из всех углекислых вод, способствующей большей растворимости радона в воде.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Е.Н.Куцель

I. Формирование фоновых концентраций урана в природных водах происходит под влиянием многих факторов: радиоактивности водовмещающих пород, их состава и степени разрушенности, растворимости минералов, в виде которых они находятся в породе, мощности и характера зоны аэрации, рельефа, климата, глубины залегания вод, интенсивности водообмена, химического и газового состава вод и характера геохимической обстановки. В зоне гипергенеза одним из основных факторов являются биоклиматические особенности, при этом отмечается увеличение фоновых содержаний урана при переходе от влажных районов к засушливым. Диапазон измерений фоновых содержаний от 3.10^{-7} г/л в зоне тундры до 3.10^{-5} г/л на отдельных площадях в пустыне. В пределах одной климатической зоны фоновые концентрации урана в водах зависят от радиоактивности водовмещающих пород.

2. Обогащение вод радоном зависит от абсолютного содержания радия в породах, эманирующей способности пород и от гидрогеологических условий.

Геохимическая обстановка, химический состав воды и климатические особенности резкого влияния на формирование и величину фоновых концентраций радона не оказывают. В водах одинаковых литологических разностей пород, независимо от их стратиграфического положения в разрезе, формируются практически близкие между собой фоновые концентрации радона.

Установлено, что в водах осадочных и осадочно-вулканогенных отложений и основных магматических пород формируются низкие фоновые концентрации радона, не превышающие 10 эман. Воды, приуроченные к метаморфичееским породам, имеют различные фоно-

вые концентрации радона. На большей части территории СССР они не превышают 10 эман., и только в отдельных районах увеличиваются до 20, а иногда и до 36 эман. Для трещинных грунтовых вод коры выветривания кислых магматических пород характерны фоновые концентрации до 36 эман, а для некоторых регионов (Тянь-Шань, Забайкалье и др.) и более низкие (до 20 эман).

3. Формирование фоновых концентраций радия происходит под влиянием следующих основных факторов: характера вмещающих пород, величины кларкового содержания радия в них, степени трещиноватости, химического состава вод, интенсивности водообмена. В зоне интенсивного водообмена все типы вод характеризуются, примерно, одинаковыми низкими фоновыми концентрациями радия (п.10^{-12} г/л).

В зоне затрудненного и весьма замедленного водообмена высокими концентрациями радия обладают воды хлоридно-кальциевого состава (до 5.10^{-10} г/л), остальные типы вод имеют более низкие концентрации радия (до 6.10^{-11} г/л).

Для хлоридно-кальциевых вод характерно наличие корреляционных связей Ra/M; Ra/Ca; Ra/T°C.

МИГРАЦИЯ УРАНА В УГЛЕКИСЛЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ МАЛОГО КАВКАЗА

В.С.Серебренников

1. В углекислых термальных водах Малого Кавказа содержание урана колеблется в пределах от 10^{-7} до 10^{-5} г/л. В интервале наблюдавших температур (от 10° до 70°С) намечается тенденция к уменьшению концентрации урана в воде при повышении её температуры как в целом по региону, так и на отдельных участках. Наиболее высокие содержания урана наблюдались в углекислых водах, циркулирующих в гранодиоритах, граносиенитах, гранитах и т.п., минимальные - в карбонатных породах.

2. Согласно расчетам, уран в углекислых водах находится в виде уранилкарбонатных комплексных анионов. В кислых углекислых водах (pH<5) заметная доля растворенного урана связана с фтором. Углекислые воды недосыщены ураном против равновесия с его окислами.

3. Концентрация урана в травертинах изменяется от 10^{-5} до 1-2 10^{-2}%. Для случаев, где содержание урана в воде превышает

$3 \cdot 10^{-6}$ г/л, установлена прямая зависимость его концентрации в травертинах от содержания в воде. Глубина развития обогащенных ураном новообразований измеряется десятками метров.

4. Особенности миграции урана в углекислых термальных водах не дают оснований рассматривать их в качестве прямых аналогов гидротермальных ураноносных растворов. В верхних частях земной коры за счет деятельности углекислых вод происходит перераспределение урана, приводящее к возникновению его локальных приповерхностных концентраций вследствие соосаждения с карбонатами и гидроокислами железа.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОНОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ ОТ СОСТАВА ВОД И РАДИОАКТИВНОСТИ ПОРОД

Н.Г.Сыромятников

Изучена зависимость между содержанием урана в водах ($U_в$) от общей минерализации (М), HCO_3^- и SO_4^{2-} ионов в грунтово-трещинных водах Казахстана (около 900 проб). Значение $U_в$ изменялось от 0,1 до 300 мкг/л, М - от 0,05 до 6 г/л.

На графике в координатах $\lg U_в$ - $\lg M$ подавляющее число точек попадает в линейно вытянутое поле, ограниченное двумя параллельными прямыми, уравнение которых в общем виде можно записать: $\lg U_в = k \lg M + \lg C$ (I), где к - угловой коэффициент, а С - значение $U_в$ при М = I г/л. Уравнение (I) можно переписать в виде $\lg U_в = \lg(C \cdot M^к)$, откуда $U_в = C \cdot M^к$ (2). Из (2) видно, что $U_в$ и М связаны линейно только при к = I. Но оказалось, что к $\approx$ 2. Следовательно, постоянным для фоновых вод сохраняется не отношение $U_в/M$, а параметр $U_в/M^2 = C$, названный нами приведенной концентрацией урана. По средним данным для I3 гранитных массивов Казахстана установлено, что именно этот параметр линейно связан с $U_п$ (для пороговой прямой $C = 15U_п - 10$), в то время как отношение $U_в/M$ не обнаруживает какой либо связи с $U_п$.

Зависимость $\lg U_в$ от $\lg HCO_3^-$ оказалась степенной, которую в общем виде можно записать: $\lg U_в = в(\lg HCO_3^-)^a + \lg d$, $(a > I)$ где d - значение $U_в$ при $HCO_3^- = I$ мг.экв/л, а и в - постоянные коэффициенты. Следовательно, для фоновых вод сохраняется постоянной разность $\lg U_в - в(\lg HCO_3^-)^a = \lg d$. Для тех же I3

гранитных массивов отмечена прямая зависимость между $\lg d$ и $U_{П}$, в то время как отношение $U_{В}/HCO_3^-$ с величиной $U_{П}$ не коррелирует. С сульфат-ионом уран коррелирует слабо линейно.

Пропорциональность $U_{В}$ примерно M^2 и еще более высокой степени HCO_3^- нельзя объяснить только испарительной концентрацией солей и урана. Очевидно с увеличением М и HCO_3^- возрастает агрессивность воды в отношении пород и происходит дополнительное выщелачивание урана.

Комплексное исследование графиков зависимости $\lg U_{В} - \lg M$, $\lg U_{В} - \lg HCO_3^-$ и $\lg U_{В} - \lg SO_4^{2-}$ позволяет более объективно выявлять и устанавливать природу водных урановых аномалий, в частности, отличать аномалии, обусловленные сульфидными рудами с примесной урановой минерализацией от аномалий, вызванных собственно урановым оруденением.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УРАНА И ТОРИЯ В НЕКОТОРЫХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ ЗОН АКТИВНОГО ВУЛКАНИЗМА

Л.Л.Леонова

I. Хлоридно-натровые, карбонатные и сульфатные термальные воды Камчатки характеризуются очень низкими абсолютными концентрациями урана и тория. Источником урана и тория являются вмещающие породы, в которых эти воды формируются.

2. В кратерном озере вулкана Малый Семячик благодаря специфике геологических условий имеет место относительное концентрирование радиоактивных элементов. Обнаружена тенденция к увеличению содержания урана и тория в воде озера во времени.

3. На основании ряда геологических (замкнутость и молодость бассейна, а также близость аномальной зоны, трактуемой как питающий очаг) и химических (динамика изменения общего состава вод и концентрации радиоактивных элементов и их содержания во вмещающих породах) фактов, а также данных по содержанию урана и тория в возгонах сульфатов, хлоридов, фторидов предполагается газовый перенос радиоактивных элементов из магматического очага.

Обсуждаются принципиальные возможности условий рассеяния и концентрации урана и тория в районах современного вулканизма.

ПОРОВЫЕ РАСТВОРЫ ЗОНЫ АЭРАЦИИ КАК СРЕДА МИГРАЦИИ УРАНА

С.Г.Батулин, Э.Ф.Калашникова

Эффективность массопереноса при капиллярно-пленочном движении растворов в зоне аэрации зависит от состояния и баланса влаги и от взаимодействия раствора со стенками капилляров. В верхней части зоны под влиянием погодно-климатических условий породы сезонно переходят через ряд характерных состояний ("категория") влажности. В интервале влажности от наименьшей влагоемкости (НВ) до максимальной гигроскопичности (МГ) большое влияние на миграцию оказывают силовые поля негравитационной природы и явления, связанные с наличием двойного электрического слоя.

Воздействие некоторых из этих факторов на миграцию урана изучалось в районе с засушливыми климатическими условиями. Зона аэрации, мощностью 3-12 м, сложена четвертичными щебнисто-суглинистыми отложениями и древней корой выветривания палеозойских эффузивных и осадочных пород. В пределах зоны, преимущественно в ее верхней части, встречаются многочисленные литохимические аномалии урана с интенсивностью порядка 10^{-3}%, имеющие расплывчатые контуры в плане и мощность в вертикальном сечении до 1,5 м. Весовая влажность пород в верхней части зоны аэрации колеблется сезонно от 3-5% до 20-25 %, в нижней части стабильна и в глинистых породах достигает 30-40%.

При извлечении растворов использовалось вытеснение этиловым спиртом и отпрессовывание под давлением до 500 кг/см^2.

В зонах аэрации испарительного и инфильтрационно-испарительного режима вне литохимических аномалий поровые растворы характеризуются слабощелочной реакцией. Содержание молибдена и урана в среднем составляет 10^{-4} г/л, что превышает содержание в грунтовых водах примерно в 10 раз. В летний период содержание урана в поровых растворах в верхней части зоны аэрации выше, чем в нижних. При этом легко извлекаемые порции раствора из пород верхних горизонтов имеют большую минерализацию и большие содержания урана, чем трудно извлекаемые. В нижних горизонтах часто наблюдается обратная картина.

Полученные данные отражают активно идущий процесс испарения воды из крупных капилляров и позволяют уточнить представ-

ление о процессе повышения содержания урана в грунтовых водах аридной зоны. Этот процесс включает в себя "поршневое" вытеснение растворов из зоны аэрации в сезон инфильтрационного питания, что подтверждается характером сезонных колебаний урановосности грунтовых вод.

На урановых литохимических аномалиях, не связанных непосредственно с рудными телами, обнаружены кислые поровые растворы, pH снижается до 3,5. Природа кислотности может быть различной.

В участках с pH 5,5-6,5 отмечаются наибольшие содержания урана в твердой фазе и наименьшие - в поровом растворе (менее $I.IO^{-5}$ г/л).

Предполагается, что образование аномалий происходит выше уровня грунтовых вод и вне зависимости от его положения, на сорбционном барьере при капиллярно-пленочном движении растворов и диффузии урана.

СОДОВЫЕ ВОДЫ КАК ФАКТОР МОБИЛИЗАЦИИ УРАНА, РАССЕЯННОГО В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В.М.Гавшин, Б.А.Воротников, Н.М.Николаева,
Л.Н.Смертина, Г.Г.Шалмина
Институт геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР

I. В равновесии с измельченными образцами гранитов, песчаников и даже порфиритов содовые растворы существенно обогащаются ураном: уже 0,I% раствор соды при 25-80°С извлекает из пород в сотни раз больше урана, чем дистиллированная вода. При этом вместе с ураном в содовый раствор из пород переходят Mo , V , W , Zn и другие элементы (преимущественно "анионогенные" по С.Р.Крайнову). Характерно, что этот набор элементов обнаруживается именно в щелочных содовых растворах; углекислые воды, обогащенные растворенной двуокисью углерода, как показано Ж.Педро, извлекают из горных пород другие компоненты - главным образом Cu, Co,Sn ,Ba ,Sr , Ni . В этом противопоставлении особенно наглядно проявляется геохимическая специфика щелочных содовых вод.

2. В природе содовые воды возникают в процессе взаимодействия растворенной углекислоты с алюмосиликатами, а также в результате биохимических и обменных реакций. Концентрация кар-

бонат-иона особенно возрастает при потере растворителя - например при испарении открытых водоемов (в равновесии с атмосферной углекислотой); достаточно концентрированные растворы могут также возникнуть при разрушении древних месторождений карбоната натрия. Простой расчет показывает, что размыв содового месторождения формации Грин-Ривер мог бы вовлечь в миграцию с подземным и поверхностным стоком миллионы тонн урана.

3. В цепочке содовых озер, находящихся на разных стадиях испарительной концентрации, найдена линейная зависимость между содержаниями растворенной соды и урана; в растворе, близком к насыщению, концентрация урана достигает 2,7 х 10^{-3} г/л. Уран удерживается в щелочных озерных водах, несмотря на то, что донные осадки богаты восстановителем - планктонным органическим веществом. Как показано в таблице, в донных осадках сохраняется щелочная реакция среды; по-видимому, для перехода урана в твердую фазу необходимо понижение pH иловых вод.

Среда	Eh, mV		pH		CO_3^{2-}, м/л		U, г/т	
	от	до	от	до	от	до	от	до
Озерная вода	+130	+240	9,9	10,9	0,05	1,9	0,01	2,7
Ил у уреза воды	-160	-330	9,2	10,1				
Ил из скважин глубиной до 1 м	-80	-330	9,2	10,8			0,5	8,0

4. В осадках современных содовых озер известны находки анальцима, альбита, адуляра и разлинных модификаций карбоната натрия. Аналогичные парагенезисы в древних толщах можно рассматривать как свидетельство деятельности содовых вод в геологическом прошлом на протяжении длительного времени, охватывающего стадии седиментогенеза и катагенеза (содовый катагенез по А.И.Перельману).

5. Проявления "содового катагенеза" можно видеть в терригенно-пирокластических толщах межгорных впадин Сибири, где анальцимовые туффиты обнаруживают резкий дефицит урана (торий-урановое отношение в два-три раза превышает среднее для земной коры); напротив, фосфатное вещество содержит в десятки раз больше урана, чем морские фосфориты, что рассматривается

как следствие повышенной концентрации в щелочных поровых водах терригенно-пирокластических пород. Урано-свинцовые изохроны показывают, что концентрация урана в фосфате кальция происходила через 90 мил лет после осадконакопления.

6. Следы деятельности содовых вод наблюдаются также в красноцветных толщах, необычно богатых алюмосиликатами натрия-альбитом и анальцимом. Здесь также, с одной стороны, обнаруживаются мощные пачки пород, резко обедненных ураном по отношению к торию, а с другой стороны - встречаются обогащенные ураном слои с растительными остатками, где урану сопутствуют Mo, As, V, Se и некоторые другие элементы, склонные к миграции в содовых водах.

7. Щелочные воды вовлекают уран в миграцию в процессе выветривания гранитоидов. Гранит в начальной стадии выветривания теряет до 20-40% урана при первых признаках химического изменения щелочных полевых шпатов. Именно в основании коры выветривания возникает, как известно, щелочная реакция среды, и соответственно концентрация карбонат-иона становится достаточной для уранил-карбонатного комплексообразования.

УСЛОВИЯ ОСАЖДЕНИЯ УРАНА ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА

А.К.Лисицин

Среди причин, приводящих к удалению урана из подземных вод, важнейшее значение имеет его восстановление от 6-и до 4-х валентного состояния. Осаждение труднорастворимых соединений и сорбция урана без изменения его валентного состояния происходят в специфических, относительно редко возникающих природных условиях.

Восстановителями урана в водоносных горизонтах осадочного чехла обычно служат водород и сероводород, образующиеся при биохимическом окислении органического вещества. Значительно реже газообразные восстановители урана поступают в водоносные горизонты осадочного чехла снизу по разломам фундамента.

Осаждение урана на пути фильтрации пластовых вод начинается при понижении их окислительно-восстановительного потенциала до Eh равновесия с окислами ряда UO_2-U_4O_9, независи-

мо от природы потенциал-понижающего вещества, обладающего такой способностью. Различия химического состава пластовых вод определяют следующий интервал Eh осаждения урана при его восстановлении: Eh макс. = 0,38-0,06pH; Eh мин. = -0,03pH. Полученные уравнения находятся в полном согласии с результатами детального гидрогеохимического опробования пластовых вод. Низкие кислородные коэффициенты окислов урана, осаждающихся из пластовых вод, подтверждены их прямыми определениями в герметично отобранных образцах свежеподнятого керна скважин на участках с ненарушенными природными условиями.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ МИГРАЦИИ УРАНА В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА И ПРОЦЕССЫ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ НА ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРАХ

А.И.Перельман

В подавляющем большинстве случаев концентрация урана в зоне гипергенеза происходит на геохимических барьерах. От класса барьера и состава вод, поступающих к барьеру, зависят геохимические особенности концентраций урана.

Шестивалентный уран может мигрировать как в кислородных, так и в слабоглеевых водах в широком интервале pH - от кислого до щелочного. В группе кислородных вод по величине pH четко выделяется четыре основных класса: сильнокислых (pH $<$ 4) кислых и слабокислых (pH = 4-6,5), нейтральных и слабощелочных (pH = 6,5-8,5) и сильнощелочных (содовых) (pH $>$ 8,5).

В группе слабоглеевых вод (бескислородных, слабовосстановительных) по щелочно-кислотным условиям выделяется 3 класса вод (сернокислые воды здесь не характерны).

Если урановосные воды (кислородные или слабоглеевые) встречают на пути своего движения восстановительный барьер, то на нем происходит концентрация металла. В результате возникает геохимическая зональность. В зависимости от состава вод зональность может быть кислородной или глеевой. Щелочно-кислотные условия этих вод, а также класс геохимического барьера (сероводородный или глеевый) определяют существование 13 геохимических типов концентрации урана, показанных в таблице. Наименование каждого типа складывается из двух терминов, из которых первый характеризует состав вод, поступающих к барьеру, а вто-

рой - класс барьера. Так, например, в группе типов кислородной зональности ("О") выделяется первый сернокислосульфидный О-I) тип, в котором концентрация урана связана с миграцией его в сернокислых растворах с осаждением на сероводородном (сульфидном) барьере. Для УП содового-глеевого типа (О-УП) характерна миграция урана в содовых кислородных водах и его осаждение на глеевом барьере.

Выделенные I3 типов это геохимические типы концентрации, реализующиеся в различных геологических условиях - в илах озер и морей, пластовых водоносных горизонтах артезианских бассейнов, зонах разломов складчатых областей и т.д.

Геохимические типы концентраций урана на восстановительных барьерах зоны гипергенеза

О-В условия		состав вод, поступающих к геохимическому барьеру						
		Кислородные воды				Слабоглеевые воды		
	pH	Сильно кислые <4	Кислые и слабокислые 4-6,5	Нейтральные и слабощелочные 6,5-8,5	Сильнощелочные (содовые) >8,5	Кислые и слабокислые 4-6,5	Нейтральные и слабощелочные 6,5-8,5	Сильнощелочные (содовые) >8,5
Группы		О. Группа типов кислородной зональности				Г. Группа типов глеевой зональн.		
Класс восстановительного барьера	сероводородный сульфидный	Сернокислый сульфидный I	Кислый сульфидный II	Щелочной сульфидный IУ	Содовй сульфидный УI	Кислый сульфидный УШ	Щелочной сульфидный Х	Содовый сульфидный ХП
	глеевый	-	Кислый глеевый III	Щелочной глеевый У	Содовый глеевый УП	Кислый глеевый IX	Щелочной глеевый XI	Содовый глеевый ХШ

О МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАТРОВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ

Е.В.Копченова, Л.А.Березина, Р.В.Голева, Е.И.Железнова

Изучены условия миграции радиоактивных элементов на протяжении значительного отрезка геологического времени формирования ультраметаморфических пород и натровых метасоматитов в нижнем протерозое.

Натровые метасоматиты развиты среди гнейсо-мигматитовых пород и гранитоидов ультраметаморфического комплекса по зонам крупных региональных разломов, ограничивающих структуру типа срединного массива.

Особенности распределения урана и тория в породах, породообразующих и акцессорных минералах всех стадий породообразования изучены на большом статистическом материале с помощью метода $\int$-радиографии, перлово-люминесцентного, рентгеноспектрального, химического, гаммаспектрометрического и других методов анализа.

Установлено, что в породах ультраметаморфического комплекса уран и торий ведут себя согласованно, содержание их возрастает с развитием процесса прогрессивного метаморфизма, причем они концентрируются в биотите и акцессорных минералах.

На стадии высокотемпературного калий-кремниевого метасоматоза уран и торий разъединяются, и далее на регрессивном этапе развития метаморфизма главная роль принадлежит урану.

Интенсивный привнос урана связан с процессом натрового метасоматоза. Основная его масса в натровых метасоматитах приурочена к темноцветным минералам (хлорит, рибекит, эгирин), в которых выявлены две формы распределения урана: I) равномерное по всему зерну минерала и 2) крайне неравномерное в виде скоплений, приуроченных к трещинам и плоскостям спайности и дефектам структуры. Местами к темноцветным минералам приурочены более поздние выделения собственно урановых минералов (браннерит, настуран). В постметасоматические стадии фиксируется перераспределение урана.

При сопоставлении условий образования пород каждой стадии и соответствующих особенностей поведения радиоактивных элементов использованы геологические факторы (тектонический режим, смена парагенезисов минералов) и физико-химические и термо-

динамические параметры (состав и свойства расплава или раствора, химическая эволюция их, кислотность-щелочность, окислительно-восстановительный потенциал, температура и давление).

Полученные данные показывают, что наиболее благоприятные условия отложения урана во время формирования натровых метасоматитов возникают в момент падения щелочности раствора, перепада температуры в пределах общего благоприятного интервала 260-400°С. Проведенные исследования подтверждают высказанное А.И.Тугариновым (1963 г.) мнение, что для осаждения урана, содержащегося в растворе в виде уранил-щелочно-карбонатного комплекса, наиболее благоприятны следующие условия: понижение концентрации $CO_3^{''}$ и $HCO_3^{'}$ в растворе, наличие восстановителей (темноцветные минералы натровых метасоматитов с Fe^{2+}) и наличие соосадителей $Ca_3(PO_4)_2$, $ZrSiO_4$.

РОЛЬ УГЛИСТОГО ВЕЩЕСТВА В НАКОПЛЕНИИ УРАНА

В.А.Успенский, В.Ф.Пеньков

Известно много экзогенных эпигенетических концентраций урана, тесно связанного с углистым веществом. Урановая минерализация проявлена обычно в породах, обогащенных углистым веществом, содержащем дисульфиды железа, часто у контакта с более проницаемыми породами, в которых отсутствует органическое вещество и развиты гидроокислы железа. В некоторых случаях между ними проявлено в различных масштабах обеление пород, которое характеризуется отсутствием как дисульфидов, так и гидроокислов железа.

В других случаях с углистым веществом связана концентрация урана, который отлагался в определенной стадии общей возрастной последовательности минералов, обнаруживающей характерные черты гидротермального процесса. Здесь местный перенос и отложение урана осуществлялся в породах, обогащенных дисульфидами железа.

Можно считать, что углистое вещество способствовало отложению урана в разных породах из окислительных и восстановительных в отношении железа растворов, которые могли быть сформированы как в экзогенных, так и в эндогенных условиях.

Углистое вещество с повышенным содержанием урана чаще всего можно отнести к группе бурых углей. Оно характеризуется

малым количеством компонентов, растворимых в органических растворителях, небольшим выходом дегтя, низкой степенью карбонизации и отличается высокой гигроскопичной влажностью, за счет большой свободной поверхности, и высокой степенью окисления. В одних случаях несколько больше обогащен ураном витрен, а в других - фюзенизированные растительные остатки. Уран находится в углистом веществе в сорбированной форме и в виде тонкодисперсных включений настурана или коффинита. Иногда наибольшие скопления урана находятся в средних частях слоев углистых пород. Так, например, внутри слоя массивного угля распределен уран, сопровождаемый молибденом и германием, в сильном отрыве от зоны окисления, развившейся в краевых частях слоя, причем ближе к этой зоне отлагается ванадий, а в ее пределах - медь и редкие земли иттриевой группы. Подобное же явление, но вне явной связи с зоной окисления, отмечается в песчанике, обогащенном мелким углистым материалом и содержащим тонкие прослои угля, частично замещенного дисульфидами железа, причем минералы урана в основном развиваются с замещением по тем же прослоям угля в средней части слоя песчаника.

Поскольку общепринятым является представление о переносе урана в шестивалентной форме, то такое глубокое проникновение его вглубь пород, резко обогащенных восстановителем - органическим веществом, можно объяснить превышением скорости фильтрации в них урановосного раствора над скоростью восстановления из него урана или же ограниченной его миграцией и в четырехвалентном состоянии. При этом для отложения урана в виде локальных скоплений минералов были, очевидно, необходимы не только окислительно-восстановительные, но и какие-то другие взаимодействия урановосного раствора с компонентами угленосной породы.

ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЯ УРАНА В ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ БУРЫХ УГЛЕЙ И ТВЕРДЫХ БИТУМОВ

В.Ф.Пеньков, В.А.Успенский

Общеизвестна роль органического вещества бурых углей и твердых битумов типа керитов в накоплении урана. Обычно при различных геохимических построениях обращается внимание на взаимодействие между такими органическими веществами, являющимися

восстановителями, и растворами, имеющими окислительные свойства. Считается, что это взаимодействие обуславливает возникновение общей восстановительной среды в разных горных породах и поэтому является основным фактором отложения в них урана.

Не отрицая важности для возникновения в породах концентраций урана общего восстановительного геохимического барьера, следует, однако, обратить внимание на признаки непосредственного взаимодействия между рудоносными флюидами и макровыделениями органических веществ на участках их контактирования, где происходило отложение значительных масс первичных минералов урана (настурана, коффинита). Такое локальное взаимодействие, по-видимому, играло не менее важную роль для отложения урановых минералов, чем общий восстановительный геохимический барьер, который в ряде случаев отсутствовал.

Имеются различия во взаимодействии рудоносных флюидов с органическими веществами бурого угля и твердого битума (керита). Уран обычно накладывается на вещество бурых углей, причем на начальных стадиях такого наложения образовывались рассеянные сорбционные формы урана и отдельные "инъекции" мелких выделений настурана или коффинита, а на последних более полных стадиях происходило псевдоморфное замещение органического вещества этими минералами. Следует отметить отсутствие существенного изменения органического вещества вблизи мест такого взаимодействия.

В случаях наложения урана на твердый битум типа керита, он находился преимущественно в форме тонкодисперсных выделений настурана, реже коффинита, а также в виде какой-то прочной связи с органическим веществом. В то же время сорбционные формы и псевдоморфозы настурана или коффинита по битумному веществу отсутствуют. В тех участках макровыделений битума, где отложился уран, отмечается существенное изменение не только его физических свойств, но и химического состава, увеличение кислорода или серы, уменьшение водорода и углерода.

Различия в геохимических свойствах органических веществ бурого угля и твердого битума проявляются и в разных соотношениях их с другими минералами. В частности, вещество бурого угля весьма часто замещается пиритом и марказитом, кальцитом, халцедоном. В то же время признаки замещения битумного вещества какими-либо минералами не были обнаружены.

Такие существенные различия поведения в процессах минералообразования бурых углей и твердых битумов, очевидно, обусловлены прежде всего их разными физическими свойствами и химическими особенностями.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АССОЦИАЦИИ УРАНА С ТВЕРДЫМИ БИТУМАМИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В.Ф.Пеньков

Ассоциация минералов урана с твердыми битумами встречается в самых различных горных породах. Характерными являются два основных типа этой ассоциации. Примером первого из них могут служить линзовидные макровыделения твердых битумов в песчаных прослоях. Уран находится в битумном веществе обычно в виде рассеянных мельчайших сфероидов, реже угловатых микровключений настурана. Этот минерал урана очевидно отлагался почти одновременно с образованием битумного вещества, а также накладывался на последнее по периферии его макровыделений, благодаря каким-то диффузионным явлениям. Макровыделения ассоциации второго типа довольно часто встречаются по трещинкам в интрузивных породах и имеют вид прожилков с соразмерными количествами битумного вещества и настурана. Настуран находится здесь в виде корродированных обломков,местами частично замещенных коффинитом, причем скопления обломков иногда имеют форму почак или микропрожилков. Все это указывает на более позднее образование битумного вещества, очевидно, принимавшего активное участие в разрушении и замещении макровыделений настурана.

Битумные вещества в обоих случаях можно отнести к группе керитов, хотя они существенно отличаются по степени карбонизации и окисления. Их следует считать полимерами, поскольку в них были обнаружены надмолекулярные структуры, т.е. явления упорядочения длинных гибких цепочечных молекул, из которых состоят искусственные полимеры. Присутствие в них реликтов структуры, характерной для эластомеров, указывает на то, что эти битумные вещества при своем образовании проходили полностью или частично через стадию эластичного состояния, промежуточного между жидко-вязким и стеклообразным физическими состояниями.

На непосредственное взаимодействие между ураном и битумом, в этот период , когда по крайней мере один из них не совсем

потерял способность к миграции, указывает присутствие в обеих ассоциациях ореольной формы урана, т.е. 8-15% урана, по данным А.С.Авдонина, однородно рассеянного в битуме около включений настурана.

В обоих рассматриваемых случаях установлены признаки радиационного изменения битумного вещества, благодаря α- излучению частиц настурана в течение периода сосуществования обеих фаз. В связи с этим интересно обнаружение В.Т.Дубинчуком своеобразной фазы, обнаруживающей сходство с алмазом по типу кристаллической решетки и параметрам элементарной ячейки в непосредственной близости от настурана, где особенно велика плотность α-частиц.

В настуран-битумных ассоциациях обоих типов обнаружены признаки замещения битумным веществом минералов породы (кварца, каолинита, гидрослюды, пирита и др.), Факторами такого своеобразного локального метасоматоза могли быть: I) воздействие на минералы химически активных неорганических компонентов, сопровождавших исходные битумные вещества; 2) непосредственное взаимодействие этих веществ и минералов с образованием в качестве реакционных продуктов элементоорганических соединений; 3) физическое воздействие полимеризующегося битумного вещества, развивающего большее давление, чем имели до этого минералы породы, что приводило к их диспергированию и нарушению равновесия между ними и поровым раствором.

Битумные вещества обеих ассоциаций имеют довольно близкие физико-химические свойства, однако принимают активное участие в первом случае - в образовании концентраций урана, а во втором - в разрушении ранее образованных концентраций урана в различных горных породах. Это можно, очевидно, объяснить не столько их химическими отличиями, сколько разными геологическими условиями образования, определявшими возрастные, пространственные и количественные соотношения между компонентами таких ассоциаций.

ВЛИЯНИЕ ВМЕЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.Ф.Каширцева, В.Д.Сидельникова

I. При формировании эпигенетических рудных тел в проницае-

мых породах, сравнительно бедных органическим веществом (С орг. < 0,4%)у выклинивания зоны пластового окисления обычно наблюдается четко выраженная зональность в распределении основных рудных элементов. В направлении от окисленных пород к сероцветным подзона селеновой минерализации сменяется урановой, а затем молибденовой, с некоторым наложением в пространстве одной подзоны на другую.

2. Однако в зависимости от проницаемости и окислительно-восстановительных свойств вмещающих пород эта зональность может претерпевать существенные изменения. Так, в водоупорных породах, залегающих в кровле и подошве зоны пластового окисления, уран-селен-молибденовое оруденение оказывается наложенным одно на другое.

3. Подобное наложение одной зональности на другую наблюдается при формировании оруденения в угленосных отложениях, характеризующихся парагенетической ассоциацией урана, селена, молибдена и ванадия. Зональность в распределении урана и сопутствующих ему элементов здесь обычно выражена менее четко, чем в хорошо проницаемых отложениях.

4. На некоторых урановых рудопроявлениях значительная часть оруденения приурочена к кровле угольного пласта, перекрытого эпигенетически окисленными терригенными отложениями зоны поверхностного окисления. На участках, где угольные пласты еще не затронуты процессами поверхностного окисления, отмечается следующая зональность: селен и ванадий концентрируется в угле непосредственно у границы с окисленными породами. Максимальные содержания молибдена отмечаются в угле ниже границы окисления на 0,25-0,5м по разрезу угольного пласта; высокие содержания урана фиксируются от границы с окисленными породами и прослеживаются вниз по разрезу угольного пласта дальше, чем молибден. Максимальные содержания урана и молибдена совпадают с наиболее пиритизированными участками угольного пласта.

УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ УРАНА В КАРБОНАТНО-ФОСФАТНЫХ КОНКРЕЦИЯХ

Б.И.Сребродольский

На некоторых месторождениях самородной серы в покрывающих породах отмечены карбонатно-фосфатные конкреции, сложенные

кальцитом и коллофаном. Коллофан урановосен и содержит редкие земли. Присутствие урана в фосфате объясняется: I) адсорбцией урана фосфатным веществом, 2) осаждением его из вод путем образования труднорастворимых соединений и 3) изоморфным замещением кальция в апатитовой решетке ураном.

Источником урана являются кристаллические породы, содержащие от кларка и больше этого элемента. Гидрокарбонатно-кальциевые воды, формирующиеся в районе выхода урановосных пород, выщелачивают и выносят этот элемент. Главной формой переноса урана в таких водах являются двух- и четырехзарядные уранил-карбонатные комплексы.

Преобладающая доля урана в конкрециях находится в сорбированной форме. Уран сорбируется гелевидным фосфатом на начальных стадиях роста конкреций.

В карбонатной среде комплексный уранил-карбонат может выпасть и в виде более или менее растворимых минералов: уранталлита, свартцита, андерсонита, лермонтовита, которые соосаждаются вместе с фосфатом.

Наконец, незначительная доля урана в коллофане обусловлена возможностью изоморфного замещения кальция в апатитовой решетке ураном вследствие близости ионных радиусов этих элементов.

При прочих равных условиях фации сероводородного заражения явились благоприятным фактором фиксации урана в карбонатно-фосфатном веществе.

УЧАСТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ГЕОХИМИИ УРАНА В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА

Э.Г.Кузнецова, И.П.Кулигина

Доклад имеет целью представить данные, свидетельствующие о том, что микроорганизмы принимают активное участие в рассеянии и концентрации урана в природных условиях.

Наиболее энергичный вынос урана из пород происходит в условиях окисления пирита, входящего в состав этих пород, при активном участии тионовых бактерий. Нами и рядом зарубежных исследователей показано, что без бактерий окисление пирита и растворение урана практически не происходит. В процессе окисления пирита при избытке свободного кислорода образуются серная кислота и сульфат окиси железа, являющиеся хорошими

растворителями урановых минералов. Уран при этом переходит в форму сульфатуранила. По имеющимся данным миграция урана в виде сульфатуранила возможна лишь в кислых водах, распространение которых в природе ограничено. Основными формами миграции урана являются уранкарбонатные и уранорганические соединения, в образование которых, по всей вероятности, могут вовлекаться CO_2 и различные органические соединения, являющиеся продуктами обмена веществ широко распространенных в природе микроорганизмов.

На природных геохимических барьерах уран может вновь осаждаться. При изучении состава микрофлоры пород и пластовых вод нами было установлено, что некоторые группы микроорганизмов имеют зональное распространение, отвечающее геохимической зональности пород. На выклинивании зон пластовой лимонитизации, где наблюдается окисление органического вещества и соединений закисного железа сероцветных неокисленных пород, сопровождающееся интенсивным потреблением кислорода из пластовых вод, найдены бактерии, окисляющие пирит, и широкое развитие имеют бактерии, окисляющие углеводороды и клетчатку. В других зонах пиритокисляющие бактерии не встречались совсем, а углеводородокисляющие найдены лишь в единичных образцах. В породах зоны накопления урана, характеризующихся наличием эпигенетического пирита и развитием пластовых вод с низким окислительно-восстановительным потенциалом, широкое распространение имеют сульфатвосстанавливающие и другие группы анаэробных бактерий. Наибольшая распространенность сульфатвосстанавливающих бактерий совпадает с зоной накопления урана в породах и с развитыми в ней пластовыми водами, характеризующимися наименьшими значениями Eh и концентрации урана в них. Такое совпадение свидетельствует о тесной зависимости всех этих факторов и дало основание утверждать, что сульфатвосстанавливающие и другие группы анаэробных бактерий участвуют в создании восстановительного геохимического барьера, препятствующего дальнейшей миграции урана. В лабораторных исследованиях, в которых имитировались природные процессы, снижение Eh и осаждение урана наблюдалось лишь в присутствии бактерий.

Наличие жизнедеятельной микрофлоры в породах и пластовых водах и участие ее в геохимических превращениях урана свидетельствуют о связи водоносных горизонтов с поверхностными во-

дами и о формировании зон накопления урана в настоящее время, так как в закрытых структурах микробиологические процессы невозможны.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для уточнения генетических представлений о процессе накопления урана в породах, а также для разработки бактериальных методов извлечения его из пород.

ДВА СПОСОБА КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА В НИЗКО- СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Е.В.Плющев

I. Один способ может быть назван постмагматическим. Он характеризуется направленным развитием магматического процесса, завершающие стадии которого представлены кислыми породами с повышенными содержаниями калия. Эти породы имеют эффузивный облик и формируются в субвулканических условиях в посткальдерный период развития вулканических структур центрального типа.

Постмагматический или собственно гидротермальный процесс начинается интенсивным калиевым метасоматозом, обычно полностью преобразующим исходные породы. Новообразованная минеральная ассоциация представлена калишпатом, кварцем и гематитом. Минерализаторы иногда фиксированы флюоритом, в других случаях турмалином. Возникают псевдосферолитовые, пойкилитовые, микропегматитовые структуры. Характерны короткопрожилковые выделения, выполнения миндалин. Калиевый метасоматоз сопровождается коррелированным накоплением урана, тория и калия в измененных породах. Осаждение урана и тория можно связать с падением щелочности воздействовавших растворов.

Следующая стадия гидротермальной деятельности отличается воздействием резко кислых растворов, возникающих в зонах трещиноватости за счет вскипания растворов, производивших в породах калиевый метасоматоз. Конденсат паровой фазы и остаточный гидротермальный раствор производят околотрещинный метасоматоз с новообразованием гидросерицита, серицита, каолинита и кварца. Структуры новообразований типичны для аргиллизитов. Иногда во внутренних зонах метасоматитов и в трещинном пространстве осаждается альбит. Уран концентрируется в аргилли-

зитах и альбитовых метасоматитах в тесной ассоциации с флюоритом и гематитом. Характерна незначительная роль карбонатов и сульфидов. Причины осаждения урана усматриваются в резком повышении кислотности растворов.

2. Другой способ можно назвать гидрогенным, так как прямой связи рудоформирующего гидротермального процесса с магматизмом не устанавливается. Гидротермальное минералообразование тяготеет к зонам разломов или проницаемым горизонтам, т.е. к коллекторам гидродинамических систем. Гидротермальный процесс начинается формированием пропилитовых минеральных ассоциаций (эпидот + хлорит + карбонат) под воздействием слабощелочных - близнейтральных растворов. Обычно в измененных породах устанавливается дефицит урана, видимо, за счет максимальной стабильности в пропилитизирующих растворах уранилкарбонатных комплексов. При этом в ряде случаев уран из исходных пород выносится.

Во внутренних зонах пропилитовые ассоциации сменяются березитовыми (кварц + серицит + гидросерицит + карбонат + хлорит, иногда альбит), формирующимися под влиянием последовательного проявления и смешения кислых и щелочных средне-низкотемпературных растворов. Здесь фиксируется накопление урана совместно с карбонатами. В переменных количествах отлагаются сульфиды.

Геологические обстановки проявления отмеченных способов концентрации урана существенно различаются. Формирующиеся за счет этих способов урановорудные скопления имеют разные поисковые признаки и не одинаковое практическое значение.

ПОМИНЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Е.В.Плющев, Л.А.Рябова

Поведение урана и тория в гидротермальном процессе отражается в радиогеохимических особенностях гидротермальных минералов.

I. По характеру корреляционных отношений между ураном и торием выделяются две группы минералов. Первая группа объединяет калишпат, светлую калиевую слюду, хлорит, эпидот и кварц, т.е. широко распространенные минералы метасоматических зон и жильного выполнения. Эти минералы характеризуются положитель-

ной корреляцией урана и тория как и большинство алюмосиликатных изверженных пород. Вторая группа включает карбонаты, барит, флюорит, гематит, пирит и собственно рудные минералы. В этих минералах, в целом менее распространенных в литосфере, уран и торий связаны отрицательной корреляционной зависимостью.

В стандартной последовательности гидротермального минералообразования минералы второй группы выделяются позже минералов первой группы, что, видимо, взаимосвязано с разделением урана и тория в ходе развития гидротермального процесса.

2. Радиогеохимические особенности гидротермальных минералов чувствительны к термодинамическим условиям минералообразования. Во многих минералах устанавливается уменьшение содержания тория и снижение торий-уранового отношения в сравнительно более низкотемпературных разностях. Особенно показательны в этом отношении кварц, пирит, флюорит и собственно рудные минералы, в которых торий-урановое отношение снижается в 5-10 раз.

Эта особенность согласуется с преимущественным накоплением урана в низко- среднетемпературных гидротермальных образованиях. С другой стороны, отмеченная закономерность может быть использована для анализа термодинамических условий минералообразования.

3. Уровни концентрации радиоактивных элементов в гидротермальных минералах месторождений разных металлов существенно различаются, что обуславливается не только термодинамическими факторами их образования, но и исходной специализацией растворов. При этом исходная специализация растворов не всегда может быть реализована в конкретной минерализованной зоне, но фиксируется в поминеральном распределении элементов-примесей. Такая специализация, а также особенности миграции и концентрации радиоактивных элементов на изучаемых месторождениях могут быть установлены при анализе серии гидротермальных минералов, отражающей эволюцию формирования минерализованной зоны.

ФОРМЫ ПЕРЕНОСА УРАНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАН-МОЛИБДЕНОВОЙ ФОРМАЦИИ

Г.Б.Наумов, А.А.Никитин, О.Ф.Миронова, Э.И.Сергеева

I. Существующие представления о процессах формирования

уран-молибденовых месторождений допускают самые различные формы переноса рудного вещества. Перенос урана допускается в форме карбонатных, сульфатных, фторидных и молибдатных комплексных соединений. Решение этого вопроса невозможно без более точных данных об устойчивости этих соединений при повышенных температурах и конкретных величин, характеризующих химическую обстановку рудоносных растворов.

2. Определение концентрации углекислоты в газово-жидких включениях минералов рудной стадии показывает, что ее значение в исходных минералообразующих растворах достигало величин порядка I мол/кг H_2O. Активность сульфатных ионов в тех же растворах не могла превышать 10^{-2} мол/кг H_2O. В тех же пределах лежит максимальная активность фтора. Растворы имели кислотность, близкую к нейтральной при температуре процесса.

3. Константы устойчивости карбонатных и сульфатных комплексов ионов уранила, полученные для интервала температур 25-200°С, показывают, что в таких растворах преобладающей формой нахождения урана всегда будут уранил-карбонатные ассоциации. Сульфатный перенос требует значительно больших концентраций ионов SO_4^{2-}, или сильно кислых сред, при которых наблюдалось бы широкое развитие ангидрита и полное отсутствие карбонатов кальция.

4. Образование уранил-молибдатных ассоциаций требует слишком высоких активностей молибдена, не реальных для природных растворов.

5. Анализ процессов рудоотложения при формировании месторождений уран-молибденовой формации требует детального изучения состава конкретных растворов. Заключение о величине карбонатности урановосных сред не может быть сделано из простого сопоставления количества карбонатных минералов, отложившихся в жилах и измененных породах. Слабое развитие карбонатных ассоциаций во многих случаях обусловлено не низким содержанием CO_2 в растворе, а относительно кислой средой, по сравнению с уран-карбонатными парагенезисами, и меньшей концентрацией кальция и магния во вмещающих породах.

НЕКОТОРЫЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫХ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ

И.В.Мельников, И.Г.Берзина

I. На близповерхностных уран-молибденовых месторождениях, судя по данным γ-радиографии и минералогическому изучению, перенос (и отложение) урана происходило дважды в течение двух различных стадий гидротермального процесса. В стадию раннего метасоматического изменения пород (аргиллизации или березитизации) уран привносился растворами во вмещающие породы в небольших количествах и фиксировался в них в виде титанатов, силиката урана и в лейкоксене. Второй раз уран привносился в основную урановорудную стадию (предпоследнюю) гидротермального процесса и отлагался главным образом в виде окислов, реже силикатов урана (настурана и коффинита). В сульфидную стадию, разделяющую эти урановорудные стадии, переноса урана не происходило. В наиболее позднюю (пострудную) стадию гидротермального процесса переноса урана не было, а происходило лишь его частичное переотложение.

2. На близповерхностных уран-карбонатных месторождениях продуктивной на уран стадией гидротермального процесса является наиболее поздняя стадия, соответствующая по положению в процессе пострудной стадии уран-молибденовых месторождений.

3. Возможной причиной изменения места урановорудной стадии на уран-карбонатных месторождениях и перемещение ее в самый конец гидротермального процесса, судя по изучению состава газожидких включений в минералах, является обогащенность растворов почти в течение всего процесса (кроме поздней стадии) восстановителями (H_2, CH_4, H_2S и др.), понижавшими окислительно-восстановительный потенциал растворов, что, по-видимому, мешало переносу урана в виде комплексных соединений урана. В позднюю стадию гидротермального процесса на этих месторождениях, как показывают минералогические исследования, количество восстановителей в растворах резко уменьшилось, что позволило переноситься урану.

О ФОРМАХ МИГРАЦИИ УРАНА ПО ДАННЫМ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА УРАНОВОРУДНЫХ И БЕЗРУДНЫХ АЛЬБИТИТОВ

В.А.Зинченко

На примере количественного изучения химического состава урановорудных и безрудных альбититов одного из месторождений натриево-урановой формации рассматриваются формы миграции и условия концентрации урана в метасоматитах.

По данным экспериментальных исследований известно, что перенос урана осуществлялся в виде комплексных уранил-карбонатных ионов. Мы попытались подтвердить или опровергнуть этот вывод на реальном геологическом объекте путем выявления статистически обоснованных существенных различий в содержании отдельных компонентов безрудных и урановорудных альбититов, поскольку в последних, наряду с ураном, могли накапливаться и другие продукты распада комплексных ионов.

В связи с тем, что удельный вес и пористость указанных разновидностей альбититов достаточно близки и отличаются не более чем на 2%, существенные различия выявлялись прямым сопоставлением химического состава. При этом использованы химические анализы 44 апогранитовых и апомигматитовых урановорудных и безрудных альбититов, являющихся резко преобладающими (90-95%) среди натриевых метасоматитов месторождения.

I. Установленный на основании данных математической статистики привнос в оруденевающие альбититы, наряду с ураном, натрия, углекислоты и незначительного количества кальция, подтверждает известный вывод о том, что уран переносился в растворах в виде комплексных уранил-натрий-карбонатных ионов, разрушающихся при рудообразовании.

2. Процесс разрушения этих комплексов является следствием нарушения термодинамического равновесия, прежде всего снижения парциального давления углекислоты в растворах, поступающих в интенсивно трещиноватые и катаклазированные альбититы, где происходило рудообразование. Поэтому термодинамический фактор локализации уранового оруденения в альбититах следует рассматривать как один из существенных при формировании месторождения.

3. Перенос урана в растворах в виде уранил-калий-карбонат-

ных комплексных ионов и их распад при образовании этого месторождения не подтверждается. Поэтому можно предположить, что такая форма переноса урана либо отсутствовала при формировании этого месторождения, либо имела резко подчиненное значение, или следы проявления распада ее комплексов были затушеваны последующими процессами. Решение этого вопроса требует дальнейших исследований.

4. Разрушение уранил-карбонатных комплексов сопровождалось не только накоплением продуктов распада во вмещающих породах, но и растворением, выносом и переотложением отдельных компонентов, что способствовало развитию урановых минералов, новообразованного кварца и некоторых темноцветных минералов.

ГЕОХИМИЯ ФТОРА В ЭНДОГЕННОМ РУДНОМ ПРОЦЕССЕ

Е.Б.Высокоостровская

I. Для месторождений жильного и прожилково-вкрапленного типа в фундаменте преимущественно силикатного состава и в вулканитах верхнего структурного этажа, связанных с процессами тектоно-магматической активизации, устанавливается закономерная связь фтора с ураном. Эта закономерность выходит за рамки региональной и может рассматриваться как геохимическая особенность определенной рудной формации. Фтор выступает здесь как ведущий экстрактор и транспортер урана.

2. Главным минералом - носителем фтора в минеральной ассоциации месторождений является флюорит, выделяющийся в определенной последовательности, всегда однотипной: ранняя генерация смолки - флюорит- смолка основной рудной стадии - флюорит. Присутствие фтора в повышенных концентрациях установлено также в апатите, гидрослюдах, хлорите, сфене и др. минералах. Отмечается тенденция к накоплению фтора в минералах гидротермально-измененных пород. Определены уровни концентрации фтора в различных минералах месторождений.

3. Установлено существование минералого-геохимической зональности, четко проявленной в вертикальном разрезе месторождений и менее отчетливой в горизонтальном, выражающейся в предпочтительном развитии ореолов рассеяния фтора в верхней и надрудной частях месторождений. Геометрические параметры ореолов рассеяния фтора превосходят ореолы урана на поверхности в

в 2-6 раз. Концентрация фтора в ореолах над скрытыми и слабопроявленными рудными телами составляет сотые, десятые до целых процентов, что позволяет для их определения использовать экспрессный полевой нейтронно-активационный метод.

4. Выполнены эксперименты по определению устойчивости фторсодержащих минералов месторождений в средах, близких к природным с различными классами водной миграции. Относительная устойчивость флюорита при формировании кор выветривания месторождений и способность фтора быстро фиксироваться в породах при наличии определенной концентрации осадителей (кальция) позволяет использовать фтор как устойчивый признак рудных аномалий при поисках слабопроявленных месторождений определенной рудной формации.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ УРАНА В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Н.А.Перец, Л.А.Березина

Значительная часть гидротермальных изменений на уран-молибденовых проявлениях происходит в дорудные и пострудные стадии, следовательно, в многостадийном постмагматическом процессе разные стадии играют неодинаковую роль в развитии оруденения. Установлено, что гидротермальный процесс на рудопроявлении проходил в несколько (5) последовательных стадий на фоне снижения температуры и изменения кислотности-щелочности растворов. Три стадии (дорудная: альбит-эпидот-хлоритовая; предрудная: пирит-серицит-кварцевая, и околорудная: пирит-хлорит-карбонатная) предшествуют оруденению. Последняя пострудная стадия (кварц-хлорит-карбонатная) завершает гидротермальный процесс.

Содержание и характер распределения урана в породах субстрата, подвергшихся воздействию различных стадий гидротермального процесса, и новообразованных минералах показывают, что поступление и отложение урана происходило не во все стадии и не в одинаковых количествах.

Изучение и анализ характера распределения и содержания урана в породах и минералах постмагматического процесса позволили выявить некоторые закономерности поведения урана, относительное время его поступления и факторы, способствовавшие

рудообразованию.

Отмечается четкая направленность в изменении содержания урана, заключающаяся в постепенном его увеличении от ранних стадий к рудной, а затем резкое уменьшение в пострудную стадию. Неизмененные рудовмещающие вулканогенные породы как кислого, так и среднего и основного состава характеризуются крайне неравномерным распределением и низким содержанием урана, основное количество которого приходится на мелкозернистую основную массу породы, где он сосредоточен, главным образом, в акцессорных минералах (циркон, монацит).

Характер распределения и содержание урана в породах, преобразованных ранней дорудной стадией, и новообразованных минералах свидетельствуют об отсутствии привноса урана в это время. Наоборот, наблюдается незначительный вынос его, по-видимому, за счет замещения биотита и роговой обманки минералами (карбонат, хлорит) с меньшей изоморфной емкостью. Уран по-прежнему сконцентрирован в акцессорных минералах.

В породах, измененных в предрудную стадию, содержание урана повышается, что указывает на незначительный привнос его растворами. Уран, помимо акцессорных минералов, устойчивых к процессам изменения, сконцентрирован в новообразованном минерале - лейкоксене.

Существенные изменения в распределении и концентрации урана проявляются в околорудную стадию. Образование околорудной минерализации сопровождается значительным привносом урана, основная масса которого распределяется по сети тонких извилистых секущих прожилков, где он концентрируется в карбонате II и хлорите II, особенно при развитии хлорита II по пириту.

В породах с минерализацией пострудной стадии содержание урана вновь резко снижается. Новообразованные минералы: кварц, карбонат III, хлорит III урана практически не содержат. По-видимому, пострудные низкотемпературные растворы не содержали урана. Таким образом, привнос урана и отложение его из растворов происходили, главным образом, в околорудную и рудную стадии гидротермального процесса.

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что определяющими факторами отложения урана явились относительно высокое содержание его в гидротермальном растворе околорудной и рудной стадий и изменение щелочности раствора.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ УРАНА В ГИПЕРГЕННЫХ УСЛОВИЯХ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД

Н.А.Перец, И.В.Сычев, А.Е.Халдей

При изучении процессов рудоотложения и минералого-геохимической зональности недооценивается роль гипергенных процессов, которые в период существования рудопроявления, в конкретных геолого-структурных обстановках, преобразуют в различной мере первичный облик минерализации и тем самым существенным образом влияют на ее сохранность.

На основании исследований, проведенных на ряде рудопроявлений уран-молибденовой формации, связанных с кислыми вулканогенными породами D, P и J возрастов, включавших наряду с минералого-геохимическим изучением рудных и околорудных образований, методы определения изотопного состава свинца и урана, обычные и осколковые радиографии, а также различные высокоточные физико-химические определения содержаний в пробах урана, тория, свинца и других элементов, установлено:

1. Геолого-структурные особенности рудопроявления предопределяют широкое развитие гипергенных процессов, влияющих на перераспределение урана, преимущественно в направлении падения рудовмещающих структур.

2. Развиваются два генетических типа проявления минерализации, различающиеся структурными и морфологическими признаками, парагенезисом минералов, формой концентрации урана, набором элементов-примесей, характером измененных рудовмещающих пород и изотопными соотношениями свинца и радиоактивных элементов: урана-238, урана-234, радия, тория-230.

3. Вторичные концентрации урана формируются при его восстановлении на участках развития сульфидов, а также за счет сорбции тонкодисперсными гидроокислами железа и каолинитом.

Выявленные закономерности позволили авторам заключить, что на изученных рудопроявлениях урановые концентрации были сформированы не только в результате гидротермального процесса, но и при гипергенных преобразованиях.

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ И УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ ИЗ ГРУППЫ СИЛИКАТА ТОРИЯ

С.Л.Туровский

I. Силикат - наиболее распространенная минеральная форма среди природных соединений тория. Генетические условия его образования весьма разнообразны: от магматических (ранние акцессории в изверженных породах) до низкотемпературных гидротермальных (магматогенных и метаморфогенных) и даже поверхностных холодноводных.

2. Морфологические особенности, физические свойства и химический состав рассматриваемых минералов изменчивы и сложны - результат разнообразия условий образования и повышенной чувствительности минеральной формы к изменению физико-химической и термодинамической обстановки минералообразования.

3. Сложность химического состава обусловила многообразие минеральных разновидностей: торит, оранжит, ураноторит, ферриторит, макинтошит, николайит, кальциоторит, манганоторит, майтландит, пильбарит и др. Все они по сути дела однотипные соединения, в основе которых находится ортосиликат тория ($ThSiO_4$), осложненный разного рода добавками, состав и количество которых зависят от генетической природы минерала. Можно выделить два типа этих добавок. Первый связан с изоморфными примесями, замещающими или торий (U^{+4}, TR^{+4}, TR^{+3}, Ca^{+2}), или кремнекислородной тетраэдр (PO_4^{-3}, SO_4^{-2} и др.). Второй тип образует самостоятельные, хотя и неотъемлемые от минерала компоненты (Fe_2O_3, Mn_2O_3, Al_2O_3, TR_2O_3 и др.), присутствующие нередко в количествах, превышающих количество ортосиликата. Кроме этих основных компонентов, в состав рассматриваемых минералов всегда входит переменное количество воды и незначительная примесь Pb, Cu, As, Nb, Zr, K, Na, F и др.элементов. Форма их вхождения неясна, но во всяком случае это не изоморфная примесь.

4. Морфологические особенности минералов, их парагенезис свидетельствуют о том, что если не все разновидности, то подавляющее большинство из них, особенно послемагматического происхождения, представляют собой метаколлоидные и колломорфные образования. Коллоидальная природа этих соединений подтверждается и микроскопическими, рентгенометрическими, терми-

ческими, электронномикроскопическими и другими исследованиями.

5. Пересчет химических анализов позволяет сделать вывод, что минералы из рассматриваемой группы являются коллоидными образованиями, возникшими в результате совместной коагуляции отрицательно заряженных коллоидных частиц [(Th, U, TR, Ca) $Si(P,S)O(F,Cl,OH)_4$] и положительно заряженных частиц (Fe_2O_3, Mn_2O_3, Al_2O_3, TR_2O_3 и др.) при достижении между ними определенных количественных соотношений. Коагуляция сопровождалась широко развитыми явлениями адсорбции большинства компонентов, присутствовавших в минералообразующей системе. Таким образом, формула описываемых соединений в общем виде может быть представлена в следующем виде: $m[(Th,U,RE,Ca)Si(P,S)O(F,Cl,OH)_4] \cdot nFe_2O_3(Mn_2O_3,Al_2O_3, TR_2O_3,CaO, PbO...) \cdot pH_2O$. Изоморфная емкость катионной части силикатной компоненты достигает 25-30%. Среди изоморфных примесей доминирует уран и кальций, меньше редких земель. Отношение m:n варьирует от 0,5 до 3, наиболее распространено I-2, p равно I-2.

6. Более высокотемпературные представители (магматические, пневматолитовые) чище от примесей, состав их приближается к теоретической формуле ортосиликата. Это кристаллы, правда, метамиктно уже разложившиеся и изотропизированы. Чем ниже температура образования (гидротермальные), тем сложнее состав минерала и тем отчетливее проявлена коллоидная природа. Это неправильные метаколлоидные и колломорфные, рентгеновски изотропные выделения.

О ПОВЕДЕНИИ ТОРИЯ В УРАНОВОРУДНОМ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

А.А.Ашихмин, Б.С.Никонов

Тесная ассоциация тория и урана в магматических и пневматолитовых процессах известна с работ В.И.Вернадского и А.Е.Ферсмана. В гидротермальных процессах, связанных с щелочным магматизмом, торий и уран концентрируются раздельно (Щербина, 1967; Невский, Гинзбург, 1972). Сведения о тории в урановорудных гидротермальных образованиях, связанных с гранитами, крайне ограничены. Торий в подавляющем большинстве известных урановых месторождений практически отсутствует. Рассматриваемое проявление урана в центральной части допалеозойского срединного мас-

сива, пространственно и парагенетически связано с наиболее молодыми лейкократовыми биотитовыми гранитами. Постмагматическая деятельность, приводящая к образованию урановых руд, началась с пневматолитовых стадий. Оруденению предшествует ранний щелочной метасоматоз (микроклинизация, слабая альбитизация), грейзенизация и интенсивный поздний натриевый метасоматоз. Вслед за урановым оруденением формировались зоны микропрожилков гидрослюд и кальцитовые прожилки, с кварцем, флюоритом и хлоритом. Оруденение близко по времени к позднему натриевому метасоматозу. Минералы продуктивной стадии группируются в три последовательно формировавшиеся парагенетические ассоциации: I - кварц-фторапатитовую, 2 - ненадкевит (назван условно: тонкая смесь 4-х фаз - кубической (окислы урана), тетрагональной (коффинит), моноклинной (?) и аморфной (кремнезем), соответствующая ненадкевиту по морфологии кристаллов, химическому составу и оптическим свойствам)- хлоритовую с анатазом, сфеном и рутилом и 3 - циртолит-ферриторитовую с сульфидами. Первые две ассоциации постоянно сопутствуют друг другу, третья - характерна преимущественно для богатых руд. Повышенные содержания тория и урана отмечаются уже на ранних стадиях постмагматической деятельности, а максимальные их концентрации в рудную стадию. Пострудное минералообразование приводит лишь к перераспределению урана. Величина отношения тория к урану в процессе понижается от 3-6 в ранних щелочных метасоматитах и 0,8-I,2 в грейзенизированных породах до 0,03-0,2 в стадию позднего натриевого метасоматоза и при формировании уранового оруденения. Поведение тория и урана на ранних стадиях соответствует известным закономерностям. Они концентрируются совместно, входя в состав акцессорных и породообразующих минералов. При грейзенизации, согласно Е.В.Плющеву и др. (I972), наряду с незначительным привносом тория и урана, отмечается их переход в подвижные формы и образование торийсодержащего уранинита и торита. В поздних натриевых метасоматитах (альбититах) торий и уран локализуются, по-видимому, в браннерите и циртолите. В рудную стадию их максимальные концентрации фиксируются раздельно, с образованием собственных минералов. Сначала накапливается уран, а затем торий. В I-ой ассоциации устанавливается только уран в виде примеси в фторапатите. Во 2-ой - он достигает максимальной концентрации, образуя ненадкевит и примеси

в титановых минералах. Иногда в ненадкевите отмечается торий. В 3-ей парагенетической ассоциации происходит максимальное накопление тория с образованием ферриторита, а уран (в ферриторите и циртолите) имеет резко подчиненное значение. Между содержаниями тория, урана и фосфора в богатых рудах устанавливается тесная прямая корреляционная связь, в рядовых и бедных рудах корреляционные связи слабее. В рудах присутствуют редкие земли, преимущественно цериевой группы. Ассоциация тория, урана, циркония, фосфора и фтора позволяет предполагать их совместный перенос в растворах богатых фосфат- и фтор-ионами при незначительной роли углекислоты. Отсутствие контроля уранового оруденения минералами восстановителями свидетельствует также о нахождении урана в растворах, скорее всего, в четырехвалентной форме. Образование силикатов тория и урана происходило в результате повышения щелочности растворов при их взаимодействии с вмещающими породами. Устойчивость комплексных соединений тория в более щелочных условиях объясняет отложение его после урана (Кроль, 1961).

УРАН КАК ИНДИКАТОР УЧАСТИЯ ОСАДОЧНО-МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА РУДНОГО ВЕЩЕСТВА

Н.П.Ермолаев

Проблема источника рудного вещества в гидротермальном процессе в настоящее время приобретает не только теоретическую важность, но и большое практическое значение. Своевременное выделение рудогенерирующего комплекса пород позволяет ориентировать разведочные работы.

Анализ поведения рассеянного урана при метаморфизме осадочных пород показывает, что на регрессивном этапе этого процесса, то-есть когда система становится открытой, поступающие в осадки или фильтрующиеся через них растворы приводят к перераспределению урана. Его концентрации в таких породах могут как возрастать, так и снижаться. При этом, непременно возрастает величина дисперсии концентраций урана.

Воздействие гидротермальных растворов на толщу, сквозь которую эти растворы фильтруются, фиксируется в виде продуктов щелочного метасоматоза, гидролиза алюмосиликатов и появления

карбонатов. Этот комплекс изменений позволяет предполагать, что средой миграции урана являлись щелочные силикатные и субнейтральные карбонатные растворы. Последние как переносчик урана наиболее вероятны и хорошо изучены.

Фильтрация силикатных и, особенно, карбонатных растворов, способных переносить рудное вещество, сопровождается десорбцией урана или переходом последнего в миграционную форму при растворении минерала-носителя. В условиях иной физико-химической обстановки уран в процессах ад- и абсорбции на гидроалюмосиликатах, гидроокислах железа, органическом веществе, а также при образовании новых минеральных фаз, включая собственно урановые минералы, будет связываться, образуя перераспределенные концентрации.

Процессы перераспределения и мобилизации рассеянного урана достигают значительных масштабов, если осадочно-метаморфические толщи в эпоху активизации гидротермальной деятельности были нарушены протяженными нарушениями: системами подвижек, зонами повышенной микротрещиноватости, кливажа и т.д. Такие толщи имеют наиболее высокие значения коэффициентов вариации концентраций урана (отношения среднего квадратичного отклонения к среднему арифметическому), отличающиеся от аналогичных характеристик в сопредельных районах на полпорядка и более.

Так, в осложненных протяженными продольными нарушениями углеродисто-кремнистых и глинисто-слюдистых сланцах силура-нижнего девона при колебании среднефоновых концентраций урана (для разных участков) от 6 до 10.10^{-4}% коэффициент вариации составляет 100-125%. В перекрывающих эту формацию серых и черных глинистых сланцах среднего-верхнего девона $\hat{V}$ = 25%, тогда как среднефоновая концентрация урана ($4,5.10^{-4}$%) ниже силурийской лишь в 1,5-2 раза. В подстилающих геосинклинальных песчано-сланцевых образованиях ордовика среднефоновая концентрация урана снижается до $2,5.10^{-4}$%, а коэффициент вариации до 20%.

Аналогично ведут себя некоторые другие микроэлементы, участвующие вместе с ураном в гидротермальном процессе. Например, индикаторные концентрации молибдена, ванадия и др. в силурийской толще характеризуются несколькими (тремя-четырьмя) законами распределения, тогда как в перекрывающих и подстилающих осадках - одним, редко двумя законами.

Именно в силурийско-нижнедевонской формации региона приуро-

чены наиболее значительные проявления не только осадочно-метаморфогенных, но и жильных гидротермальных руд. Блоки осадочно-метаморфических пород, выдержанных по характеру залегания, но тектонически ослабленных, с высокими и контрастно отличающимися от окружающих толщ значениями дисперсий концентраций урана (большими величинами коэффициентов вариации) могут рассматриваться как реальный источник рудного вещества.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПОРОД КАК УСЛОВИЕ МОБИЛИЗАЦИИ УРАНА В НАЛОЖЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Э.М.Пинский, А.А.Смыслов, В.К.Титов, И.Б.Савинова

Важнейшим критерием геохимической специализации, кроме среднего содержания урана, является форма существования элемента в горных породах. Под геохимической специализацией понимается такое распределение элемента в породе, которое обеспечивает существование значительной его доли в миграционно-способном состоянии, способном легко вовлекаться в последующие процессы перераспределения. Методом выявления радиогеохимически специализированных образований помимо минералогических и радиографических (осколкография, ядерные эмульсии) исследований является изучение статистических параметров распределения и корреляционных связей с другими элементами (многократная корреляция, факторный анализ и т.п.).

При оценке роли различных геологических процессов в формировании специализированных комплексов чрезвычайно важным является выяснение возможностей последующей концентрации урана для каждого конкретного процесса. При прочих равных условиях степень концентрации в геохимических системах будет тем выше, чем активнее реализованы внешние факторы миграции и интенсивнее проявлены эпигенетические (наложенные) процессы. Однако один и тот же наложенный процесс в одних случаях может приводить к значительным концентрациям урана, а в других - не сопровождаться существенным перераспределением элемента. Например, специальные исследования калишпатизированных разностей в слабо радиоактивных массивах кыккудукского (Северный Казахстан), тоннуольского (Тува), ольховского (Восточный Саян), саракокшинского (Горный Алтай), подольского (Украина), сутамского (Алдан) комплексов свидетельствуют об относительно сла-

бой миграции урана в ходе щелочного метасоматоза в породах с низким содержанием миграционно способных форм. Подобные факты позволяют предполагать, что щелочные растворы не во всех случаях изначально урановосны, а обогащались элементом в ходе самого гидротермального процесса преобразования пород.

Решающее значение в обогащении ураном продуктов гидротермального метаморфизма имеет степень подготовленности субстрата - наличие в породе межзерновых скоплений урана, сорбционных форм, высокорадиоактивных акцессориев, собственных урановых минералов. Количественная оценка таких форм в общем балансе урана в породе позволяет установить уровни геохимической специализации и увязать их с последующей миграцией металла в ходе всей истории существования и преобразования геологических формаций.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА И ТОРИЯ В ХОДЕ МНОГОСТАДИЙНОГО РУДОКОНЦЕНТРИРУЮЩЕГО ПРОЦЕССА

В.В.Шатов

I. Редкоземельно-полиметаллическое месторождение пространственно тяготеет к сложнопостроенному куполовидному штоку гранофиров. Гранофиры контролируются гребневидным поднятием массива позднегерцинских субщелочных лейкократовых гранитов. Руды месторождения отличаются сложным набором полезных компонентов. Наряду с такими элементами, как Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Sn , в них присутствуют - TR, Th, U, Zr, Nb, Be.

2. Установлено проявление нескольких закономерно сменяющих друг друга во времени стадий единого гидротермально-метасоматического процесса. Среди них в порядке смены во времени выделяются: а) ранние высокотемпературные калишпатизация и альбитизация; б) высокотемпературный кислотный метасоматоз-грейзенизация (кварц-мусковит-серицитовая ассоциация); в) поздняя альбитизация и калишпатизация, являющиеся щелочными фациями грейзенов и представленные альбититовыми, биотит-ортоклазовыми, кварц-микроклиновыми рудоносными прожилками и метасоматитами; г) субщелочной метасоматоз или пропилитизация (альбит-эпидот-хлорит-карбонатная ассоциация); д) низко- среднетемпературный кислотный метасоматоз-березитизация (пирит-гидрослюда-серицит-хлорит-кварцевые метасоматические образования).

3. Особенностью данного гидротермально-метасоматического процесса является активное участие урана и особенно тория на всех ступенях его эволюции. На начальных высокотемпературных стадиях (ранней калишпатизации и альбитизации), а также на конечных этапах развития процесса грейзенизации (поздняя альбитизация и калишпатизация) характерны совместная миграция и максимальная концентрация тория и частично урана. При этом образуются как собственно ториевые и урано-ториевые минералы (торит, уранносодержащий ферриторит), так и сложные редкоземельно-ториевые уранносодержащие минералы (флюоцерит, циртолит, монацит, ксенотим). На конечных средне-низкотемпературных стадиях (березитизация) происходит разделение радиоактивных элементов. Торий концентрируется преимущественно в малаконе, иттрофлюорите, карбонатах и фтор-карбонатах редких земель, а уран в виде собственного минерала - урановой смолки в ассоциации с молибденитом, галенитом, халькопиритом, пиритом и другими сульфидами.

4. Таким образом, на начальных высокотемпературных стадиях у радиоактивных элементов проявляется общность геохимической истории с целым рядом элементов с ярко проявленными литофильными свойствами (Zr, Nb, Be, F, Rb, K, TR_{Ce}). Возможно этому способствовало единство путей их миграции и концентрации, а также однотипные формы переноса в виде галоидных, вероятно, фторсодержащих комплексных соединений щелочных металлов. На конечных средне- низкотемпературных стадиях наблюдается смена спектра сопутствующих урану и торию полезных компонентов. Среди последних, наряду с характерными для ранних этапов цирконием, фтором и редкоземельными элементами иттриевой группы, начинают преобладать элементы халькофильной группы (Pb, Zn, Bi, Cu, Mo, Ag). Такая необычная ассоциация элементов, даже с учетом некоторой мобилизации Th, Zr, TR гидротермальными растворами из продуктов предыдущих стадий, должна предполагать миграцию элементов в условиях существования сравнительно низкотемпературных, слабощелочных, богатых углекислотой и фтором гидротермальных растворов. Перенос при этом, вероятно, осуществлялся в виде карбонатных и фтор-карбонатных комплексных соединений, распадающихся в зонах подземного вскипания растворов на термодинамическом барьере (граница фаций пропилитизации и низкотемпературного кислотного метасоматоза-березитизации).

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РУДООБРАЗУЮЩЕГО ПРОЦЕССА КАК РЕГУЛЯТОР ОБРАЗОВАНИЯ РАЗНООБРАЗНЫХ УРАНСОДЕРЖАЩИХ АССОЦИАЦИЙ

Ю.В.Реутин, Г.А.Тарханова

Известно, что температурная характеристика процесса рудообразования является одним из важных параметров газово-жидких систем, причинно связанным с давлением и объемом камер. В отличие от двух последних параметров температурная характеристика процесса в настоящее время может быть измерена достаточно точно, что повышает значимость этого параметра.

Проведенные на ряде рудных проявлений термометрические исследования позволили установить зависимость между температурами кристаллизации минералов продуктивных стадий и составом урансодержащих минеральных ассоциаций и таким образом проследить эволюцию в поведении урана на фоне снижающейся температуры.

Минеральные урансодержащие ассоциации субмагматического типа характеризуются наличием парагенных минералов: кварца, полевого шпата, ортита, монацита, температура декрепитации которых лежит в пределах 800-500^{0}С. Распределение урана изоморфное в акцессорных минералах с Th и Ca - элементов, имеющих радиус иона, близкий к U^{+4}.

Минеральные урансодержащие ассоциации пневматолито-грейзенового типа, характеризующиеся наличием галоген- и гидроксилсодержащих минералов, топаза, апатита, турмалина, мусковита и др. имеют относительные температуры образования 500-350^{0}С. Помимо изоморфного вхождения урана в апатит, флюорит и биотит, этот элемент образует самостоятельный минерал уранинит, что свидетельствует о появлении U^{+6}.

Гидротермальные минеральные образования с различным содержанием урановых минералов характеризуются средними и низкими температурами образования - 350-80^{0}С. Показательно, что относительно высокотемпературные модификации урановых минералов представлены кристаллическими формами, близкими к уранините. На ряде объектов среднетемпературного генезиса значительная доля урана рассредотачивается в виде изоморфной примеси в темно-фиолетовых флюоритах, цирконах и торитах.

К среднетемпературной группе относятся и минеральные ассоциации с титанатами (браннерит) и силикатами (коффинит) урана,

в которых уран присутствует преимущественно в 4-х валентной форме. Для браннеритового типа также наблюдается рассеяние урана во флюоритах.

Широко проявленные в природе низкотемпературные урансодержащие минеральные ассоциации в большинстве случаев характеризуются значительным количеством карбоната и нередко сульфидов. Они содержат колломорфные разности смолки, иногда в различной степени гидратизированные.

Выделенные три типа минеральных ассоциаций заметно отличаются друг от друга по элементам-примесям. Высокотемпературные ассоциации характеризуются наличием: Th, Be, Sn, Zr, Ti, W .

Средне- и низкотемпературные ассоциации содержат преимущественно халькофильные элементы и примеси эксгаляционного привноса: Mo, Pb, Zn, Fe, Bi, As, Hg, Sb, Au и др.

В отдельных случаях было зарегистрировано пространственное совмещение разорванной во времени высоко- и низкотемпературной урановой минерализации, которым соответствовали присущие им минералого-геохимические особенности, что не нарушало общие представления о роли температуры.

Таким образом, с падением температуры кристаллизации урансодержащих минеральных ассоциаций наблюдается постепенная смена соединений с U^{+4} в минеральные образования с $(UO_2)^{+2}$, в связи с чем наблюдается сокращение доли изоморфно рассеяного урана и сосредоточение его преимущественно в самостоятельных минералах.

О ВОЗМОЖНОСТИ МИГРАЦИИ УРАНА С ОРГАНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ ОРОГЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Н.И.Комарова, Г.М.Шор, М.А.Божичко

Характерной особенностью гидрогеологических массивов орогенных областей является широкое развитие восстановительных сред - слабо и средне восстановительных, сильно восстановительных с биогенными и абиогенными восстановителями урана.

Формирование этих сред, по-видимому, следует связывать с азотными, углекислыми, водородными и метановыми струями, насыщающими инфильтрационные термальные воды в зонах тектонических нарушений.

Углеводороды, например, могут мигрировать в горноскладча-

тые сооружения из примыкающих к ним нефтегазоносных прогибов или впадин, заключающих угленосные отложения. Примечательна в этом отношении приуроченность термальных источников, содержащих в виде примеси сероводород, к краевым частям таких горноскладчатых массивов.

В термальных водах присутствует органическое вещество. Его содержание в азотных термах по данным исследований авторов составляет 2,4-3,1 мг/л. Концентрация урана в термальных водах этого типа изменяется от $1{,}0.10^{-7}$ г/л и менее до $n.10^{-4}$ г/л и обусловлена степенью смесимости терм с холодными водами зоны гипергенеза, наличием высококларковых, специализированных по урану формаций и уранового оруденения. Фоновые содержания урана в термальных водах не превышают $1\text{-}10.10^{-7}$ г/л.

Восстановительный характер терм и присутствие органического вещества позволяют предположить возможность миграции урана в них в виде уран-органических комплексов.

Водорастворимое органическое вещество извлекалось из термальных вод хлороформом при нейтральном pH. Содержание урана в термальных водах после извлечения из них органического вещества составляет 2.10^{-7} г/л при исходном содержании 7.10^{-7} г/л, а в хлороформенной вытяжке 5.10^{-7} г/л, что показывает наличие связи большей части урана с органическим веществом.

Экспериментальные исследования подтвердили возможность миграции урана в термах в виде уран-органических комплексов.

КОНЦЕНТРАЦИЯ И ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ УРАНА В СОСУЩЕСТВУЮЩИХ КАРБОНАТАХ

Л.П.Рихванов, П.Г.Падерин

Формирование жильных карбонатов (анкерит, доломит, кальцит) происходило из эволюционирующего хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатного раствора, характеризующегося резким преобладанием натрия над калием. Температура минералообразования по данным декрепитации газово-жидких включений колебалась от 170° до 310°С. Схема последовательности отложения карбонатов может быть представлена следующим образом: кальцит-доломит-анкерит-кальцит-доломит-анкерит-кальцит.

Средняя концентрация урана для кальцита составляет $3{,}3.10^{-4}$% (80 анализов), для доломита - $0{,}68.10^{-4}$% (13 ана-

лизов), анкерита - $0{,}52.10^{-4}$% (ЗI анализ). При этом карбонаты, отложившиеся в раннюю стадию, характеризуются меньшими в 2-30 раз содержаниями урана, чем их более поздние разновидности. Исследования показали, что концентрация урана в жильных карбонатах находится в прямой зависимости от содержания элемента во вмещающих породах. Между температурой формирования минералов и содержанием радиоактивного элемента зависимость не устанавливается.

Изучение форм нахождения урана производилось методом треков деления. Полученный материал свидетельствует о том, что радиоэлемент в карбонатах находится как в форме молекулярного рассеяния, так и в виде субмикроскопических включений собственных минералов. При этом устанавливается, что в процессе формирования гидротермальной минерализации происходит изменение форм нахождения урана. В дорудных карбонатах практически весь уран находится в форме молекулярного рассеяния. В карбонатах, формировавшихся в рудную стадию, уран находится как в виде микровключаний собственных минералов, так и в форме молекулярного рассеяния. При этом,чем более интенсивно шло рудоотложение, тем большая часть урана в кальците находится в форме микровключений собственных минералов.

Таким образом устанавливается, что максимальное накопление урана наблюдается в кальците, отлагающемся в щелочную стадию эволюционирующего гидротермального раствора. Температура минералообразования не является основным термодинамическим фактором, контролирующим концентрацию урана в данных условиях. Форма нахождения урана определяется физико-химическими параметрами и меняется во времени. Часть урана,находящегося в жильных карбонатах, по-видимому, заимствована из вмещающих пород.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БРАННЕРИТОВ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПОСТРУДНЫХ ПРОЦЕССАХ (ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)

В.М.Полякова, А.К.Мигута, К.Г.Королев

I. В ряду сложных метамиктных титанов урана, объединяемых под названием браннерит, существуют две основные разновидности, образующие в природе заметные концентрации. К первой разновидности относится минерал с удельным весом порядка 5,4-6,0,

содержащий в виде примесей значительные количества тория и редких земель, встречающийся обычно в виде вкрапленных призматических кристаллов в гранитоидах, пегматитах, гидротермальных кварцевых и кварц-полевошпатовых жилах и, судя по минеральным парагенезисам, формировавшийся в высокотемпературных условиях. Вторая разновидность минерала, установленная только в последние годы (Готман, Полякова, Мигута, 1968, 1971), имеет удельный вес около 4,3, практически не концентрирует тория и редких земель, содержит воду и наблюдается в виде сплошных масс, переходящих в мелкозернистые агрегаты. Эта разновидность минерала связана со среднетемпературными полевошпатовыми метасоматитами, развивающимися в зонах долгоживущих разломов фундамента, причем метасоматические преобразования в зонах предшествуют формированию водосодержащего браннерита.

2. Высокотемпературная разновидность браннерита является достаточно устойчивой к воздействию наложенных процессов. При изменении пород она покрывается защитной пленкой окислов, а при разрушении месторождений способна накапливаться в россыпях.

3. Водосодержащая разновидность минерала неустойчива. Под воздействием наложенных процессов она испытывает сложные преобразования, приводящие к тому, что природные скопления минерала, как правило, представлены продуктами его изменений, содержащими браннерит лишь в виде реликтов.

4. Установлено, что в изменении водосодержащего браннерита значительную роль играют гипогенные процессы. Так, в ходе внутрирудного карбонатного метасоматоза происходит разложение минерала с образованием аморфной двуокиси титана. Большая часть урана при этом выщелачивается и частично переоткладывается в виде коффинита. Кремниевый метасоматоз (окварцевание) приводит к коррозии, замещению браннерита кварцем и переотложению этого минерала. Постбраннеритовый натриевый метасоматоз (фенитизация) вызывает разложение браннерита с выносом урана и образованием анатаза или сфена. При термическом метаморфизме, обусловленном внедрением поздних магматических масс, происходит распад минерала на анатаз и уранинит.

5. Гипергенные изменения водосодержащего браннерита приводят к образованию смесей гидроокислов, окислению и выщелачиванию урана.

6. Экспериментальными исследованиями с использованием авто-

клавной техники установлено, что браннерит можно синтезировать только в условиях, обеспечивающих устойчивость четырехвалентных урана и титана в растворе и осадке. В гидротермальных растворах водосодержащий браннерит синтезирован на границе устойчивости смесей гидроокислов титана (IУ) и урана (IУ) с безводным UTi_2O_6. Он представляет собой, вероятно, метаколлоид. Этим объясняется неустойчивость минерала. Безводный UTi_2O_6 в виде кристаллов длиной до I мм - аналог первой разновидности природного браннерита - синтезирован в слабокислых гидротермальных средах. Искусственный UTi_2O_6 обладает чрезвычайно высокой кислотоупорностью (не растворяется в горячих концентрированных HF и H_2SO_4).

7. Водосодержащий браннерит и тонкоизмельченный кристаллический UTi_2O_6 неустойчивы при нагревании в стальных реакторах в водных слабощелочных и щелочных средах и нейтральных рассолах. При температурах выше 300^0C структура браннерита полностью разрушается. Происходит образование окислов, а при наличии в растворе кальция и кремния - сфена вместо анатаза. При этом с повышением щелочности растворов увеличивается вынос урана из твердых фаз. Указанные реакции наглядно объясняют превращения минерала в природе при процессах карбонатизации, фенитизации и термического метаморфизма. Переотложение минерала в виде браннерита в процессах кремниевого метамоматоза, очевидно, происходило в более кислых средах.

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТИТАНАТОВ УРАНА НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ

Н.А.Кулик

Существование геохимической связи урана с титаном проявляется в широком диапазоне условий образования титанатов урана, все чаще фиксируемых при изучении рудных ассоциаций, связанных с различными геологическими процессами, и в концентрации урана титансодержащими минералами без образования собственно титан-урановой минеральной формы.

Вместе с тем, широкое распространение титанатов позволило установить повсеместно как характерную черту их изменение, началом которого является метамиктизация. Находки неметамиктных титанатов урана крайне редки, в большинстве же случаев метамиктизация сопровождается более далеко зашедшим изменением

часто с полным разрушением первоначальной структуры титаната урана и образованием на ее месте новых структур минералов продуктов распада. Степень сходства этих новообразованных структур со структурой исходного минерала очень различна, перекристаллизация новых минералов завершает разрушение исходного титаната урана, который становится лишь промежуточной ступенью в процессе минералообразования, играющей, однако, важную роль в первичной концентрации или рассеянии урана.

Неустойчивость титанатов урана заложена в самой структурно-химической природе этих минералов и определяется прежде всего химическими свойствами титана - амфотера с очень слабыми кислотными свойствами, дающего соединения типа мета- и ортосолей со слабыми структурными связями, которые легко могут быть нарушены под радиоактивным воздействием урана, а также широким проявлением изоморфизма. Вместе с тем, существует, по-видимому, ряд генетических факторов, способствующих реализации этой неустойчивости и разложению титанатов, либо же препятствующих ей. На примерах титанатов урана из различных парагенезисов рассматривается зависимость измененности этих минералов от условий и способа образования и характера воздействий в дальнейшей истории их существования. Наименьшее изменение определяется условиями свободного роста минерала при образовании, спокойным температурным и тектоническим режимом, слабым наложением более поздних процессов.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСЛОВ УРАНА ПО СИЛИКАТНЫМ ФАЗАМ

Ю.М.Дымков, Е.Г.Павлов

Минералогически и под электронным микроскопом установлено:

а) в настуранах обычна примесь мельчайших зерен коффинита и, наоборот, примесь тонких зерен окислов урана характерна для многих образцов коффинита;

б) для коффинита характерна текстура сферокристаллической раскристаллизации метамиктного вещества, независимо от того, сохранил или не сохранил минерал рентгеновскую дифракционную картину тетрагонального ортосиликата урана.

Обнаруженные в разложившемся коффините рентгенографически и путем электронной микродифракции кубические окислы с низким параметром решетки (5,37-5,39 Å) образуются при метамиктном

распаде $USiO_4 \rightarrow UO_{2+x} + SiO_2$ и характеризуются равномерным распределением в псевдоморфозах по коффиниту. Увеличение размеров (и параметров решетки) таких центров роста и нарушение равномерности распределения свидетельствует о воздействии на псевдоморфозу гидротермальных растворов. Окислы с высоким параметром решетки (5,42-5,44 Å) образуются одновременно с коффинитом или за счет замещения (восстановления) коффинита, а также могут быть "вуалевыми" реликтами настурана при замещении $UO_{2+x} \leftarrow USiO_4$. Такие окислы урана развиваются в кристаллах коффинита по кристаллографическим направлениям или сохраняют очертания замещенных сферокристаллов настурана. Установлено, что окислы урана с примитивной кубической ячейкой не являются специфической особенностью разложившегося коффинита, так как такие же окислы обнаружены в настуранах.

Наличие в коффините и в его псевдоморфозах включений UO_{2+x}, играющих роль затравок, так же как переход коффинита в метамиктное состояние облегчает возможность последующего замещения его окислами урана или растворения и выноса урана с образованием окислов в другом месте.

В связи с существованием разрывов во времени между стадиями минерализации метамиктность становится важным фактором снижения устойчивости минералов в гидротермальном процессе. В этом плане ожидается, что коффинит будет первой ступенью образования минералов урана в силикатных породах, переходя впоследствии в разряд минералов-призраков.

УРАН И ТОРИЙ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ И СВЯЗАННОГО С НИМИ ОРУДЕНЕНИЯ

Е.В.Плющев, В.Н.Копылов

Выделено два типа вторичных кварцитов по положению в региональной гидротермально-метасоматической зональности.

I-й тип от центра к периферии характеризуется следующей последовательностью новообразованных минеральных парагенезисов: кварц с подчиненным серицитом ⟶ кварц + серицит ⟶ эпидот + актинолит (хлорит). Для II-го типа в том же направлении последовательность минеральных парагенезисов имеет вид: кварц с подчиненным серицитом ⟶ кварц + серицит ⟶ калишпат + альбит + кварц + (хлорит, карбонат), Внутренние зоны обоих типов, в

целом сходные, различаются по характерным сопутствующим минералам. Во внутренних зонах I-го типа - это андалузит, реже корунд, диаспор, обычен мусковит. Во внутренних зонах II-го типа встречаются алунит и пластинчатый каолинит.

Вторичные кварциты I-го типа отличаются весьма низкой концентраций радиоактивных элементов и в ряде случаев сопровождаются медно-молибденовым оруденением. При этом в ходе рудоконцентрирующего процесса заметных накоплений урана и тория не установлено даже в обычных концентраторах урана (пирит). Метасоматиты внешних зон также характеризуются пониженными содержаниями урана ($I-2.10^{-4}\%$) и тория ($< I.10^{-3}\%$).

Вторичные кварциты II-го типа в целом не выделяются повышенной радиоактивностью, но часто содержат локальные скопления урана и тория. Более радиоактивны внешние зоны: кварцево-серицитовая и альбито-калишпатовая, содержание урана в которых достигает в среднем $4-5.10^{-4}\%$ и более. Локальные концентрации тория во вторичных кварцитах II-го типа достигают десятых долей процента. Кроме того здесь встречаются рудные скопления полиметаллов, сурьмы, серебра и золота. При этом в сульфидах обнаруживаются повышения концентрации урана и тория.

Геологические условия формирования вторичных кварцитов I-го и II-го типов различны, что может быть использовано для выяснения условий миграции радиоактивных элементов в гидротермальном процессе определенного термодинамического интервала.

МЕТАСОМАТИЗМ И УСЛОВИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Г.Х.Клиблей, В.И.Климов

Изученные месторождения относятся к убогосульфидному и малосульфидному типам (по Петровской). Они размещаются в метасоматически измененной пачке первично терригенных, частью углистых осадочных пород допалеозойского фундамента. Региональной метаморфизм этих осадочных пород не превышает низов фации зеленых сланцев. На убогосульфидном месторождении в связи с интрузиями гранитоидных пород развиты контактовые роговики различных температурных фаций: с пироксеном, андалузитом, кордиеритом, амфиболом, биотитом и так далее. На другом месторождении ин-

трузивные и, соответственно, роговиковые породы не встречены. На обоих месторождениях продуктивные метасоматические изменения околотрещинного класса - беризитизация и гидротермальная аргиллизация.

На месторождении убогосульфидного типа формация березитизированных пород представлена фациями гумбеитов и собственно березитов, а аргиллизация незначительна. На малосульфидном месторождении развиты собственно березитизированные породы и аргиллизиты.

Анализ распределения урана, тория, калия, натрия и изучение минерального состава метасоматитов показал следующее:

I. Березитизация - важнейший метасоматический процесс изменения пород, с которым связана миграция урана, тория, калия и концентрация их как в породообразующих, так и собственных минералах.

4. Березитизация в масштабе единичных тел сопровождается повышением отношения K/Na от 0,5-I,0 в исходных породах до 2-5 во флюидоподводящей зоне метасоматических колонок.

3. Березитизация в масштабе месторождений фиксируется наличием широких (I0-I50 м) и протяженных (I00-500 м) линейно вытянутых полос радиоактивных элементов, маркирующих продуктивные зоны золоторудной минерализации.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОБИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ U, Th, K В РУДНЫХ ПОЛЯХ НЕРАДИОАКТИВНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.М.Гофман, А.Г.Миронов

Были исследованы молибден-вольфрамовое и золоторудное месторождения. Измерения радиоактивных элементов (РЭ) осуществлялись гамма-спектрометрическим методом в лабораторных условиях и непосредственно в поле на передвижной гамма-спектрометрической станции. Результаты исследований приведены в таблице.

Для молибден-вольфрамового месторождения характерна резкая обособленность молибденового оруденения от вольфрамового. Молибденовая минерализация локализуется внутри массива гранит-порфиров, вольфрамовая - главным образом, в кварцевых диоритах и базальтоидах. Mo-W оруденение сформировалось в гипабиссальных условиях, при которых в среднетемпературную стадию проявилась пропилитизация в вулканогенных породах и кварцевых

Наименование пород, тип изменений		Средние содержания				Коэфф. концен.		
		U г/т	Th г/т	K%	Th/U	U	Th	K
Молибден-вольфрамовое месторождение								
Граниты, гранит-порф.	I0	7,8	24,I	5,I	3,I			
Грейзенизированные кв+мик+сер+пир	38	29,5	39	5,5	I,3	3,7	I,6	I,I
кв+мус+мик+флю	32	38	37	5,4	0,9	4,8	I,5	I,I
Кварцевые диориты	I2	I,3	2,2	I,I	I,7			
Пропилитизированные пл+эп+би+хл+пир	I2	I,7	I,I	3,6	0,6	I,4	0,5	3,2
Грейзенизированные ал+кв+би+фл+пир	I0	2,3	I,2	4,2	0,5	I,7	0,6	3,8
Базальтоиды	I6	0,5	I,5	0,4	3,0			
Пропилитизированные пл+би+хл+кв+пир	20	3,2	3,2	3,5	I,0	6,4	2,I	8,7
Золоторудное месторождение								
Гранодиориты	I6	3,3	I2,9	I,5	3,9			
Аргиллизированные ал+хл+монт+г/сл+пир +кар	30	3,4	I4,6	I,9	4,3	I,0	0,8	I,3
Адуляризированные и окварцованные кв+кпш+г/сл+рутил	II	3,6	5,6	2,3	I,6	I,I	0,4	I,5
Каолинизированные као+сер+кар+кв	I3	3,7	I2,2	2,2	3,3	I,I	0,9	I,4

диоритах, в средне-низкотемпературную стадию получила развитие грейзенизация всех пород в зонах околорудного изменения (Коржинский, I967). Установлено, что при грейзенизации гранитов, вмещающих Mo минерализацию, происходил рост содержаний U при слабом накоплении Th. Резко уменьшается Th/U отношение. Непосредственно в зонах кварц-мусковит-микроклиновых с флюоритом грейзенов, окаймляющих рудные тела, эта тенденция проявляется наиболее отчетливо. На вольфрамовом месторождении рудовмещающие толщи характеризуются повышенными содержаниями U и особенно K. При этом от пропилитизированных к грейзенизированным разностям отмечается увеличение их концентраций. Для тория наблюдается слабая тенденция к выносу в наиболее измененных кварцевых диоритах. Th/U отношение меньше единицы.

Околорудные изменения золоторудного эпитермального место-

рождений РЗ оказываются весьма подвижными. При этом для гипабиссального Мо- W месторождения более характерен привнос U , а для эпитермального золоторудного - перераспределение U и Th. с обогащением или обеднением этими элементами отдельных зон околорудных изменений.

ПОВЕДЕНИЕ УРАНА В ПРОЦЕССЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД ПО ДАННЫМ $\int$-РАДИОГРАФИИ

Л.С.Жигач

Изучалось среднетемпературное гидротермальное месторождение уран-молибденовой формации. Вмещающие породы: фельзит-порфиры и их брекчиевые лавы и дайки андезито-дацитов.

Детальными минералогическими работами на месторождении нами установлены четыре стадии минералообразования: I) кварц-карбонат-гидрослюдистая, 2) кварц-карбонат-сульфидная, 3) молибден-смолковая, 4) кварц-карбонат-диккитовая.

Используя методы $\int$-радиографии (детектор-лавсан, доза нейтронного потока - $3{,}6.10^{15}$ нейтр/см^2) и α-радиографии, проведено исследование поведения урана на всех стадиях гидротермального преобразования пород.

Кварц-карбонат-гидрослюдистая стадия - стадия раннего метасоматического преобразования пород. Для нее характерно развитие во вмещающих породах "лапчатого" кварца, гидрослюды, анкерита и вкрапленности пирита и сфена. Установлены зоны метасоматических изменений (от периферии к центру): глинисто-гидрослюдистая, кварц-карбонат-пиритовая в фельзит-порфирах и карбонат-гидрослюдистая с пиритом, хлорит-карбонатная со сфеном в андезито-дацитах. Содержание урана в измененных фельзит-порфирах достигает $3\text{-}7.10^{-4}$% (в неизмененных - 2.10^{-4}%), в андезито-дацитах 5.10^{-4}% (в неизмененных - $1{,}4\text{-}1{,}8.10^{-4}$%). В измененных породах уран концентрируется в гидрослюде и карбонате, которые развиты по полевому шпату, в неправильных метасоматических зернах пирита, в трещинках зерен циркона и в мелкозернистом пространстве основной массы породы.

Кварц-карбонат-сульфидная стадия представлена мелкими маломощными кварцевыми, кварц-карбонатными, карбонатными прожилками с незначительным количеством пирита, халькопирита, сфалерита. Ни на α-радиографиях, ни на $\int$-радиографиях прожилков

треков практически не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии привноса урана в эту стадию.

В молибден-смолковую стадию формируются основные рудные концентрации. Для нее характерна зависимость состава и текстуры руд от состава вмещающих пород. В брекчиевых лавах фельзит-порфиров образуются брекчиевые и прожилковые молибден-урановые руды с содержанием Мо десятые доли %, в андезито-дацитах - тонковкрапленные титан-урановые с содержанием Мо - тысячные доли %. Основные рудные минералы: настуран, титанаты урана, дисульфиды молибдена, пирит, сфалерит.

Четвертая стадия развита крайне незначительно в виде редких маломощных прожилков кварца, карбоната и диккита. Существенного привноса урана на этой стадии не наблюдается.

Изучение поведения урана в ходе гидротермального процесса с помощью метода γ -радиографии позволило установить, что отложение урана происходило не только в основную рудную стадию, но также при раннем метасоматическом преобразовании пород. Это может свидетельствовать о пульсационном характере рудоносных растворов.

Ш. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ КОНЦЕНТРАЦИИ УРАНА ФОСФАТАМИ КАЛЬЦИЯ И СЛОИСТЫМИ АЛЮМОСИЛИКАТАМИ

А.О.Пяллинг, В.М.Гавшин, Г.М.Гусев, Л.М.Кривопуцкая

В распределении урана между природными водами и твердым веществом земной коры некоторые минералы играют особенно важную роль. Так, фосфаты кальция и глинистые минералы в известной мере регулируют содержание урана в морской воде; гидрослюды аккумулируют уран в профиле коры выветривания; каолинит, гидрослюды и хлориты концентрируют уран в процессах катагенеза и гидротермального метаморфизма. Исключительная сложность природных физико-химических систем затрудняет непосредственное исследование условий и способов концентрации урана фосфатами кальция и слоистыми алюмосиликатами. Поэтому для экспериментальных моделей выбраны насколько возможно однородные твердые фазы известного состава - синтетический гидроксилапатит, вермикулитизированный флогопит и, как наиболее химически инертный материал - кварц. Исследовано распределение урана между твердыми фазами и раствором хлорида уранила в диапазоне концентраций урана от n $\times 10^{-5}$ г/л до n $\times 10^{-2}$ г/л. Получены изотермы поглощения урана гидроксилапатитом, слюдой и кварцем при температурах 20°С и 80°С; каждая изотерма построена по 12 точкам и обнаруживает линейную тенденцию, так что можно вычислить средние значения коэффициентов распределения урана между твердой и жидкой фазами.

Твердая фаза	Температура, С°	pH	Коэффициент распределения
Кварц, растертый в агат.ступке	20	7,5	6,0
-"- -"-	20	12,3	5,9
-"- -"-	80		10,0
Синтетический гидроксилапатит	20	7,4	62
-"- -"-	80		84
Вермикулитизир.флогопит, растертый в агатовой ступке	20	9,0	121
Вермикулитизир.флогопит, подвергнутый сверхтонкому измельчению	20		437

Вермикулитизир.флогопит, растерный в агатовой ступке	80		528
Вермикулитизир.флогопит, подвергнутый сверхтонкому измельчению	80		646

Найденные коэффициенты распределения позволяют наметить некоторые условия и способы концентрации урана фосфатами кальция и слоистыми алюмосиликатами.

1. Повышение pH раствора до 12,3 не изменяет распределения урана между раствором хлорида уранила и кварцем. Следовательно, вовлечение урана в твердую фазу не связано с гидролизом уранила, по крайней мере в области разбавленных растворов.

2. Повышение температуры раствора способствует обогащению твердых фаз ураном. В соответствии с принципом Ле-Шателье, отсюда можно заключить, что мы имеем дело с эндотермическим процессом и, следовательно, не с физической адсорбцией.

3. Переходу урана из раствора в твердую фазу способствует также сверхтонкое измельчение. В результате механохимической деструкции слюда становится почти рентгеноаморфной; в слабокислом растворе продолжается структурное и химическое разложение диспергированной слюды. При этом на поверхности твердых фаз оказываются координационно ненасыщенные атомы кислорода, что обеспечивает образование урано-кислородной химической связи. Таким образом, наиболее вероятным способом осаждения урана на слюде из разбавленных растворов является хемосорбция-образование поверхностного химического соединения.

4. При высокой концентрации хлорида уранила /1,5 г/л /, в некоторых случаях, в твердой фазе рентгенометрически устанавливается появление урановых минералов - гидроокислов и уранатов. Поскольку между хемосорбцией и химической реакцией обмена нет резкой границы, можно полагать, что в этих случаях выделяются в виде кристаллических фаз те же соединения, которые в равновесии с разбавленным раствором возникают в форме мономолекулярного поверхностного слоя. Подобным же образом, как показано М.И.Таранцовой, процесс, начинающийся хемосорбцией уранила на поверхности кристаллов гидроксилапатита, в конечном счете приводит к возникновению водородного отенита

/или фосфуранилита в эксперименте А.В.Коченова/.

5. Полученные экспериментальные модели свидетельствуют, что твердые вещества горных пород могут рассматриваться не только как среда рудоотложения, но еще и как активные сорбенты сложного состава, извлекающие уран из природных вод с невысокой его концентрацией.

РОЛЬ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА В ВЫПАДЕНИИ УРАНА ИЗ КАРБОНАТНЫХ РАСТВОРОВ

В.Б.Коваль, В.И.Николаенко

В последние годы большое внимание уделяется карбонатным комплексам уранила, как наиболее реальным формам переноса урана в эндогенных условиях.

Известно, что существует достаточно широкое поле устойчивости недиссоциированных молекул монокарбонатуранила $UO_2(CO_3)^0$, занимающих область нейтральных и слабокислых растворов. В щелочной среде в растворах должны преобладать ионы $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ и $UO_2(CO_3)_2^{4-}$. Нами проведены эксперименты с растворами, обогащенными углекислотой. Выбор флюида обусловлен тем, что потеря углекислоты рассматривается большинством исследователей в качестве основного фактора, приводящего к освобождению U^{6+} из комплексного соединения и осаждения его на породах и минералах, содержащих элементы восстановители при переходе в U^{4+}.

С целью выявления поисковых критериев контрастных урановых руд были проведены экспериментальные работы по выяснению влияния литологического состава пород на осаждение урана. Было исследовано пятнадцать разновидностей пород /гранитоиды и железисто-кремнистые сланцы/.

На основании проведенных определений химических составов раствора, измерения pH, радиографических исследований, определений приобретенной активности, микроскопических определений и рентгеноструктурного анализа сделаны следующие выводы:

1. По радиографиям почти во всех породах устанавливается две группы треков. Одна группа - густые, интенсивные скопления /жильного типа/, отвечают окислам и силикатам урана. Вторая группа - редкие, рассеянные треки, вероятно, возникшие за счет вхождения урана в качестве изоморфной примеси в минерал или диффузионного внедрения в поры породы.

2. По результатам исследования можно выделить перспективные группы пород по возрастающей активности.

1/ Для слабокислой среды: углистые сланцы с сульфидами - магнетитовые кварциты - магнетитовые руды - амфиболиты.

2/ Для щелочной среды с NaOH: подгруппа а/- магнетитовая руда - магнетитовый кварцит /ощелоченный/ - биотитовый гнейс - гранит- микроклинит; подгруппа б/- амфиболо-гранатовый сланец - амфиболит - графитовый гнейс - углистый сланец с сульфидами.

3. Для щелочной среды с Na_2CO_3: подгруппа а/- микроклинит-милонит - апогнейсовый альбитит - биотитовый гнейс - графитовый гнейс; подгруппа б/- магнетитовый кварцит /ощелоченный/, углистый сланец с сульфидами - амфиболо-гранатовый сланец - магнетитовая руда - амфиболит. Подгруппа "б" значительно превосходит по активности подгруппу "а".

Из анализа результатов исследования можно предположить возможность обнаружения контрастных руд в зонах развития амфиболитов, амфиболовых сланцев, углистых сланцев, магнетитовых кварцитов, подвергшихся щелочному метасоматозу, графитовых гнейсов или продуктах изменения вышеназванных пород. Развитие предлагаемых зон приурочено к тектоническим разломам, зонам интенсивного дробления и проявления процессов, позволяющих выделить резкие геохимические поля. По нашим данным рудопроявления могут быть кильного типа, связанные с циркуляцией среднетемпературных растворов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОСАЖДЕНИЯ УРАНА В ПРОЦЕССЕ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ

С.Д.Расулова, А.В.Коченов

1. Обычно рассматриваются два основных процессах, ведущих к осаждению урана в экзогенных условиях: выпадение труднорастворимых соединений и поглощение урана твердой фазой /сорбция/.

Опыты по химическому осаждению труднорастворимых соединений урана из чистых водных растворов показывают, что остаточные его концентрации /над осадком/ превышают 2.10^{-5} г/л. Это имеет место также и в восстановительных по урану условиях среды, задаваемых сероводородом, при осаждении наиболее труднорастворимых его соединений - окислов $U^{1У}$. При этом наблю-

дается несоответствие между теоретической растворимостью урана и определяемой равновесной концентрацией.

2. Полнота извлечения урана из раствора и скорость этого процесса скачкообразно возрастают в присутствии твердой фазы с большой удельной поверхностью (торф, глины, фосфориты, гидроокислы железа и т.п.). При введении твердой фазы остаточная концентрация урана в растворе снижается до $I-2.I0^{-6}$ г/л. (Обязательным условием является слабокислая среда (pH 5-7)).

3. В динамических условиях опыта, при фильтрации разбавленного раствора через колонку с сорбентом, в интервале значений pH от 5 до 7, происходит столь же полное извлечение урана независимо от характера сорбента. Из всех типов изучавшихся природных сорбентов только на гумусовых веществах и фосфатах кальция процесс накопления урана не зависит от концентрации исходного раствора и происходит необратимо. Специфика этих сорбентов, по-видимому, обусловлена химическим характером взаимодействия с ураном. Коэффициент распределения урана между твердой фазой и раствором в этом случае не является постоянным, как это следовало из статических опытов А.Салаи, но непрерывно возрастает по мере накопления урана в осадке.

В восстановительной (сероводородной) слабо-кислой среде в присутствии сорбента уран осаждается почти полностью - до аналитического нуля; причем состав сорбента в этом случае существенной роли не играет. Здесь мы вероятно имеем дело с сочетанием сорбции и окислительно-восстановительного процесса. Сорбционное сгущение урана в пленочной воде на контакте с твердой фазой должно повышать Eh восстановления, расширяя тем самым возможность выпадения его минеральной (окисной) формы, что наблюдается в опытах и при изучении природных объектов. Это обстоятельство, трудно учитываемое теоретическими расчетами, играет существенную роль в экзогенных процессах осаждения урана.

5. Исходя из экспериментальных данных в накоплении урана в осадках можно условно выделить две фазы: а) сорбционное извлечение урана из разбавленного раствора (фиксация), и б) восстановление с образованием свободной окисной формы. При последующем (постдиагенетическом) перераспределении урана в осадочной толще возможно и непосредственное осаждение (из концентрированных растворов) в форме регенерированных черней, настурана, коффинита.

К ИЗУЧЕНИЮ РАВНОВЕСИЙ В УРАНИЛСОДЕРЖАЩИХ КАРБОНАТНЫХ И ФТОРИДНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

К.Г.Королев, Г.В.Румянцева

I. Среди моделей гидротермального уранового рудообразования, разработка которых необходима для научного обоснования поисковых критериев на конкретные типы эндогенных урановых месторождений, универсальность давно приобрела уранилкарбонатная модель. Однако термодинамические данные для обоснования этой модели в области повышенных температур (только до 200°С) появились лишь в самые последние годы (Никитин и др., I972; Сергеева и др., I972; Рафальский, I973). Задача дополнения имеющихся и получения новых данных для более высокотемпературных условий, так же как сравнение уранил-карбонатной модели с другими, возможными для гидротермального уранового рудообразования, является актуальной. В связи с этим были изучены некоторые равновесия в карбонатных и фторидных водных растворах уранила при температурах до 350-400°С и давлении 500 кг/см^2.

2. Реакции исследовались в динамическом экзоклаве (Сыромятников, I97I) методом потока, сущность которого заключается в том, что исследуемый раствор насыщался в изобарно-изотермических условиях и затем при постоянном давлении выводился в зону охлаждения (конденсации), откуда извлекался и анализировался. Метод применим при изучении солей с отрицательным или близким к нулевому температурным коэффициентом растворимости. Достижение равновесий в экспериментах определялось путем подхода к равновесию "снизу" и "сверху". В первом случае поток раствора вводился в контакт с размещенной в реакторе твердой фазой, занимавшей по объему большую часть реактора, и затем выводился из зоны реактора с постоянной скоростью, менявшейся от опыта к опыту, и анализировался. Насыщение при подходе "снизу" считалось достигнутым, если концентрация раствора не изменялась с уменьшением скорости потока или закономерно изменялась таким образом, что ее можно было экстраполировать на нулевую скорость и рассчитать насыщение. При подходе "сверху" раствор с заданной концентрацией пропускался через изобарно-изотермическую зону, затем охлаждался и анализировался. Второй подход

позволял более точно диагностировать твердую фазу, выпадающую из насыщенного раствора в зоне реакции.

3. Данные по растворимости Na_2CO_3 в H_2O показали хорошую сходимость с экспериментами Равича с сотрудниками и, таким образом, подтвердили надежность методики. При температурах выше 350°С (р = 500 кг/см^2) был отмечен гидролиз Na_2CO_3 и выделение CO_2.

4. В системе UO_3-H_2O найдены твердые фазы, равновесные с раствором:

$$UO_3.2H_2O \xrightarrow{60^0} UO_3.H_2O \xrightarrow{150^0} UO_3.0,8H_2O \xrightarrow{320^0} UO_3.0,5H_2O.$$

В исследованной области температур и давлений концентрация урана в растворе над этими гидроокислами практически не зависит от температуры. В интервале 100-200°С полученные данные по растворимости находятся в хорошем соответствии с опубликованными А.А.Никитиным с соавторами (1972).

5. В натриево-карбонатных и натриево-фторидных растворах уранила с концентрацией последнего менее 10^{-4} моль/л в осадке стабилизируются диуранаты, которые гидролизуются в слабощелочных и нейтральных средах, переходя в гидраты уранила. По данным экспериментов оценены произведения растворимости гидратов уранила и диураната в интервале 100-400°С, необходимые для определения констант нестойкости комплексов уранила.

6. Определено изменение констант нестойкости наиболее устойчивых уранилтрикарбонатного и уранилтетрафторидного комплексов уранила с изменением температуры в интервале 100-350°С при р=500 кг/см^2.

7. Выявлены незначительное изменение констант нестойкости уранилтетрафторидного комплекса с ростом температуры по крайней мере до 350°С и стабильность его в нейтрально-слабощелочной водной среде, где он при 200-350°С может конкурировать с уранил-карбонатными ионами.

8. Эксперименты при температурах 400-700°С показали, что уранильная модель не способна объяснять перенос урана в водных растворах при этих температурах.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УРАНИЛА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

И.Л.Ходаковский, Г.Б.Наумов, Э.И.Сергеева,
А.А.Никитин, О.А.Девина

I. Для проведения полного количественного термодинамического анализа процессов уранового гидротермального минералообразования при высоких температурах с широкими вариациями химического состава и ионной силы водных растворов, необходимо иметь константы устойчивости комплексных соединений UO_2^{2+} с ионами CO_3^{2-}, F^-, SO_4^{2-}, Cl^-, HPO_4^{2-}, $SiO(OH)_3^-$ и др. для параметров (T, P, c), характерных для гидротермального процесса.

2. Систематическое изучение равновесий в системе UO_2–CO_2–H_2O–Na_2O, проведенное методом растворимости в интервале температур 25–200°C позволило определить температурные зависимости термодинамических констант устойчивости гидроксо- и карбонатных комплексов уранила, а также произведений активностей гидроокиси и карбоната уранила.

3. В результате калориметрических измерений теплот растворения гексагидрата уранилнитрата в карбонатных растворах, определена стандартная энтальпия образования, энтропия и теплоемкость иона $UO_2(CO_3)_3^{4-}$; вычислены константы устойчивости этого иона в интервале температур 25–150°C.

4. На основе анализа литературных данных рекомендуются наиболее надежные значения констант устойчивости комплексных соединений UO_2^{2+} с анионами SO_4^{2-}, F^-, Cl^-, HPO_4^{2-}, $SiO(OH)_3^-$, $C_2O_4^{2-}$ при 25°C. Сделана попытка оценить влияние температуры на устойчивость комплексных соединений уранила с перечисленными выше анионами.

О РОЛИ ФТОРИДНЫХ И ГИДРОКСОФТОРИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПЕРЕНОСЕ U(IУ) И Th ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМИ РАСТВОРАМИ

И.Л.Ходаковский, А.П.Жидикова

I. Образование флюорита в гидротермальных жилах ряда урановых месторождений и факты обнаружения больших концентраций углекислоты в газово-жидких включениях во флюоритах свидетельствуют о повышенной концентрации фтора в гидротермальных растворах. Так как в водных растворах, содержащих фтор, ионы U^{4+} и Th^{4+} образуют с ионом F^- комплексы, необходимо

выявить роль этих соединений в переносе урана гидротермальными растворами.

2. В результате анализа литературных данных рекомендуются наиболее надежные значения констант равновесий реакций, протекающих в системе UO_2-HF-H_2O и ThO_2-HF-H_2O и величины стандартных свободных энергий образования ионов U^{4+}, $U(OH)_n^{(4-n)+}$, $UF_n^{(4-n)+}$, Th^{4+}, $Th(OH)_n^{(4-n)+}$, $ThF_n^{(4-n)+}$.

3. По уравнению Б.Н.Рыженко проведен расчет констант устойчивости гидроксо- и фторидных комплексов U (IУ) и Th при высоких температурах и давлениях. Эти данные использованы для термодинамического расчета растворимости UO_2 и ThO_2 в воде и водных растворах, содержащих F^-, в широком интервале содержаний F^- в растворе и значений pH.

4. Приводятся предварительные результаты изучения растворимости ThO_2 в воде и водных растворах $HClO_4$, HNO_3 и HF в интервале температур 25-200°С. Показано, что в реакциях растворения значительную роль играют процессы гидролиза фторидных комплексов тория с образованием гидроксофторидных комплексов: $Th(OH)_nF_m^{(4-n-m)+}$. Имеющиеся в литературе данные указывают также на возможность образования прочных гидроксофторидных комплексов и для U(IУ).

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ БРАННЕРИТА И ДАВИДИТА

Г.В.Румянцева, К.Г.Королев

I. Гидротермальный синтез кристаллических аналогов браннерита и давидита - кислото- и огнеупорных соединений - представляет интерес для геологов и геохимиков, так как дает фактический материал для определения физико-химических параметров образования и устойчивости этих минералов, суждения о которых по геологическим данным весьма проблематичны.

2. Описанные в литературе сведения по методам получения этих соединений связаны со спеканием или кристаллизацией из расплава при температурах I000°С и выше, поэтому они не могут рассматриваться в качестве вероятных моделей гидротермального рудообразования.

3. Синтез водосодержащего браннерита или гельбраннерита - аналога природного соединения, описанного Я.Д.Готманом, В.М. Поляковой и А.К.Мигутой (I968, I970), заключался в соосаждении

гидроокислов четырехвалентных урана и титана (или тория) при pH не более 3-4, нагревании осадка под давлением H_2O (300-1000 кг/см^2) при температурах 150-200^{0}С в течение суток.

4. Авторами предложен метод синтеза кристаллического браннерита в кислых гидротермальных растворах и установлена неустойчивость этого минерала в близнейтральных солевых и щелочных растворах при повышенных температурах и давлениях.

5. Синтез кристаллического давидита осуществлялся в слабокислых хлоридных растворах (pH 3-5) при температурах порядка 400^{0}С путем перекристаллизации стекол соответствующего состава или природных метамиктных минералов. В слабо щелочных и щелочных растворах давидит не синтезировался.

6. Таким образом, эксперименты показали, что синтез браннерита и давидита происходит в восстановительнных кислых и не происходит в щелочных средах.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СОВМЕСТНОГО ОСАЖДЕНИЯ ГИПЕРГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ УРАНА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

И.Т.Жильцова, Г.А.Тарханова

1. В зоне окисления ряда урановых месторождений отмечается одновременное выделение различных минералов шестивалентного урана: силикатов - уранофана и бетауранотила - $Ca(UO_2)_2.Si_2O_7.6H_2O$; гидроокислов группы масюита-фурмарьерита - $UO_3.nH_2O$; фосфатов-фосфуранилита - $Ca(UO_2)_m.(PO_4)_p.(OH)_g.nH_2O$; ренардита - $Pb(UO_2)_m.(PO_4)_p.(OH)_g.nH_2O$ и отенита - $Ca(UO_2)_2.(PO_4)_2.nH_2O$.

2. На основании экспериментального изучения устойчивости перечисленных минералов в зависимости от pH раствора и проведения синтезов установлено, что условия их осаждения характеризуются чрезвычайно близкими физико-химическими параметрами. При стандартных условиях (t = 22^0, p = 1 атм) оптимальными являются слабокислые - нейтральные растворы с pH от 4,5 до 7,0 при значительных концентрациях урана $> n.10^{-2}$.

3. Сопоставление минералогических наблюдений с результатами экспериментальных исследований показывает, что условия образования гипергенных минералов шестивалентного урана ограничиваются определенной кислотностью-щелочностью среды, а возмож-

ность образования отдельных минеральных видов определяется спецификой анионно-катионного состава растворов.

Экспериментально полученные физико-химические параметры максимальной устойчивости основных гипергенных минералов урана (УI) совпадают с наиболее часто встречающимися физико-химическими параметрами грунтовых вод, что создает возможность длительной сохранности этих минералов, даже при условии интенсивного промывания зоны окисления. Создание обстановки локального повышения кислотности или щелочности приводит к разрушению минералов.

О ФОРМАХ ВХОЖДЕНИЯ УРАНА В МИНЕРАЛЫ КРЕМНЕЗЕМА

Б.С.Горобец, В.И.Лудиков, И.Г.Жильцова. В.И.Мещанкина
Г.А.Сидоренко

Исследовались урансодержащие минералы кремнезема - опал, халцедон, кварц. Параллельно изучались безурановые разности тех же минералов и их синтетические аналоги (золи кремнекислоты) после обработки в стандартных условиях ураниловыми растворами при вариациях анионного состава (NO_3^{1-}, SO_4^{2-}, $C_2H_3O_2^{2-}$); концентрации U (от 0,00002 до 0,2%); pH раствора (от 3,5 до 7); продолжительности выстаивания (от 3 до I2 месяцев); крупности зерен (от 200 меш. до +0,5 мм).

Накопление урана в твердой фазе оценивалось количественно перлово-люминесцентным методом. Форма вхождения урана выяснялась по спектрам фотолюминесценции и возбуждения (при 77°К), которые дают информацию о природе уранилового центра свечения, а также электронно-микроскопическим методом.

При обработке ураниловыми растворами происходило накопление урана в твердой фазе: в кварце и опале от 0,00п до 0,п вес.%, в синтетических золях до ~ I0% вес.%. Накопление возрастало пропорционально увеличению концентрации исходного раствора уранила и степени измельчения сорбента. Анионная составляющая раствора, его pH и время выстаивания не играли существенной роли.

Анализ спектров фотолюминесценции и возбуждения показал, что основная форма вхождения урана представлена аквакомплексами $(UO_2 \cdot nH_2O)^{2+}$, где n - варьирует, по-видимому, от 2 до 6 , которые удерживаются на поверхности золей кремнезема сила-

ми сорбции. Это следует из того, что создаваемый ураном центр свечения характеризуется спектром, тождественным известному спектру аква-иона уранила, сорбированного силикагелем.

Во всех изученных минералах (более 60 образцов с различных месторождений) содержащих от 0,000п до 0,0п вес.% U, а также в их безурановых пробах, обработанных раствором уранила и содержащих после выстаивания до 0,I вес.% U, спектры фотолюминесценции и возбуждения элементарны, т.е. свидетельствуют о проявлении единственно центра указанного типа. Наряду с ним, при более высоких концентрациях урана обнаружено проявление тонкодисперсной собственно урановой фазы. Ее спектр люминесценции и возбуждения характерен для водного силиката уранила типа соддиита.

Проведено также непосредственное наблюдение распределения урана в минералах с помощью электронного микроскопа (увеличение I0000-I5000). Исследовались лишь суспензии проб, ввиду их высокой дисперсности. Наблюдение в электронный микроскоп отдельных зерен восстановленного ураном серебра фотоэмульсии (автомикрорадиография) показало приуроченность урана к поверхности осколков минералов кремнезема. При низких содержаниях урана собственных урановых фаз не обнаружено,что подтверждает сорбционную форму вхождения урана в минералы кремнезема как основную.

МЕХАНИЗМ ОСАЖДЕНИЯ И УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОДДИИТА КАК МИНЕРАЛЬНОЙ ФАЗЫ

Г.А.Сидоренко, И.Г.Жильцова, В.И.Лудиков

I. Соддиит - $(UO_2)_5 (SiO_4)_2 (OH)_2 \cdot 5H_2O$ единственный известный в природе силикат шестивалентного урана, не имеющий в своем составе другого катиона, кроме уранила. Находки его чрезвычайно редки, следствием чего является нерешенность структуры минерала, тем более, что химический состав природных минеральных разновидностей и синтетических фаз, обладающих структурой соддиита, колеблется в очень широких пределах.

2. Экспериментальными исследованиями было показано, что фаза со структурой соддиита является завершающим продуктом многочисленных синтезов силикатов шестивалентного урана, проводившихся из растворов ацетата уранила и фторсиликата аммония при

pH от 6,5 до 9,5 в присутствии кальция и без него, после прогрева образовавшегося осадка с водой в запаянной кварцевой ампуле при $t = 200^0$ в течение 56 часов.

Выдержка осадка при повышенной температуре приводит, с одной стороны, к его перекристаллизации из аморфного в фазу со структурой соддиита, а с другой стороны, к отторжению от этой фазы части кремнекислоты, в результате чего, независимо от величины отношения U:Si в исходном растворе, в синтетическом соддиите сохраняется количественное преобладание урана над кремнием при широких вариациях этого отношения от 2:I до 4:I. При этом наиболее совершенная структура наблюдается у соддиитовой фазы, состав которой характеризуется отношением U:Si , равным 2:I,и наименее совершенная при U:Si = 4:I.

3. Образование фазы со структурой соддиита из растворов, содержащих повышенные количества кальция, возможно только в том случае, когда во время перекристаллизации образовавшихся аморфных осадков кальций связывается в другие более прочные соединения, в условиях проводившихся синтезов - во фторид кальция.

В противном случае образуются кальцийсодержащие силикаты уранила, структурно аналогичные болтвудиту.

4. Сопоставление природных наблюдений и экспериментально полученных данных по механизму осаждения и условиям устойчивости соддиита показало, что эта минеральная фаза, сохраняя постоянной свою структуру, может характеризоваться весьма разнообразным соотношением U:Si при условии обязательного преобразования урана над кремнием.

Соддиит имеет широкий интервал возможных физико-химических условий образования: слабокислые-слабощелочные растворы - наиболее распространенные в зоне окисления; различные вариации соотношений урана и кремния в исходном растворе; термическая устойчивость до температуры 200^0. Единственным ограничением для образования соддиита является наличие в растворе кальция: именно это и обуславливает, вероятно, редкость минерала в природе, так как на участках его образования бескальциевая обстановка крайне маловероятна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОСАЖДЕНИЯ УРАНА НА КИСЛОРОДНОМ БАРЬЕРЕ

Е.М.Шмариович, Г.Ф.Агапова, Д.Н.Хитаров

С целью изучения условий переноса и отложения урана в гипергенной обстановке было предпринято экспериментальное исследование механизма его осаждения на кислородном барьере в присутствии микроорганизмов. Известно, что в природе на стыках окисленной и восстановленной зон формируется окислительно-восстановительный барьер, характеризующийся резким снижением значений Eh . Детальные исследования (Лисицин, Кузнецова, 1967; Анкудинов, 1969) особенностей строения окислительно-восстановительных барьеров показали, что область резкого снижения Eh обычно сопровождается бурным развитием микроорганизмов и что значение Eh среды повышаются также и в сторону существования восстановительной обстановки. Общепризнанной является возможность осаждения урана на восстановительном барьере из кислородсодержащих урановосных вод.

Задачей настоящего исследования являлось выяснение возможности осаждения урана при движении урановосных растворов в обратную сторону - от восстановительной зоны к окислительной. Результаты проведенного исследования в основном сводятся к следующему.

I. Приготовлены бескислородные растворы, имеющие pH = 7-8, Eh + I00 + -200 мв и содержащие в присутствии карбонат-иона уран в количестве до $n.10^{-3}$ г/л, двухвалентное железо и сульфатредуцирующие бактерии. Эти растворы были использованы в наших экспериментах в качестве исходных.

2. Экспериментально показано, что при взаимодействии исходных растворов с кислородом воздуха в присутствии сульфатредуцирующих бактерий в статических и динамических условиях происходит снижение Eh этих растворов до значений ниже -200 мв, сопровождающееся осаждением урана из растворов. Получены данные по зависимости снижения Eh от времени.

3. Установлено, что снижение Eh исходных растворов происходит только при определенных соотношениях кислорода с другими компонентами в растворах (с восстановленными формами железа и серы, органическим веществом).

В целом, проведенным исследованием показана возможность осаждения урана из восстановительных по железу растворов на кислородном барьере в присутствии микроорганизмов.

IУ. РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ПОВЕДЕНИЕ РАДИОГЕННОГО СВИНЦА В НЕКОТОРЫХ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛАХ В СВЕТЕ ДАННЫХ МИКРОЗОНДОВОГО АНАЛИЗА

В.В.Павлуков, Л.В.Комлев, Е.Б.Андерсон, И.Г.Смыслова

Целью настоящей работы является получение сведений о состоянии, причинах и условиях миграции радиогенного свинца в радиоактивных минералах. Методом рентгеновского микрозондового анализа были изучены: серия образцов настурана с различной степенью окисленности, образцы коффинита, браннерита и ураносодержащего апатита. По всем образцам выполнены определения абсолютного возраста масспектрометрическим свинцово-изотопным методом.

Для выяснения основных закономерностей нахождения радиогенного свинца в изученных минералах были получены растровые картины распределения свинца, а также измерения его концентраций в локальных участках и концентрационные кривые по профилям через выделения минералов.

Анализ данных показывает, что для многочисленного ряда образцов незначительно окисленных настуранов простого состава, характеризующихся различными значениями абсолютного возраста (от 2 млрд. до 50 млн.лет), распределение радиогенного свинца равномерное, его концентрации выдерживаются постоянными в локальных участках минералов. Это может свидетельствовать в пользу существования химической связи радиогенного свинца с решеткой настурана.

При окислении и гидратации настурана происходит разрушение кристаллической структуры и ослабление химических связей. При этом радиогенный свинец существенно перераспределяется, наблюдается увеличение его концентрации на границах зерен и выход за пределы минерала.

Изучение распределения радиогенного свинца в коффинитах и браннеритах проведено на образцах минералов различного размера (от п.10^{-5} см до 0.п см), с различной морфологией зерен. Оказалось, что свинец в них, как правило, распределен неравномерно, часто приурочен к нарушениям в структурах, нередко образует самостоятельную фазу - галенит.

При этом, независимо от возраста и геохимической обстановки в большинстве случаев наблюдаются значительные потери радиогенного свинца коффинитами и браннеритами.

В урансодержащем апатите установлены потери радиогенного свинца из субмикроскопических включений самостоятельных минералов урана (настурана). Поведение радиогенного свинца, покинувшего радиоактивный минерал, определяется минералого-геохимической обстановкой во вмещающей породе. При наличии в непосредственной близости от уранового минерала сульфидов, свинец сорбируется последними, часто с образованием обогащенных им поверхностных пленок, толщиной 3-5 микрон. Расстояния, на которые мигрирует свинец, при отсутствии наложенных процессов, достигают 1000 микрон и более. Возможно при таком перераспределении свинца определенную роль играют электрохимические процессы.

Полученные данные свидетельствуют о том, что заметная миграция свинца из минералов происходит не путем диффузии в твердом теле, а под влиянием более сложного комплекса физико-химических процессов.

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА ПО ОТНОШЕНИЯМ Ra^{226}/U^{238} И Pb^{206}/U^{238}

К.Т.Иванов

Величина нарушения радиоактивного равновесия урана и радия в урановых рудах является следствием и показателем динамического равновесия двух противоположно направленных процессов: нарушения равновесия за счет перераспределения элементов и становления равновесия в результате радиоактивных превращений.

Отклонение коэффициента равновесия в большую или меньшую сторону от равновесия зависит в основном от перераспределения наиболее подвижного элемента. Представим, что в равновесную руду с содержанием $U^{238} = Ra^{226}$ (в экв.ед.) привнесено (или вынесено) $\Delta U^{238} > \Delta Ra^{226}$ (предположение о преимущественной подвижности урана по сравнению с радием). Тогда коэффициент равновесия

$$C = \frac{Ra^{226} + \Delta Ra^{226}}{U^{238} + \Delta U^{238}} < I \quad \text{или} \quad C = \frac{Ra^{226} - \Delta Ra^{226}}{U^{238} - \Delta U^{238}} > I$$

Таким образом, если установить относительную подвижность урана и радия, то можно использовать коэффициент равновесия для определения привноса или выноса наиболее подвижного элемента. Высокая подвижность урана в земной коре позволяет надеяться, что во многих геохимических обстановках наиболее подвижным элементом окажется уран и, следовательно, изучение закономерностей изменения радиоактивного равновесия в рудах явится исследованием перераспределения урана.

В случае преимущественной подвижности урана в данной геохимической обстановке по сравнению с подвижностью других элементов урано-радиевого ряда аналогичным образом отклонение величины Pb^{206}/U^{238} от среднего по месторождению зависит от перераспределения урана. Закономерность в изменении отношения Ra^{226}/U^{238} иллюстрирует перераспределение урана в современный период (период становления радиоактивного равновесия - примерно 500 тыс.лет), а в изменении Pb^{206}/U^{238} - более длительный период, т.к. накопление радиогенного свинца происходит со времени образования руд.

В урановом месторождении, залегающем в карбонатно-сланцевой толще, известна устойчивая зависимость между отношениями Ra^{226}/U^{238} и Pb^{206}/U^{238} и содержанием урана в рудах (табл.)

Таблица

Зависимости Ra^{226}/U^{238} и Pb^{206}/U^{238} от содержания урана в рудах

Содержание урана	Ra^{226}/U^{238}	Pb^{206}/U^{238} (среднее равно I)
Относительно бедное	>I	>I
Среднее	I	I
Относительно богатое	<I	<I

Такая закономерность наблюдается как у дневной поверхности, так и на самых глубоких горизонтах распространения руд. Средний коэффициент равновесия в месторождении равен единице. На месторождении устанавливается преимущественная подвижность урана по сравнению с радием и свинцом.

Указанные закономерности позволяют сделать следующие выводы:

I. В месторождении происходит закономерное перераспределе-

ние урана в рудах как у дневной поверхности, так и на самых глубоких горизонтах.

2. В современный период (среднее Ra^{226}/U^{238} = I) уран не привносится в месторождение и не выносится из него в заметных количествах.

3. Закономерность перераспределения урана заключается в выносе его из относительно бедных руд (рост отношений Ra^{226}/U^{238} и Pb^{206}/U^{238} более единицы) и привносе в относительно богатые (снижение отношений менее единицы).

ПОВЕДЕНИЕ ИЗОТОПОВ УРАНА И ТОРИЯ В СОВРЕМЕННОМ ВУЛКАНИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

В.В.Ананьев, Л.Л.Леонова, Н.А.Титаева, В.В.Аникина

Изучение изотопного состава радиоактивных элементов в продуктах современных и исторических извержений имеет весьма важное значение для исследования вулканического процесса. Колебания отношений радиоактивных изотопов в продуктах активного вулканизма позволяет более детально расшифровать процессы, происходящие как в магматическом очаге, так и в поверхностных условиях, а также оценить длительность этих процессов во времени. Принципиально важной является возможность определения абсолютного возраста четвертичных вулканитов с помощью отношения $^{230}Th/^{238}U$.

Исследованы изотопные составы урана и тория в исторически датированных и голоценовых продуктах извержений вулканов Камчатки и Курильских островов (Карымский, М.Семячик, Шиведуч, Безымянный, Алаид и др.). Всего выполнено I9 изотопных анализов на уран и I5 – на торий.

Вариации изотопного отношения тория $^{230}Th/^{232}Th$ в базальтах, андезитах, дацитах и липаритах не зависят от состава пород (кремнекислотности) и изменяются в пределах от 0,9 до I,9 (ед.активности).

Отношение $^{230}Th/^{238}U$ меньше равновесного. Общий дефицит ^{230}Th относительно материнского ^{238}U во всех изученных породах указывает на наличие некоторого процесса, ведущего к разделению урана и тория в магматической камере.

Изотопные отношения $^{228}Th/^{232}Th$ в большинстве проб соответствуют радиоактивному равновесию, что указывает на отсутст-

вие экзогенной миграции ^{228}Ra, расположенного в ряду распада между этими изотопами. В некоторых пробах отмечен дефицит ^{228}Th.

Изотопный состав урана характеризуется радиоактивным равновесием между ^{238}U и ^{234}U во всех исторически датированных лавах и пемзах не зависимо от их петрографического состава (базальты, андезиты, дациты). Отклонение от равновесия отмечается лишь в более древних вулканических породах за счет экзогенного выноса ^{234}U.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА РАДИОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭКЗОГЕННОЙ МИГРАЦИИ УРАНА, ТОРИЯ И РАДИЯ

Н.А.Титаева, Т.И.Векслер, А.В.Орлова

Исследованы закономерности изменения радиоактивного равновесия между наиболее долгоживущими членами рядов урана (^{238}U, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra) и тория (^{232}Th, ^{228}Ra, ^{228}Th) во всех основных стадиях континентального гумидного осадочного процесса. Использование нескольких изотопов одного и того же элемента и отношений членов одного ряда позволяет получить более однозначную информацию о поведении урана, тория и радия, по сравнению с изучением общего содержания этих элементов.

I. Вынос урана из горных пород в процессе выветривания хорошо фиксируется по направленному отклонению от радиоактивного равновесия отношений активностей $^{234}U/^{238}U < I$ и $^{234}U/^{230}Th < I$, а вынос тория - по отношению $^{228}Th/^{232}Th < I$.

2. Общий баланс изотопов сохраняется, и для поверхностных вод характерны отклонения от равновесия в противоположную сторону: $^{234}U/^{238}U > I$, $^{228}Th/^{232}Th > I$ и $^{234}U/^{230}Th > I$. Сравнительно немногочисленные данные по изотопным отношениям в минеральных взвесях, транспортируемых водами, показывают, что эти отношения близки к таковым в выветрелых породах.

3. При осаждении в процессе транспортировки используемые отношения в аллювиальных и аллювиально-озерных осадках будут зависеть от преобладания либо химического, либо механического осаждения. Если подавляющая часть U и Th поступает на дно со взвешенным и кластическим материалом, изотопные отношения осадка будут иметь тот же характер, что и в продуктах разрушения пород. В случае химического осаждения (например, на органическом веще-

стве) отклонение изотопных пар от равновесия в ту же сторону, что и в воде.

4. Отношения $^{234}U : ^{230}Th : ^{226}Ra$ и $^{232}Th : ^{228}Ra : ^{228}Th$ позволили установить, что трещиноватые породы приповерхностной зоны обогащаются радием в результате вторичной сорбции. Фиксация радия донными осадками происходит, преимущественно, в местах разгрузки подземных вод, обогащенных радием.

5. Закономерности изменения изотопных отношений в рядах урана и тория в континентальном осадочном процессе сводятся к закономерностям взаимодействия твердой и жидкой фаз. В зависимости от направления процесса "сорбция-выщелачивание" можно ожидать сдвига изотопных отношений в ту или иную сторону от радиоактивного равновесия. Таким образом, характер отклонения от равновесия в рядах урана и тория может служить индикатором поведения урана, тория и радия в экзогенном процессе.

ОСОБЕННОСТИ ЭКЗОГЕННОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА ПО СВИНЦОВО-ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ

В.М.Ершов, Э.С.Лобов

Первичное содержание урана в зонах окисления может быть определено по радиогенному свинцу. Различия между первичной и современной концентрациями отражают интегральный эффект экзогенной миграции урана.

Изучение ряда зон минерализации показало, что при окислении происходит не только выщелачивание урана из верхних, но и обогащение им глубоких горизонтов, т.е. перераспределение.

Доля выщелоченного урана на глубине до 30 м достигает 70% первичного содержания, изменение с глубиной отношения современной концентрации к первичной составляет 0,7-0,8% относительных на метр. Вторичное обогащение в среднем незначительное. Глубины зон выщелачивания, установленные по геохимическим и минералогическим данным, совпадают. Доля выщелоченного урана обратно пропорциональна его первичной концентрации. Эта зависимость позволяет считать, что процесс перераспределения лимитировался интенсивностью агентов переноса.

СРАВНЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО И КАЖУЩЕГОСЯ ВОЗРАСТА УРАНОВОРУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КАК МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА

К.Т.Иванов

В закрытой системе радиоактивных превращений $U^{238} - Pb^{206}$ накопление радиогенного свинца дает основание к определению абсолютного возраста урановых образований. В пробах урановых руд с открытой системой $U^{238} - Pb^{206}$ величина отношения Pb^{206}/U^{238} зависит как от времени накопления радиогенного свинца, так и от продолжительности и интенсивности перераспределения элементов. Современное отношение Pb^{206}/U^{238} в открытой системе целесообразно назвать кажущимся возрастом и условно выражать в млн.лет, используя для вычислений математический аппарат, разработанный для расчета абсолютного возраста. Кажущийся возраст близок по величине к абсолютному в случае малой интенсивности и незначительной продолжительности перераспределения элементов и существенно отличается от абсолютного возраста в случае длительного и интенсивного перераспределения элементов.

Внедрение в практику метода изотопно-спектрального анализа свинца, обладающего высокой производительностью, позволяет использовать статистические методы для изучения кажущегося возраста в месторождениях. Величина кажущегося возраста в каждой пробе зависит от случайного сочетания многих факторов: химических свойств элементов урано-радиевого ряда, геохимических свойств среды, минерального и агрегатного состава пород, скорости и состава фильтрующихся вод и т.д., т.е. является случайной величиной. Математическая статистика позволяет выделить влияние ограниченного числа факторов на закономерности изменения случайных величин. Так для кажущегося возраста можно аргументом рассматривать изменение концентрации урана или свинца. Если рассматривать отклонения Pb^{206}/U^{238} в пробах от среднего по месторождению, то такое отклонение в большую или меньшую сторону зависит главным образом от перераспределения наиболее подвижного элемента (исключая влияние аналитических ошибок).

Представляется, что в большинстве геохимических обстановок уран более подвижен, чем свинец и, следовательно, по изменениям кажущегося возраста в пробах можно отмечать перераспреде-

ление урана.

Рассмотрим применение изложенного к урановому месторождению, залегающему в образованиях позднего протерозоя. Рудные залежи в месторождении приурочены к метапесчаникам и порфироидам. Руды представлены в основном неминеральными формами, что исключает надежное определение их абсолютного возраста. На месторождении отмечается перераспределение урана на всю вскрытую глубину ($\sim$ 300 м) и устанавливается преимущественная подвижность урана по сравнению со свинцом. В современную эпоху наблюдается обогащение рудных залежей за счет привноса урана метеорными водами из вмещающих пород. Средняя величина кажущегося возраста в месторождении составляет 300 млн.лет. Привнос урана в рудные залежи дает основание считать, что цифра 300 млн.лет завышена по сравнению с абсолютным возрастом. Приуроченность руд к позднепротерозойским породам и величина кажущегося возраста позволяют определить отрезок времени, в котором началось формирование руд: моложе позднего протерозоя - древнее 300 млн.лет. Учитывая историю геологического развития района, можно считать, что условия привноса урана метеорными водами сохраняются с позднепротерозойского времени. Поэтому реально предполагать длительное формирование рудных залежей (более 300 млн.лет).

Кроме привноса урана в месторождение, существует его перераспределение метеорными водами внутри рудных залежей, что выражается зависимостью кажущегося возраста от содержания урана в рудах. Относительно бедные руды являются источником обогащения ураном относительно богатых руд, в связи с чем кажущийся возраст относительно бедных образований более 300 млн.лет, а относительно богатых - менее 300 млн.лет.

ПРИМЕР РАСШИФРОВКИ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ДРЕВНЕГО ИНФИЛЬТРАЦИОННО-ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОГО УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

С.Д.Расулова, А.С.Столяров

I. При изучении инфильтрационно-эпигенетического уранового оруденения применение комплекса геологических и физических методов исследования позволило подойти к расшифровке условий его образования.

2. В комплекс методов входило детальное картирование эпигенетических изменений, составление мелкомасштабных палеогеологи-

ческих схем региона, определение изотопии радиогенного свинца, радиационных дефектов кварцевых зерен и др.

3. Урановое оруденение приурочено к угленосной формации и является наложенным на первично-сероцветные породы аллювиального и озерно-болотного фациальных комплексов, подвергшиеся процессам приповерхностного и пластового окисления. Рудовмещающие отложения состоят из пяти циклов осадконакопления. Оруденение приурочено к каждому из циклов и локализовано на границах зон окисления.

4. Детальное картирование эпигенетических изменений позволило установить ниже зоны древнего поверхностного окисления (зоны аэрации) послойное развитие эпигенетических изменений, связанное с латеральным движением подземных вод.

5. Изучение изотопии радиогенного свинца показало, что оруденение является разновозрастным. Об этом свидетельствуют различные соотношения изотопов свинца и концентрации радиационных дефектов в рудных залежах различных циклов. Отсутствие избыточных содержаний изотопов радиогенного свинца и радиационных дефектов в зоне окисления в нижних циклах не подтверждает наличия в нижних циклах в пределах изученной площади древних руд синхронных, по времени образования с оруденением в верхнем цикле. Возраст оруденения в верхнем цикле по данным свинцово-спектрального анализа 80-60 млн.лет, в нижних циклах около 20 млн. лет и моложе.

6. Анализ палеогеологических условий рудного района позволяет придти к выводам: а) поверхностное окисление формировалось в верхнеюрское-нижнемеловое время в условиях аккумулятивной равнины за счет просачивающихся атмосферных вод, сменявшихся грунтовыми бескислородными застойными водами;

б) активизация тектонических движений в верхнемеловое время вызвала латеральное движение грунтовых вод и формирование рудоносной зоны грунтового окисления в верхнем цикле;

в) зоны пластового окисления были сформированы в плиоценовое время в результате вскрытия нижних циклов угленосной формации.

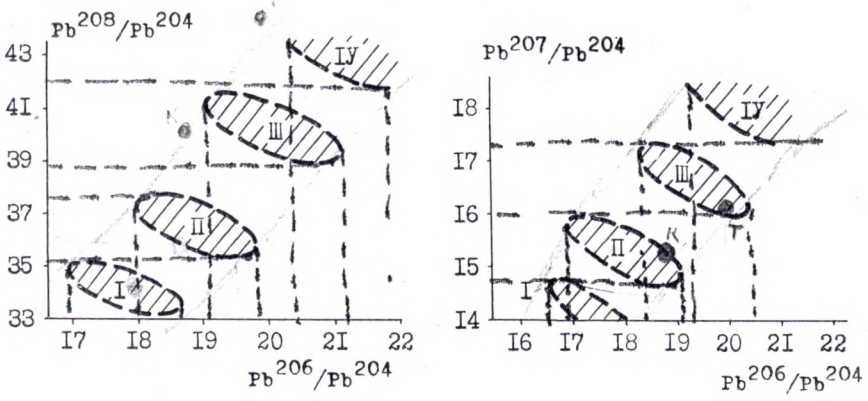
7. Сопоставление данных, полученных различными методами, показало однозначность результатов и помогло установить разновозрастность оруденения и стадийность его образования.

ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДНОГО МАГМАТИЗМА КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ ПО ДАННЫМ ИЗОТОПОВ СВИНЦА И РАДИОГЕОХИМИИ

Д.К.Осипов, Р.С.Журавлев

На территории Кузнецкого Алатау, как и в смежных с ним складчатых районах широко проявился гранитоидный магматизм, обладающий характерным геохимическим поведением радиоактивных элементов и заметной спецификой изотопного состава свинцов. В преобладающем большинстве это горные породы с относительно невысокими концентрациями урана и тория. Исключение составляют отдельные интрузивные массивы, у которых, скорее всего, эродированы только апикальные части. Кроме того, для большинства гранитных массивов установлена относительно высокая миграционная активность урана.

Анализ изотопного состава свинцов (193 определения) гранитов региона показал, что они отчетливо разделяются на четыре группы (см.рис.), отражающие эволюцию гранитоидного магматизма во времени. Вместе с тем, часто изотопный состав гранитоидов одного и того же массива на графике располагается в I,II, III и IУ группах, что свидетельствует о длительности формирования интрузивных массивов и ставит под сомнение выделение ряда разновременных гранитоидных комплексов.



Эта закономерность, по нашему мнению, характерна не только для Кузнецкого Алатау, но является общей и для других районов Алтае-Саянской складчатой области.

ХАРАКТЕР ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА И ИЗОТОПОВ ЕГО РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА В ПРОЦЕССЕ ГИПЕРГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ УРАНОВЫХ РУД

А.А.Черников

I. Изменение первичного состава и текстурно-структурных особенностей урановых руд начинается в слабо восстановительной обстановке, поскольку все гипогенные урановые минералы содержат в том или ином количестве шестивалентный уран, растворяющийся в подземных водах, обогащенных углекислотой. В зоне циркуляции подземных вод, лишенных свободного растворенного кислорода, предпочтительно выщелачивается из руд уран-234, не входящий в кристаллическую решетку минералов, и радий, легко подвижный в поверхностных хлоридных и гидрокарбонатных растворах. В остаточных продуктах (гидронастуране, остаточных урановых черных, гидратированном коффините) накапливаются изотопы свинца, торий-230 (ионий) и уран-238.

2. В зависимости от сочетания комплекса локальных и региональных факторов формируются три типа зон гипергенеза по характеру распределения урана в вертикальном разрезе:

а) имеет место обогащение ураном (по сравнению с первичными рудами) зоны окисления в целом или отдельных ее горизонтов. Зона цементации слабо проявляется, либо не проявляется совсем;

б) формируется зона окисления без определенных горизонтов гипергенного перераспределения урана. Зона цементации проявляется слабо;

в) уран выщелачивается из зоны окисления в целом или из отдельных ее горизонтов. Зона цементации проявляется отчетливо.

3. Характер вторичного перераспределения изотопов радиоактивного распада урана в окисленной среде меняется в зависимости от стадии развития зоны гипергенеза. В начальный период окисления руд уран выщелачивается с отношением его изотопов (уран-234 к урану-238), значительно превышающим единицу. В конечные стадии развития зоны гипергенеза это отношения в выщелоченных и остаточных продуктах окисления приближается к единице. Изотопы свинца и ионий слабо подвижны в течение всех стадий развития зоны окисления. Только при образовании осветленной глинистой коры выветривания свинец-206 выщелачивается из приповерхностных участков месторождений до фоновых концентраций.

4. В результате инсоляционных процессов в слабо расчлененных районах аридных областей происходит современная и верхнечетвертичная аккумуляция урановой минерализации в приповерхностных частях древних зон окисления.

В гумидных условиях уран интенсивно выщелачивается из приповерхностных горизонтов зоны гипергенеза. В случае выщелачивания урана и радия из почвенного слоя до фоновых концентраций поверхностные аномалии приобретают ториевую природу ввиду слабой миграции иония.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ РАДИЯ И РЯДА СОПУТСТВУЮЩИХ ЕМУ ЭЛЕМЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ УРАНА

А.Г.Кузнецов

Значительный по количеству вовлеченного металла процесс миграции урана установлен в пределах зоны окисления гидротермальной низкотемпературной битумно-настурановой минерализации. Отмечается неравномерный по площади вынос урана из рудоносных зон и эндогенных ореолов и частичная его концентрация гидроокислами железа и глинистыми минералами, широко развитыми в рудовмещающих породах.

Закономерности пространственной конфигурации ореола аномальных содержаний урана в коренных породах обусловлены суммарным эффектом особенностей его первично-конституционного наложенного эндогенного, вторично-выщелоченного и вторично-мобилизованного типов рассеяния. Относительная значимость каждого из рассмотренных типов, являющихся слагаемыми общего процесса миграции урана в исследуемых условиях, оценивается по ряду параметров первичных ореолов рассеяния урана, радия, свинца, серебра, молибдена и цинка. Используемые параметры нормированы по соответствующим значениям, характеризующим особенности первично-конституционного рассеяния элементов в каждой разновидности рудовмещающих пород. В качестве показателей процесса эндогенного привноса урана применены отношения линейных продуктивностей первичных ореолов рассеяния серебра к суммарным линейным продуктивностям молибдена и цинка. Количество привнесенного урана оценивается по соотношению изотопов свинца. Количества вторично-выщелоченного и вторично-мобилизованного урана оцениваются по

интенсивности ореолов рассеяния радия и величине коэффициентов радиоактивного равновесия, а также по отношениям концентраций, градиентов концентраций и линейных продуктивностей элементов-спутников.

Изучение особенностей процесса миграции урана позволяет успешно решить ряд практических геолого-поисковых задач.

ХАРАКТЕР ПОВЕДЕНИЯ УРАНА И РАДИОГЕННОГО СВИНЦА ВО ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛАХ РАССЕЯНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРИДНОЙ ЗОНЫ

О.К.Мезенцев

I. Одной из насущных задач поисковой геохимии является предварительная разбраковка, выявляемых в процессе поисков радиоактивных аномалий, т.е. отнесение их к разряду перспективных, подлежащих дальнейшей оценке (вторичные остаточные или наложенные ореолы рассеяния), или бесперспективных. Особенно актуально решение этой задачи при глубинных поисках, когда выявляемые аномалии не могут быть обследованы с поверхности.

2. В целях выяснения возможностей разбраковки радиоактивных аномалий в рыхлых образованиях изучались формы нахождения урана и радиогенного свинца в контуре развития остаточных и наложенных ореолов рассеяния и вторичных аккумуляциях урана, характер распространения урана и свинца в различных классах крупности рыхлых образований и мономинеральных фракций в нормальном поле рассеяния и в аномалиях.

3. Изучение характера распределения урана, валового и радиогенного свинца по классам крупности рыхлых образований свидетельствует, что от 50 до 70% от общего количества урана и от 20 до 50% свинца концентрируется в пелитовой фракции, где эти элементы накапливаются глинистыми минералами, органическим материалом, в меньшей мере гидроокислами железа и марганца. В обломочных классах уран и свинец связаны с гидроокислами железа и марганца, входят в качестве изоморфной примеси в породообразующие минералы и гипергенные минералы новообразования.

4. На участках развития вторичных аккумуляций и наложенных ореолов рассеяния урана концентрация свинца аналогична распределению его в нормальном поле рассеяния. Во вторичных остаточных ореолах рассеяния урана свинец присутствует всегда в количествах, значительно превышающих их фоновые содержания во вмещающих

породах. Соотношение между суммарным количеством свинца и радиогенным значительно превосходит их соотношение в нормальном поле рассеяния. Изучение распределения урана и свинца мономинеральных фракций коры выветривания в пределах контуров развития остаточных ореолов рассеяния показало, что уран и свинец находятся в тонкодисперсных классах в безминеральной форме, сорбированном состоянии, в обломочных классах - в минеральной; галенит, церуссит и другие минералы.

5. Изучение форм нахождения урана и свинца в нормальном поле рассеяния и аномалиях свидетельствует:

а) миграция радиогенного свинца в зоне гипергенеза происходит в смешанной, солевой и механической формах, с преобладанием механической составляющей;

б) по характеру распределения изотопного состава свинца в аномальных полях возможно отбраковывать вторичные остаточные ореолы рассеяния урана от вторичных аккумуляций, что играет существенную роль для целенаправленного ведения оценочных работ.

ЯГР-СПЕКТРЫ Fe^{57} ОКОЛОРУДНЫХ БИОТИТОВ КАК ИНДИКАТОРЫ КОНТАКТНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.П.Иваницкий, И.В.Матяш, Ф.И.Ракович

Биотит является минералом, благоприятствующим процессам уранового оруденения. Благоприятность биотитов определяется содержанием двухвалентной формы железа, принимающей участие в окислительно-восстановительных реакциях взаимодействия биотит-урансносный раствор - твердая фаза урана. В ходе протекания этих реакций и в процессе контактирования биотита с урановой минерализацией он претерпевает ряд геохимических и структурных изменений, являющихся отражением его радиационной истории. Выявление этих изменений представляет определенный интерес для диагностирования урановых месторождений, для геохимического описания процессов околожильного метасоматоза, для получения информации о путях миграции радиоактивных элементов и установления некоторых их количественных характеристик. С целью установления влияния естественной радиации рудных полей на состояние железа и выявление возможностей его практического применения получены ЯГР-спектры Fe^{57} двух околорудных биотитов.

ЯГР-спектры Fe^{57} биотитов получены на установке, работаю-

щей в режиме постоянных ускорений с источником Co^{57} (Cr). Спектры обоих биотитов подобны и могут быть разложены на два квадрупольных дублета ионов Fe^{2+} в цис (Fe^{2+} ц) - и транс (Fe^{2+} т) - координациях и два квадрупольных дублета ионов Fe^{3+} - Fe^{3+}_{I} и Fe^{3+}_{II}.

Появление в околорудном биотите квадрупольного дублета Fe^{3+}_{II}, в отличие от обычных биотитов, содержащих только Fe^{3+}_{I}, может быть связано с процессами радиационного окисления железа и появлением в структуре биотитов радиационных дефектов. Интенсивность линии квадрупольного дублета Fe^{3+}_{II} пропорциональна дозе облучения. Параметры ЯГР-спектров приведены ниже.

Параметры ЯГР-спектров околорудных биотитов. δ - изомерный сдвиг в мм/сек относительной Fe^{57} в нержавстали; Δ - квадрупольное расщепление, мм/сек; Г - ширина линии на половине высоты, мм/сек: n - содержание ионов Fe в данном структурном положении по отношению к общему содержанию Fe ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$), %; ошибка измерения δ, Δ, Г - $\pm$ 0,04 мм/сек, n - $\pm$20%.

Структурные положения Fe	Fe^{2+}ц		Fe^{2+}т		Fe^{3+} I		Fe^{3+} II	
№ обр.	I	2	I	2	I	2	I	2
δ	I,22	I,20	I,23	I,2I	0,53	0,5I	0,52	0,5I
Δ	2,69	2,67	2,07	2,I0	I,03	I,06	I,74	I,83
Г	0,44	0,45	0,44	0,45	0,53	0,52	0,74	0,64
n	9,40	9,00	4,70	0,50	33,6	35	52,3	5I,5

Правомерность такого разделения и интерпретация спектров околорудных биотитов подтверждают экспериментальные данные по облучению и термическому окислению биотитов. При облучении биотитов жестким γ -излучением наряду с ростом интенсивности и квадрупольного расщепления дублета ионов Fe^{3+} наблюдалось его уширение, позволяющее выделить квадрупольный дублет Fe^{3+}_{II} с параметрами, близкими для аналогичных дублетов околорудных биотитов. Рост значений квадрупольного расщепления и уширение линии термически окисленного Fe^{3+} в биотитах лежат в рамках меньших величин.

Таким образом наличие в спектрах околорудных биотитов квадрупольных дублетов радиационно-окисленных ионов железа Fe^{3+}_{II} является индикатором их геохимических изменений при взаимодей-

ствии с радиоактивным излучением рудных полей и может быть использовано как поисковый критерий на радиоактивные элементы. Использование предлагаемого поискового критерия на базе ЯГР-спектроскопии предполагает возможность оконтуривания рудопроявлений, определения путей и количественных характеристик процессов миграции радиоактивных элементов. Как след на пути миграции остается биотит с характерными спектрами ионов Fe^{3+}_{II}. Соотношение интенсивностей квадрупольных дублетов Fe^{3+}_{II} на различных участках взятия проб отражает количественную характеристику процессов миграции рассеянных элементов.

ЯГР-СПЕКТРЫ ОБЛУЧЕННЫХ РИБЕКИТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСЛОВИЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ УРАНА В НАТРИЕВЫХ МЕТАСОМАТИТАХ

В.А.Зинченко, В.П.Иваницкий, И.В.Матяш, Н.И.Половко

Известно поведение Fe^{2+} темноцветных минералов натриевых метасоматитов в процессе локализации в них уранового оруденения. Взаимодействие урансносных растворов с железосодержащими минералами приводит к окислению части Fe^{2+} до Fe^{3+} и восстановлению при этом U^{6+} до U^{4+}, что снижает миграционную способность последнего и ведет к выпадению его из растворов.

С целью моделирования взаимодействия радиационной среды с минералами рудовмещающих метасоматитов, а также выяснения условий локализации урана и роли в этом процессе энергии радиационного излучения проведено экспериментальное ЯГР-спектроскопическое изучение воздействия γ-облучения на состояние железа в одном из темноцветных минералов - рибеките.

Железо в структуре рибекита может быть локализовано в трех неэквивалентных октаэдрических позициях М1, М2, М3, количественное соотношение которых 2:2:1.

При этом ионы Fe^{2+} локализуются в положениях М1 и М3, а Fe^{3+} в М2. Облучение ведет к качественному изменению спектра, вызванному радиационным окислением железа. Взаимодействие γ-лучей с кристаллической решеткой рибекита приводит к появлению новых линий Fe^{3+} (М1) и Fe^{3+} (М3) и сопровождается изменением параметров ЯГР-спектров. Структурная идентификация квадрупольных дублетов радиационно окисленного Fe^{3+} (М1) и Fe^{3+} (М3) произведена на основании кристаллографических данных о структуре рибекита и сопоставления интенсивностей линий Fe^{3+}

(MI), Fe^{3+} (M3) с падением интенсивности дублетов Fe^{2+} (MI) и Fe^{2+} (M3) исходного образца.

Данные ЯГР-исследований по определению соотношений Fe^{3+}/Fe^{2+} и распределение железа по структурным положениям рибекита до и после облучения указывают на возрастание этого соотношения для облученных разностей и на появление двух новых квадрупольных дублетов возникающего при облучении Fe^{3+}, обладающих значительными квадрупольными расщеплениями. Аналогичная тенденция окисления железа наблюдается и в рибекитах из зон урановой минерализации. Эти факты указывают на высокий окислительно-восстановительный потенциал при формировании уранового оруденения в альбититах.

Обнаружение аналогичных явлений в рибекитах из натриевых метасоматитов является свидетельством воздействия на них урановосных растворов и позволяет оценивать их как перспективные на уран.

У. РАДИОГЕННОЕ ТЕПЛО

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНВЕКТИВНО НЕУСТОЙЧИВОЙ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Ю.П.Булашевич, Ю.В.Хачай

Обсуждаются вопросы миграции радиоактивных элементов в конвективно неустойчивой верхней мантии Земли.

Рассматривается направленность приближения к конвективной устойчивости слоя вязкой, двухкомпонентной смеси, один из компонентов которой является радиоактивным источником тепла. Температура нижней границы слоя выше, чем верхней. Слой находится в поле силы тяжести. Устойчивость такой системы зависит от мощности тепловыделения радиоактивных источников, величины термодиффузионного отношения и направления миграции радиоактивных элементов.

Установлено, что для термодинамических условий верхней мантии при миграции более тяжелого радиоактивного компонента, концентрация которого, однако, мала, к нижней горячей границе, система дестабилизируется. Возникает конвективное перемешивание смеси с тем, чтобы вернуть систему в устойчивое состояние. Устойчивое состояние системы достигается в том случае, когда радиоактивный компонент выносится к верхней холодной границе слоя. Работа, затрачиваемая на увеличение концентрации тяжелых радиоактивных элементов у верхней границы слоя в гравитационном поле, обеспечивается энергией радиоактивного распада.

Вычислены значения критического модифицированного числа Релея для различных параметров системы.

Результаты исследования применены для анализа конвективной устойчивости верхней мантии. Предложено возможное механическое объяснение явлению выноса радиоактивных элементов из мантии в кору, которое может приводить к высокой концентрации этих элементов в коре и особенно в ее "гранитном" слое.

О ГЕЛИЕВОМ И ТЕПЛОВОМ ПОТОКАХ НА ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Ю.Г.Осипов

Гелий является продуктом распада радиоактивных элементов.

Поэтому изучение потока этого газа и сопоставление его с тепловым потоком представляет интерес.

Исследование геохимического поля гелия в пределах пяти гранитных массивов показало следующее:

I. Гранитные массивы характеризуются низкими фоновыми концентрациями гелия.

2. Основная масса гелия, продуцируемого массивами, разгружается по трещинам в них, в основном по краевым частям, связанным с разрывными нарушениями.

3. Плотность потока зависит от глубины корней массивов, физического состояния пород и на исследованных массивах колеблется от $I,7.I0^{-I6}$ до $32,4.I0^{-I6}$ $см^3/сек.см^2$.

Исследование плотности потока гелия в зонах развития глубинных разломов и сопоставление его с тепловым потоком проводилось на ограниченных площадях.

В районе изучения одного из них вулканогенно-осадочные породы, выполняющие разлом, большей частью перекрыты рыхлыми образованиями мощностью до 50 м. Вычисленная на основе конвекционно-фильтрационной модели миграции плотность потока составила $I5,5.I0^{-I2}$ $см^3/сек.см^2$. При исследовании другого разлома удалось выявить влияние мощности рыхлых четвертичных образований на плотность потока. Так, при увеличении мощности последних до I50 м плотность потока упала до $6,2.I0^{-I2}$ $см^3/сек.см^2$.

Сопоставление региональных потоков гелия и тепла показало их пространственную разобщенность. Участки с высокой плотностью гелиевого потока не всегда характеризуются повышенным тепловым полем и наоборот.

С целью выяснения влияния скоплений радиоактивных минералов на увеличение потоков гелия и тепла изучалось геохимическое поле этого газа на ряде эндогенных месторождений различного вещественного состава. Расчеты показали, что на всех изученных месторождениях плотность потока гелия колеблется от $9,54.I0^{-I4}$ $см^3/сек.см^2$ до $I9,5.I0^{-I2}$ $см^3/сек.см^2$, причем высокая плотность потока зафиксирована как на радиоактивном месторождении, так и на золотом. При детальном ознакомлении с исследованными объектами оказалось, что плотность потока возрастает или падает в зависимости от следующих причин:

I. Наличия или отсутствия связи рудовмещающих и рудоконтролирующих структур с глубинными разломами.

2. Связи оруденения с гранитными массивами, потенциальными источниками гелия.

3. Физических свойств вмещающих оруденение пород.

По мере удаления оруденения от гранитных массивов и затруднения связи с глубинными разломами плотность потока гелия падает независимо от вещественного состава руд.

При исследовании поля гелия на радиоактивных месторождениях было отмечено существование потока гелия ниже уровня рудных тел. На одном из радиоактивных месторождений проводилось сравнение поля гелия с тепловым полем рудного тела. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оба поля имеют единый источник. Контуры полей совпадают между собой и в общем плане вырисовывают контур рудного тела.

ГЕНЕРАЦИЯ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛА И ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ЗЕМЛИ

А.А.Смыслов, У.И.Моисеенко

Споры о доминирующей роли какого-либо одного из источников глубинного тепла вряд ли могут быть разрешены окончательно, так как принимая те или иные допущения, с помощью каждого из них можно объяснить наблюдаемые в настоящее время геотермические условия планеты. Важное значение для понимания теплового режима имеет точное знание условий, при которых происходит генерация радиогенного тепла, его перенос, накопление или рассеяние.

Для сравнительного анализа радиоактивности и теплового режима Земли в настоящее время и прошлые эпохи развития конкретных геологических структур составлены обзорные радиогеохимические карты и карты тепловых полей. При расчете генерации тепла и его пространственного распределения учитывались установленная латеральная неоднородность распределения урана, тория и калия и четко выраженная в результате направленной миграции элементов вертикальная радиогеологическая зональность земной коры, проявленная в резком уменьшении радиоактивности с глубиной. Важными параметрами являются также теплофизические свойства осадочных отложений, которые создают теплоизолирующий экран. Анализ этих данных показывает, что многие блоки земной коры с максимальной фоновой радиоактивностью гранитно-метаморфического слоя (Украинский щит, отдельные районы Казахстана) характеризуются минимальным тепловым потоком. И наоборот, в

некоторых районах с повышенной кондуктивной передачей тепла (Малый Кавказ, Камчатка) генерация тепла верхних слоев земной коры весьма незначительна.

Особое положение в земной коре по энергетическим условиям занимают структуры, где фиксируются отклонения от стационарных условий либо в результате дополнительного подтока тепла с глубины, либо за счет приповерхностной аккумуляции тепла под чехлом теплоизолирующих осадков.

Исходя из соотношения скорости накопления теплоизолирующих осадочных отложений и радиогенного тепла, можно выделить три этапа тектонического развития земной коры. Для первого (архейско-раннепротерозойского) этапа в результате незначительных скоростей осадконакопления характерны относительно спокойные и широкие тепловые аномалии. В позднепротерозойский и палеозойский этап имеет место отставание скорости накопления тепловой энергии от скорости осадконакопления, что могло приводить к резкому усилению колебательных движений и формированию классических геосинклинально-складчатых систем. Наконец, для мезозойско-кайнозойского этапа типично наиболее резкое несоответствие скоростей накопления осадков и тепловой энергии, а также интенсивное развитие процессов тектоно-магматической активизации.

РАДИОАКТИВНОСТЬ И ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ДОКЕМБРИЙСКИХ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

А.А.Смыслов, В.К.Титов

Радиогеохимическое и геотермическое районирование докембрийских складчатых областей показало, что в их пределах обособляются крупные сегменты земной коры, характеризующиеся резко различными содержаниями радиоактивных элементов и тепловым режимом. Среди них выделяются:

I. Области развития архейских осадочных, осадочно-вулканогенных и ультраметаморфических структурно-формационных комплексов, претерпевших метаморфизм гранулитовой и регрессивной амфиболитовой фации (первичная коровая оболочка Земли), отличаются минимальными содержаниями урана и тория ($\leqslant$ 0,5-I,5.I0^{-4}% U и < 2-I0.I0^{-4}% Th) и значениями теплового потока 0,50-0,90 мккал/см^2.сек.

2. Области распространения раннепротерозойских метаморфических и ультраметаморфических структурно-формационных комплексов, испытавших метаморфизм преимущественно амфиболитовой фации (определяют состав современного гранитного слоя древних платформ). Они выделяются сравнительно повышенными содержаниями урана и тория (I,5-5,0.10^{-4}% U , 5,0-40,0.10^{-4}% Th) и величиной теплового потока 0,70-I,30 (ср.0,95±0,I0) мккал/$см^2$.сек Наибольшие значения теплового потока свойственны областям максимального проявления раннепротерозойской эпохи гранитизации (Кировоградский блок УКЩ, I,20 мккал/$см^2$.сек), а наименьшие - районам частичной переработки архейской коры (Умань, Одесско-Брусиловская зона УКЩ, 0,70 мккал/$см^2$.сек и др.).

3. Области развития слабометаморфизованных (зеленосланцевая, редко эпидот-амфиболитовая фация) осадочных или осадочно-вулканогенных пород и интрузивного магматизма основного и кислого состава PR_2 - PR_3 (протоорогенные прогибы). В этой области различные типы геологических формаций резко различаются по содержанию радиоактивных элементов (⩽ 0,5-7,0.10^{-4}% U , ⩽2-30,0.10^{-4}% Th), а величина теплового потока составляет 0,70-I,20 мккал/$см^2$.сек (Печенга, Чара и др.).

4. Области и зоны проявления PR_3-PZ, PZ, MZ и KZ тектономагматической активизации. Как правило, они характеризуются образованием специализированных по урану и торию комплексов магматических пород (часто повышенной щелочности) и значениями теплового потока I,0-I,5 мккал/$см^2$.сек (палеозойская тектономагматическая активизация) и выше (мезозойская и кайнозойская активизация).

Совокупность геотермических данных и материалов о радиоактивности пород указывают на отсутствие прямой корреляции между наблюдаемой величиной теплового потока и концентрацией радиоактивных элементов в верхних горизонтах земной коры, вклад которых в суммарный тепловой поток, по-видимому, не превышает 20%.

Получены данные о средневзвешенном содержании U, Th и K в геологических формациях докембрийских складчатых областей в комплексе с материалами о теплопроводности пород, тепловом потоке в пределах блоков земной коры с различной историей геологического развития и результатами изучения глубинного строения (ГЗС и др)позволили оценить радиогенную составляющую за счет коровой

оболочки. Расчеты проведены для нескольких вариантов двухслойной модели, отвечающих различному составу вещества нижней части гранитной оболочки и базальтового слоя.

РОЛЬ ТОРИЯ В ТЕПЛОВОМ БАЛАНСЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПЕЧЕНГИ

А.И.Тугаринов, Е.А.Любимова, О.П.Соборнов, Н.И.Аршавская

Исследован сравнительный вклад тория в тепловой баланс верхних слоев земной коры на основе анализов содержаний урана, тория, калия в породах разреза глубоких скважин Печенги.

Подсчитана энергия, выделяемая в разных слоях земной коры этого региона в соответствии с разрезом ГСЗ. Представлены схемы генерации тепла в горизонтально-слоистой модели.

Проведено сопоставление генерации тепла и величин теплового потока, наблюдаемого на поверхности в скважинах.

Изложен метод выделения мантийной и коровой составляющих теплового потока. Оценена степень неопределенности моделей генерации тепла за счет тория, а также урана и калия.

Проведено сопоставление тепловых балансов орогенного пояса (Кавказ, Предкавказье) со стабильным регионом Печенги.

РАДИОГЕННОЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

А.Д.Ножкин, А.Д.Дучков

Колебания теплового потока в пределах отдельных регионов зачастую являются следствием неравномерного распределения источников радиогенного тепла в породах земной коры. Древние докембрийские структуры представляются наиболее удобными для оценки "нормальной" величины теплового потока континентальной коры (Δq).

Енисейский кряж состоит из двух основных структур: Южно-Енисейской глыбы, сложенной метаморфическими комплексами архея и нижнего протерозоя, и Северо-Енисейской складчатой области, образованной толщами архея общей мощностью в 10-12 км и гранитоидами. Южно-Енисейская глыба погружается под толщи рифея и, судя по многим признакам, распространяется далеко на север. По данным ГСЗ земная кора в пределах кряжа не расчленяется на слои и имеет мощность 41-46 км. Радиогеохимическим и гамма-спектро-

Таблица

Средние содержания радиоактивных элементов в главнейших типах пород Енисейского кряжа

№№ п/п	Породы	Число определений	Средние содержания			δ_q, мккал / $см^2$.сек,км
			U, г/т	Th_2, г/т	K, %	
	Северная часть кряжа (рифейские комплексы)					
I.	Основные (базальты, метабазальты)	2I3	0,7	2,I	0,6	0,009
2.	Средние (метаандезиты, метадациты)	I82	I,3	4,9	I,3	0,020
3.	Кислые (кварцевые порфиры, граниты)	445	5,0	29,9	3,6	0,094
4.	Терригенные (глинистые сланцы, песчаники)	794	2,4	I0,4	2,2	0,037
5.	Карбонатные (известняки, доломиты)	I36	0,7	2,4	0,8	0,0II
	Южная часть кряжа (архей-протерозойские комплексы)					
6.	Основные (пироксен-плагиоклазовые породы, амфиболиты)	97	0,7	2,7	I,0	0,0I2
7.	Кислые (гранитоиды)	92	2,2	25,4	4,I	0,066
8.	Гнейсы и кристаллические сланцы	205	I,5	I3,5	I.8	0,038
9.	Карбонатные (мрамор)	I8	0,4	I,8	0,5	0,007

метрическим методами определено содержание радиоэлементов в главнейших типах пород кряжа (таблица). Расчет интенсивности тепловыделения выполнен по методике Ф.Берча (1950). Интенсивность генерации радиогенного тепла (δq) в породах рифейского комплекса составляет 0,038 мккал/см^2.сек.км, архей-протерозойского - 0,014 мккал/см^{2}сек.км. Суммарная генерация тепла оценена для нескольких моделей строения и состава коры с учетом распространенности пород. Вся кора толщиной (41-46 км) сложена: 1) рифеем - (в этом случае Δq = 1,6-1,7 мккал/см^2.сек.км; 2) археем и протерозоем - Δq= 0,6; 3) рифеем - 10 км, археем и протерозоем - 31-36 км - Δq = 0,8-0,9 мккал/см^2.сек.км. Первая модель приводит к нереальному значению Δq, так как поверхностный тепловой поток на щитах обычно не превышает 0,9-1,0 мккал/см^2.сек. Вторая и третья модели более правдоподобны для южного и северного блоков кряжа соответственно. Однако эти цифры являются оценкой лишь верхнего предела возможного изменения величины Δq в пределах кряжа. Вероятно, что с глубиной распространенность основных пород и гранулитов увеличивается, а δq падает. Приведенные оценки интенсивности тепловыделения и Δq могут быть использованы при интерпретации теплового потока и расчете глубинных температур.

ИНТЕНСИВНОСТЬ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОРОДАХ ЮГА СИБИРИ И ТЕПЛОВОЙ ПОТОК (ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ)

А.Д.Дучков

Для ряда участков Алтае-Саянской области и Западного Забайкалья получены сведения о величине теплового потока (q) и содержания радиоактивных элементов (РЭ) в горных породах. Последние определялись гамма-спектрометрическим методом (В.А. Бобров). По концентрациям РЭ, используя методику Ф.Берча (1954) оценили удельное тепловыделение (δq) в главнейших типах поверхностных пород участков, а затем величину радиогенного теплового потока земной коры (Δq). В последнем случае учитывалась геолого-геофизическая информация о глубинном строении территории.

Сопоставление указанных величин позволяет сделать следую-

щие выводы:

I) Радиогенный тепловой поток составляет 50-70% от q .

2) Наибольшей интенсивностью генерации радиогенного тепла характеризуются гранитоиды, у которых она оценивается в 0,045 -0,085 против 0,0I-0,02 мккал/см^2.сек.км. для основных пород.

3) Относительный вклад "гранитного" слоя в Δq и q наиболее ощутим. Нижняя же часть коры, вероятно, характеризуется невысоким и сравнительно постоянным тепловыделением. Устанавливаемую по нашим данным корреляцию между q и мощностью "гранитного" слоя H - q =(0,69+0,II.H) мккал/см^{2}сек - можно рассматривать как подтверждение этого предположения.

4) В принципе можно говорить о наличии связи между δq и q .В пределах рассмотренных участков Алтае-Саянской области намечается зависимость вида q = 0,I+20. δq и q=0,9+7,5.δq - в Западном Забайкалье. При накоплении данных эти зависимости естественно могут несколько измениться.

Простым сопоставлением установить взаимосвязь между q и δq, очевидно, возможно только в наиболее простой геологической обстановке. Вообще же существует целый ряд факторов, которые следует учитывать при установлении таких связей.

Во-первых, оценка δq должна производиться не только по интенсивности генерации радиогенного тепла в керне скважин, где измерено q . Во внимание также следует принимать тепловой эффект пород, выходящих на поверхность вокруг пункта определения q в радиусе несколько десятков километров. Например, на участке "Гуджир" (Западное Забайкалье) тепловой поток равный I,8 мккал/см^2.сек , определен по скважинам, пробуренным в кварцевых диоритах, характеризующихся весьма низким тепловыделением - δq = 0,0I3 мккал/см^2.сек.км. Тело кварцевых диоритов невелико по площади, преобладают же в районе выходы гранитоидов Джидинского интрузивного комплекса (Pz_1), тепловыделение в которых существенно выше - 0,II5 мккал/см^2.сек.км. Последняя величина δq лучше коррелируется со значением теплового потока участка.

Во-вторых, значение теплового потока должно быть исправлено с учетом влияния поверхностных факторов (нерегулярности подземного и дневного рельефа, колебания температуры поверхности Земли, современные тектонические движения и др.), если редукции превышают точность определения q .

РАДИОГЕННЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК ЮЖНОГО УРАЛА

В.Ф.Салтыков, В.Н.Краснова

Урал в геотермическом отношении изучен недостаточно. Ю.А. Ежов (1968) на основании определения температур в скважинах глубиной до 3 км вычислил геотермический градиент, равный для Предуралья (в $^{0}C/100$ м) 1,86, центральной части - 1,73 и Зауралья - 4,77. Этот автор отмечает нарастание геотермического градиента с глубиной и объясняет аномальность восточных районов повышенным тепловым потоком.

Средние величины теплового потока приводятся в работах Я.Б.Смирнова (1967) и А.А.Смыслова (1969) и равны 1,25 и 1,28 мкал/см^{2}.сек, соответственно. При региональных радиогеохимических исследованиях мы получили необходимые данные (таблица) для вычисления доли радиогенного тепла (Δq) в общем тепловом потоке (q) для Южного Урала.

Структурно-формационная зона	Уран	Торий	Калий	Генерация тепла	Радиогенный тепловой поток
	п.10^{-6} г/г		%	п.10^{-14} кал/г.сек	мкал/см^{2}.сек
1. Предуральский краевой прогиб	2,2	4,0	1,00	8,48	0,77
2. Западно-Уральская зона внешней складчатости	1,8	4,0	0,50	7,12	0,77
3. Центрально-Уральское поднятие	1,4	5,5	1,20	7,74	0,75
4. Магнитогорский прогиб — запад.часть	0,9	2,9	0,65	4,47	0,43
центр.часть	2,2	6,3	1,65	10.49	0,59
вост.часть	1,5	5,4	1,07	7,80	0,71
5. Восточно-Уральское поднятие	3,0	8,4	1,82	13,81	1,05
6. Восточно-Уральский прогиб	3,3	8,0	1,54	14,01	0,92
7. Зауральское поднятие	2,6	7,8	1,53	12,26	0,95
Среднее по Южному Уралу	2,1	5,8	1,22	9,57	0,77

В качестве геологической основы для расчета радиогенного теплового потока использован геолого-геофизический профиль

Южного Урала, составленный И.Д.Соболевым (1968). Расчет произведен следующим образом. Вычислены поверхностные тепловыделения (А) каждой геологической формации по пересчетным коэффициентам Ф.Берча $2{,}32.10^{-8}$ кал/г U .сек, $0{,}63.10^{-8}$ кал/г Th .сек, $8{,}56.10^{-13}$ кал/г К.сек, , а также средневзвешенная величина А для каждой зоны. Тепловыделения радиоэлементов одной или нескольких геологических формаций соотносились с соответствующим слоем земной коры по геолого-геофизическому профилю. Для базальтового слоя приняты следующие концентрации радиоактивных элементов : U - 0,5 г/т, Th - 2 г/т, К - 0,3 %.

По характеру распределения Δq можно выделить три блока. Западный (зоны I,2,3) характеризуется мощной земной корой с развитым гранитным слоем, прослеживаемым от Русской платформы (Соболев, 1968). Вследствие близости глубинного строения в структурно-формационных зонах отмечаются одинаковые Δq с достаточно однородным распределением по всем геологическим формациям. Центральный блок (зона 4) отвечает герцинской эвгеосинклинали с приподнятым базальтовым и утоненным гранитным слоями. В этом блоке в связи с характером глубинного строения и развитыми геологическими формациями отмечается нарастание Δq с запада на восток. Восточный блок (зоны 5,6,7) характеризуется дальнейшим увеличением мощности гранитного слоя за счет широко проявленных метаморфических и гранитоидных формаций с высокими радиогеохимическими параметрами, что обусловило максимальные значения Δq. Вероятно, в прошлые геологические эпохи величина теплового потока здесь была значительно больше современной, что вызвало интенсивный метаморфизм и гранитный магматизм.

Для всего Южного Урала доля Δq составляет примерно 60% общего теплового потока. Такие же соотношения отмечаются и для других регионов с развитой континентальной корой (Дучков,1972).

ГЕНЕРАЦИЯ РАДИОГЕННОГО ТЕПЛА В ЗЕМНОЙ КОРЕ КАМЧАТКИ

Ю.М.Цузанков

Более 1000 гамма-спектрометрических определений U , Th , K позволили рассчитать средние концентрации этих элементов и генерацию радиогенного тепла (А) в главнейших типах пород Камчатки. Показано, что lg A связаны линейной зависимостью с составом пород (SiO_2) (рис.I), интенсивность тепловыделения

в осадочном чехле занимает промежуточное положение между значениями А для средних и кислых магматических образований (ближе к последнему). Полученные величины использованы при выяснении радиогеологической зональности земной коры и определении доли радиогенного тепла (Δq) в общем региональном тепловом потоке (q). Рассчитанный с учетом данных ГСЗ о мощности земной коры радиогенный тепловой поток Западной Камчатки соответствует 0,7 мк кал/см^2.сек, что накладывает существенное ограничение на предполагаемые модели строения и состава земной коры. Ограничение снимается, если за реальные содержания U, Th , K в "гранитном" слое Восточной Камчатки принять их средние концентрации в метаморфических и магматических породах фундамента этой части региона. Низкая интенсивность генерации радиогенного тепла в породах земной коры Камчатки является, очевидно, причиной невысокого теплового потока, наблюдаемого на поверхности (таблица). По величине потока q_o , идущего от мантии, восточные районы полуострова относятся к областям с аномальным тепловым режимом, что соответствует реальной геологической и геофизической ситуации.

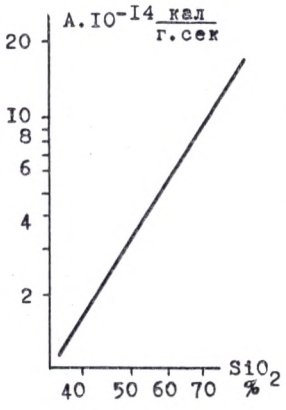


рис.I.

Генерация радиогенного тепла в ультраосновных, основных, средних, кислых породах и их метаморфических аналогах

Районы	q	Δq	q_o	$\Delta q : q$, %
Западная Камчатка	I,25 / I,2-I,3	0,7 / 0,67-0,72	0,55	56
Малки-Петропавловская зона	I,44 / I,2-I,6	0,35 / 0,2-0,5	I,I	25
Восточные полуострова	0,9 / 0,79-I,05	0,I2 / 0,I-0,I5	0,78	I3

К ВОПРОСУ О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, ПРОИСХОЖДЕНИЯ И РОЛИ РАДИОАКТИВНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДАГЕСТАНА

М.К.Курбанов, О.А.Мамаев

Геолого-тектонические особенности Дагестана определяются расположением его на стыке двух крупнейших геоструктур - Русской платформы и Главного Кавказского мегаантиклинория, что обусловило блоковое строение кристаллического фундамента, огромную мощность мезо-кайнозойского осадочного чехла (до 8-12 км), высокую геотермическую и сейсмическую активность недр.

Содержание радиоактивных элементов в осадочной толще Дагестана колеблется в %: уран 10^{-4} от I до 45, торий 10^{-4} от I до 54, калий от 0,02 до 4,5; соответственно в подземных водах составляет: уран - от п.10^{-8} до п.10^{-5} г/л, радий от п.10^{-13} до п.10^{-10}, радон от 0,I до 32 эман.

Исследование радиоактивности подземных вод и пород Дагестана позволяет разработать рекомендации по поискам рудных, полиметаллических, газонефтяных залежей; месторождений минеральных радоновых вод; выяснить роль радиогенного тепла в теплоэнергетике недр и использовать вариации содержания растворенного в подземных водах радона для прогнозирования сейсмических толчков.

Генерация тепла за счет радиоактивности мезозойских пород платформенного Дагестана составляет $\Delta q_{рад} = 0{,}0060$ мкал/см^2.сек. на I00 м пород, в то время как те же отложения в Предгорной части характеризуются $\Delta q_{рад} = 0{,}0035$. Соответственно кондуктивный тепловой поток составляет (в мкал/см^2.сек) I,03-I,56 (ср.I,30) и 0,65-I,05 (ср.0,85), что свидетельствует о значительной роли радиоактивности пород в формировании теплового потока (20%) и наличии прямой зависимости между ними.

Об этом свидетельствует также значительное содержание растворенных в пластовых водах и рассолах газов радиоактивного происхождения: гелия 0,I9-9,8 (ср.I,50), аргона 0,25-4,77 (ср.I,55) и водорода от I0 до 200, а в редких случаях до I400 см^3/л.

Во время Дагестанского землятрясения I970 г. в миатлинских и зурамакентских минеральных источниках наблюдалось значительное повышение содержания радона, соответственно в преде-

лах от 3,2 до 6,1 и от 5,3 до 18,7 эманов, что позволяет рассматривать вариации радона наряду с другими газами как критерий для прогнозирования сейсмических толчков, при непрерывной регистрации и с учетом конкретных геолого-тектонических условий района.

VI. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ

СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ В МЕЖДУНАРОДНЫХ, НАЦИОНАЛЬНЫХ И ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СТАНДАРТАХ ГОРНЫХ ПОРОД

О.П.Соборнов

I. Значение геохимических стандартов горных пород является совершенно очевидным. Работы по созданию отечественных стандартов проводятся в ряде организаций. Однако в настоящее время не существует еще единых стандартов, равных по значению стандартам BCR - I, G - 2, GSP -I, AGV -I и некоторым другим. В стандартах, созданных в ИГЕМ АН СССР, основное внимание уделялось определению породообразующих элементов. В межлабораторных стандартах ВСЕГЕИ ГI-С, Г2-С и ДI-С определены только радиоэлементы. Существуют также стандарты с рудными концентрациями отдельных радиоэлементов.

2. Одним из наиболее эффективных методов определения содержаний радиоэлементов в горных породах является метод гамма-спектрометрии. В отличие от деструктивных методов анализа в нем используются образцы и стандарты массой от нескольких десятков грамм до нескольких килограмм. Это обстоятельство снижает требование к гомогенности исследуемых образцов и стандартов.

3. Масса международных стандартов, которыми мы располагали, исчисляется десятками грамм и непрерывно сокращается. Поскольку эти стандарты не могут быть использованы для калибровки γ-спектрометров в различных геометриях измерений, нами была выполнена работа по сопоставлению содержаний радиоэлементов в указанных выше международных стандартах Японии (JG -I), Канады (SY - I) и в межлабораторных стандартах ВСЕГЕИ. Кроме того, были определены радиоэлементы в стандартах ГДР и в стандартах, изготовленных в ИГЕМ АН СССР. Выполнение этой работы позволило привязать стандарты ВСЕГЕИ и ИГЕМ к международным стандартам и в дальнейшем, располагая необходимым количеством вещества этих стандартов, проводить калибровку низкофоновых γ-спектрометров в различных геометриях измерений. Кроме того, стало возможным сопоставление получаемых нами результатов с данными исследователей разных стран, использующих в своей работе указанные стандарты.

4. В публикациях компилятивных данных (Flanagan , 1969, 1973) не указываются погрешности определения концентраций радиоэлементов, а приводятся рекомендуемые значения содержаний. Использование единого комплекса высокочувствительной аппаратуры позволяет увязать результаты различных анализов и оценить погрешности определения радиоэлементов.

5. Необходимо дальнейшее проведение исследований, направленных на создание общесоюзных геохимических стандартов горных пород и, в частности, тех же стандартов, но изготовленных применительно к методу гамма-спектрометрии

6. Повышение производительности лабораторных и полевых гамма-спектрометрических исследований может быть достигнуто путем внедрения спектрометрических детекторов с кристаллами CsJ , обладающих большей плотностью, механической прочностью и позволяющих более просто решить задачу стабилизации энергетических шкал гамма-спектрометров с использованием альфа-реперных источников. Детекторы CsJ (Tl) обладают большей эффективностью счета, чем детекторы NaJ (Tl) аналогичных размеров. Их применение особенно целесообразно при использовании в диапазоне температур от +20 до +60^{0}C, где они также превосходят детекторы NaJ (Tl) по стабильности амплитуды сигнала.

ПРЕЦИЗИОННАЯ ПЕШЕХОДНАЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЯ КАК МЕТОД РАДИОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Б.В.Комаров, Ю.И.Сидоров, В,Г.Спиридонов, Н.П.Ермолаев, А.С.Аверина

Исключительная экспрессность и мобильность полевой пешеходной гамма-спектрометрии определяет не только возможность статистического подхода при региональных радиогеохимических исследованиях, но и возможности корректирования исследований по ходу развития работ. Однако применяемые в настоящее время приемы градуировки полевой аппаратуры в лабораторных условиях не позволяют достичь прецизионности, необходимой при создании радиогеохимических карт.

На результаты полевых измерений существенно влияют климатический и геоморфологический факторы, а также космическое излучение , средний уровень воздействия которого в разных энергетических диапазонах шкалы меняется в зависимости от абсолют-

ной отметки района исследований,

Климатический и геоморфологический факторы влияют, в первую очередь, на смещение урано-радиевого равновесия. Так, в условиях аридного выветривания пониженные участки рельефа и районы с ограниченным стоком концентрируют уран, мобильный во влажный сезон года. Таким образом, в периферических частях такыров и котловинах урано-радиевое отношение сдвигается в пользу урана. В районах с гумидным выветриванием роль этого фактора второстепенна.

Влажность климата определяет не только формирование почвенного покрова, участвующего в концентрации и рассеянии радиоэлементов, но и интенсивность эксгаляции радона и торона, и, наконец, возникновение пылевых продуктов выветривания, взвесь которых повышает радиоактивность припочвенного воздуха.

Влияние отмеченных факторов может быть учтено при градуировке аппаратуры на местности, на точках с известными концентрациями радиоактивных элементов. Для повышения прецизионности метода необходимо проводить районирование региона исследований по высотно-геоморфологическому и литологическому признакам. Так, в контуре выделенных на местности рыхлых или пористых пород возможен учет интенсивности процессов инсоляции, формирующих экзогенный слой с повышенной радиоактивностью. На этих же участках получают развитие пылевые продукты, склонные к ветровому перемещению. Поправочные коэффициенты внутри такого контура будут всегда больше, чем за его пределами.

Учет отклонения геометрии измерения от геометрии эталонирования прибора осуществляется с помощью экспериментально полученной номограммы поправок, составленной для фиксированного положения детектора излучения в свинцовом экране с открытой торцевой частью.

Использование отмеченных выше технических средств защиты от бокового излучения, учет направленных тенденций перераспределения радиоактивных элементов в условиях различного климата и рельефа, а также эталонирование аппаратуры на местности существенно повышают метрологические характеристики метода. В наиболее тяжелых условиях измерения воспроизводимость результатов пешеходной гамма-спектрометрии для урана (по радию) - 20% относительных в интервале концентраций $(3\text{-}10).10^{-4}$%; для тория - 32% при концентрациях $(2\text{-}3).10^{-4}$%; для калия - 22%

при концентрациях 0,5-I%. В благоприятных условиях относительная воспроизводимость результатов полевых измерений улучшается примерно вдвое, составляя 8, 2I и I3% соответственно.

РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФОН - РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНООБРАЗНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ю.В.Ильинский. Г.Б.Кочкин

По мере все более углубленного изучения геохимии урана и тория в различных горных породах и геологических ситуациях обнаруживается сложная природа радиогеохимического фона. Проведенные детальные исследования на участках различного геологического строения позволили установить ряд этапов последовательного изменения рассеянных распределений урана и тория.

Например, в изученных породах габбро-плагиогранитной и гранитной формаций содержания радиоактивных элементов последовательно определяются магматической дифференциацией, ассимиляцией вмещающих пород, кремне-калиевым метасоматозом, развитием зон дробления и брекчирования, гидротермальным метаморфизмом, выветриванием. Для терригенных пестроцветных отложений процессы формирования геохимического фона зафиксированы в ходе осадконакопления (гранулометрической дифференциации), диагенеза осадков (литификации, оглеения и др.), изменения органического вещества, выветривания. Принципиально сходная картина намечается и для осадочно-вулканогенных метаморфизованных и морских карбонатных пород, распределение урана и тория в которых, в частности, осложнено региональным метаморфизмом.

Радиогеохимические свойства пород, таким образом, определяются особенностями их происхождения и дальнейшей геологической историей. При этом в радиогеохимических особенностях специфика развития пород выражается нередко более наглядно и улавливается практически легче, чем при изучении обычными геологическими методами.

Полученные данные позволяют выделить две группы процессов эволюции геохимического фона. К первой группе относятся конститутивные или определяющие процессы, которые обусловливаются руководящими породоформирующими факторами и приводят к образованию типоморфных или конституционных концентраций, присущих данному типу пород независимо от конкретных условий их

формирования. Вторая группа - стохастические или вероятностные процессы, действующие пространственно избирательно только в локальных условиях под влиянием случайных (наложенных) явлений. Они обуславливают частные вариации содержаний урана и тория в породах непосредственно на данном участке. Современное фоновое содержание элементов является суммарным результатом разнотипных и разновозрастных процессов, каждый из которых отражается в изменении статистических параметров распределения (в частности, в увеличении коэффициента вариации), нарушений корреляционных связей урана и тория с породообразующими элементами, появлении новых связей, а также преобразовании форм нахождения урана в породах. Так, например, в изученных породах габбро-плагиогранитовой формации конституциональное распределение элементов подчиняется нормальному закону при очень низком коэффициенте вариации ($\sim$ 25-35%), тесной корреляционной связи урана с кремнием ($r_{U,SiO_2} > 0,7$). В ходе кремнещелочного метасоматоза увеличиваются содержание урана, дисперсия его распределения (в 2-3 и более раз), коэффициент корреляции с калием или натрием (до 0,1-0,5 и более).

В процессе формирования зон дробления еще более увеличивается коэффициент вариации (до 150% и выше) и повышается роль легкоподвижной формы урана. При выветривании происходит вынос урана из разрушающихся минералов и сорбция его образующимися гидрогематитовыми и каолинитовыми агрегатами. Величина изменений статистических параметров зависит от интенсивности проявлений тех или иных процессов в каждом конкретном случае.

Обычно, стремясь исключить влияние случайных факторов на формирование геохимического фона, исследователи опробуют как можно менее измененные наложенными процессами разновидности пород, а также (поскольку неизмененных пород практически не существует) используют специальные методы статистической обработки результатов измерений, известные в математике как "подавление шумов" или "аппроксимация (приближенное выделение) полезных сигналов". Однако для решения многих теоретических и прикладных задач геохимии и металлогении и, в частности, изучения процессов миграции урана, влияющих на образование или разрушение рудных концентраций, необходим как можно более полный учет влияния каждого из факторов и его места в эволюции геохимического фона.

Рассмотренные данные по особенностям формирования радиогеохимического фона должны учитываться при решении ряда методических вопросов (например, определения минимально-аномальных концентраций, оценки других геохимических параметров), а также вопросов корреляции формационной принадлежности пород и возможной связи с ними оруденения.

ЭКСПРЕССНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАРКОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА И ТОРИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПО ЗАПАЗДЫВАЮЩИМ НЕЙТРОНАМ

Е.Г.Вертман, Р.Н.Мещеряков, Ю.М.Столбов

Классические методы определения урана и тория при кларковых их содержаниях, как правило, трудоемки, хорошо работают в ограниченных диапазонах концентраций, а результаты анализа часто зависят от химического состава анализируемых объектов.

Из ядерно-физических методов определения урана и тория наибольшей перспективностью, на наш взгляд, обладает метод, основанный на регистрации запаздывающих нейтронов. Для реализации этого метода на базе реактора ИРТ-2000 нами разработана установка, позволяющая измерять содержания урана и тория по запаздывающим нейтронам.

В докладе приводятся описание установки и методики измерений урана и тория.

Производительность методики составляет 20 анализов в час. Диапазон измеряемых концентраций для урана от 10 до 10^{-5} %, а для тория от 10 до 10^{-3}% при точности не ниже 5%. Представительность пробы 10-20 г.

Работоспособность метода запаздывающих нейтронов наглядно иллюстрируют результаты определения содержания урана в геологических стандартах (таблица 1).

Чувствительность метода на данной установке может быть повышена более чем в 10 раз за счет увеличения потока нейтронов, необходимого для облучения образцов, и за счет увеличения эффективности регистрации нейтронов счетной системы установки.

Таблица I

Содержание урана в геологических стандартах

№№ пп	Шифр	Образец	Содержание урана, % отн.	
			Метод запаздывающих нейтронов	Паспортные данные эталонов
I.	№ II	Глина, известняк	0,0066	0,0064
		кварц	0,0065	
2.	№ I2	Глина, известняк	0,032	0,029
		кварц	0,032	
3.	М-I	Известняк	0,070	0,070
			0,070	
4.	Д-I	Уголь- 60-80%	0,07I	
		каолин и серицит 6-20%	0,070	0.072
		кварц 5-23%		
		кальцит 4-I2%		
5.	Ж-I	Альбит 50%		
		биотит 25%	0,082	
		гематит, магнетит 20%	0,0827	0,083

РАДИАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ЦЕНТРЫ В МИНЕРАЛАХ

Л.В.Бершов, А.С.Марфунин

Природные радиоактивные элементы (K^{40}, U^{238}, Th и др.) являются главным источником ионизирующей радиации в горных породах, которая генерирует в кристаллической решетке минералов электроны и дырки, способствует их перераспределению между различными точечными дефектами, а также стимулирует диффузию атомов и ионов в структуре. Точечный дефект, вызывая локальное нарушение электронейтральности кристаллической решетки, играет роль ловушки для электронов или дырок. Захвативший электрон или дырку дефект называется соответственно электронным или дырочным центром. Имея незаполненную электронную конфигурацию, эти центры дают сигнал электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), по которому однозначно идентифицируются в соответствии с расчетными константами и кристаллоструктурными характеристиками минерала.

Наличие тех или иных центров в минерале, изучение их радиа-

ционной природы, реакции на физические воздействия позволяют судить о радиационной и термической истории образца.

Поскольку электронно-дырочные центры в большинстве своем имеют радиационную природу и устойчивы в течение геологических отрезков времени, они могут рассматриваться как следы присутствовавших примесных радиоактивных элементов в минералах. Это представляется особенно важным в свете проблемы определения микрограммового содержания радиоактивных элементов, т.к. подобные определения сталкиваются с существенными аналитическими и инструментальными трудностями.

Особый интерес электронно-дырочные центры представляют в том случае, когда радиоактивные элементы удалены частично или полностью из породы, что затрудняет применение радиометрических методов.

Моделируя образование электронно-дырочных центров различными искусственными источниками радиации (α, n, γ, e и т.п.) и сопоставляя полученные результаты с наблюдениями на кристаллах, можно оценить суммарные дозы радиации, полученные образцом и, соответственно, содержание радиоактивных элементов, или, если содержание последних известно, провести возрастные сопоставления. Изучение термической устойчивости центров показывает, что область стабильности большинства из них лежит в пределах 100-500^{0}С. Сопоставление кривых термического разрушения центров и термолюминесценции дает возможность расшифровать природу фиксируемых пиков.

В настоящее время в природных кристаллах изучено более сотни различных центров. Наибольшие концентрации центров характерны для минералов, содержащих повышенные количества радиоактивных элементов (апатит, циркон) или образовавшихся в условиях повышенного радиационного фона, В последнем случае значительные концентрации центров присутствуют в обычных жильных минералах (кварц, полевой шпат, кальцит и т.д.), позволяя проследить рассеяние примесных радиоактивных элементов.

Рассматриваются условия благоприятные для возникновения, стабилизации и накопления различных типов электронно-дырочных центров в различных классах минералов, анализируется связь присутствующих центров с оптическими и люминесцентными образованиями. Приводятся примеры различных классов электронно-дырочных центров в конкретных структурных типах минералов.

ДОЗИМЕТРИЯ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ СУЛЬФАТОВ И БЕРИЛЛИЙСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ

А.В.Спиранский, Т.Н.Логинова, Р.М.Минеева, Л.В.Бершов

Изучение теплового баланса, миграции, рассеяния и концентрации радиоактивных элементов требует точных количественных данных об их микрограммовых концентрациях как в горных породах, так и в отдельных минералах. Существующие разновидности нейтронно-активационного анализа с предварительной радиохимической подготовкой, обеспечивающие достаточную точность и чувствительность, наряду с большой трудоемкостью аналитической процедуры требуют значительной навески. Поэтому эти способы не годятся для мелких выделений минералов. Использование ЭПР - электронно-дырочных центров, являющихся радиационно и генетически обусловленными, позволяет проследить радиационную историю того или иного минерала.

На примере баритов, представленных минералами как редкометальных рудопроявлений, так и месторождений других металлов (полиметаллические, ртутно-сурьмяные и др.), показано, что их электронно-дырочные центры существенно различаются и по концентрации и по характеру. Проведено модельное изучение и оценка влияния различных доз облучения на процесс образования центров. Приводятся структурно-обоснованные модели центров и их термическая устойчивость, позволяющая прослеживать миграцию радиоактивных элементов и термическую историю образца. Использование барита особенно удобно для исследования радиационного влияния U , а Be - содержащие минералы, в частности из месторождений с развитием процессов калиевого метасоматоза, благоприятствуют выявлению особенностей радиационного влияния K^{40}. Электронно-дырочные центры были исследованы в следующих Be-содержащих минералах: берилле, фенаките, миларите, бавените, гердерите. Полученные результаты свидетельствуют о большом разнообразии центров в этих минералах. Изучена большая группа водородсодержащих центров, широко распространенная в различных Be-содержащих минералах, но из сходных условий щелочного метасоматоза. Представляет интерес группа электронных центров PO_3^{2-}, Ti^{3+} (фенакит, берилл), с которыми связаны особенности термолюминесценции.

Исследование проводилось на радиоспектрометре РЭ-1301 в

широком интервале температур. Отработка методики велась на монокристаллических выколках. Метод ЭПР обладает достаточной экспрессивностью, простотой подготовки образцов и высокой воспроизводимостью результатов, вследствие индивидуальной величины дозы, полученной природными образцами, проведены модельные эксперименты с наведением радиоактивности (^{60}Co-пушка).

ВЛИЯНИЕ α - И γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ AI И E - ЦЕНТРОВ В КВАРЦЕ

Б.М.Моисеев, Л.Т.Раков

Существование долгоживущих электронно-дырочных центров (э.д.ц.) обусловлено свойствами кристаллических решеток минералов и их радиоактивным облучением. Последняя особенность э.д.ц. может быть использована в палеодозиметрии для изучения распределения в минералах доз излучений радиоактивных элементов, содержащихся во вмещающих породах, в зависимости от различных эпигенетических процессов. Концентрация в минерале э.д.ц. при определенных условиях пропорциональна дозе, что эквивалентно зависимости количества центров от содержания радиактивных элементов в породе и времени облучения минерала-дозиметра. Эта зависимость находит широкое применение при изучении процессов миграции U^{238} и Th . Первые работы в этом направлении выявили большие возможности при изучении некоторых месторождений и условий формирования оруденения.

Наиболее перспективным природным дозиметром является кварц. Измерение дозы в кварце ведется по концентрации E- и AI-центров, представляющих собой соответственно неспаренный электрон на разорванной Si-O связи и дырку на алюмокислородном тетраэдре при изоморфном замещении кремния.

Электронный парамагнитный резонанс дает наиболее полную информацию о строении и величине концентрации э.д.ц. В работе этим методом исследовалось влияние α и γ -излучения на эффективность образования AI- и E-центров в естественных условиях и при лабораторном облучении кварца.

Известно, что при распаде U^{238} до 90% энергии приходится на α -излучение. Однако, эффективное сечение реакции образования AI- и E- центров в кварце не известно. С этой целью нами были проведены две серии опытов.

Первая серия - по облучению на источнике α -частиц

(Pu^{238}) и на γ -источнике (Co^{60}). Облученные образцы сравнивались между собой и с кварцами из осадочных терригенных пород, содержащих повышенные концентрации урана, т.е. с минералами, облученными в природных условиях.

Вторая серия экспериментов состояла в изучении распределения концентрации Al- и E- центров по диаметру кварцевых зерен. Исследовались искусственно α - и γ -облученные зерна SiO_2 и кварц, облученный в естественных условиях.

Обе серии экспериментов показали, что наибольшую концентрацию E-центров в кварце создают α -частицы. Al-центр в SiO_2 образуется исключительно вследствие γ -излучения. Поскольку аналогичная зависимость распределения Al- и E-центров по диаметру зерна наблюдалась на кварце из пород с повышенным содержанием урана, можно считать, что концентрация э.д.ц. в них обусловлена теми же видами радиации.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать SiO_2 как селективный палеодозиметр на α - и γ -излучение.

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕПАРАМАГНИТНЫХ E-ЦЕНТРОВ В КВАРЦЕ ОТ ВИДА РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Б.М.Моисеев, Л.Т.Раков

Пропорциональная зависимость концентрации E-центров в кварце от величины дозы облучения его радиоактивными элементами в горных породах получила широкое использование в ряде геологических задач. Известно, что при термической обработке кварца, содержащего E-центры, концентрация последних, измеряемая методом ЭПР, возрастает. Максимальное увеличение концентрации наблюдается при температурах 250°C-300°C. Этот процесс связывается с переходом первоначально непарамагнитных E-центров в парамагнитное состояние.

Задача исследования состояла в определении зависимости концентрации непарамагнитных E-центров в кварце от вида радиационного облучения. Природное излучение представляет собой наложенное воздействие различных видов радиации. Существенную роль в образовании парамагнитных E-центров в кварце играют α - частицы. Для определения основной компоненты природного ионизирующего излучения, ответственной за образование непарамагнитных E-центров, были поставлены следующие эксперименты:

I) Образцы поликристаллического кварца, α - или γ -облученные в лабораторных условиях дозой, сравнимой с природной,

подвергались термической обработке в интервале температур от 150°С до 450°С. Обнаружено, что в процессе отжига концентрация Е-центров в α-облученном кварце увеличивается не более, чем на 30%. В тех же образцах кварца, после γ-облучения, отмечено увеличение при термообработке концентрации Е-центров в несколько раз.

2. Объемное распределение непарамагнитных Е-центров по зерну SiO_2, облученного в природных условиях, было изучено на кварцах из пород с повышенным содержанием радиоактивных элементов. С этой целью поликристаллы кварца обрабатывались в плавиковой кислоте, а затем отжигались в указанном интервале температур. Было установлено, что после растворения поверхностного слоя толщиной, равной пробегу α-частицы с энергией 5 Мэв в SiO_2, оставшийся объем кварцевого зерна имеет концентрацию непарамагнитных Е-центров, примерно в 3 раза большую, чем исходный объем зерна SiO_2.

Контрольное растворение прогретых до 300°С образцов кварца из пород с повышенным содержанием радиоактивных элементов выявило более высокую концентрацию Е-центров в глубине зерна SiO_2 (за счет проявления при отжиге ее непарамагнитной составляющей), по сравнению с концентрацией в непрогретых минералах.

Проведенные эксперименты позволяют сделать заключение, что непарамагнитные Е-центры в природном кварце возникают преимущественно под действием γ-излучения. Показано селективное влияние α- и γ-излучения на образование электронно-дырочных центров в SiO_2.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ОРУДЕНЕНИЯ

А.М.Данилевич, В.В.Павшуков

1. Применение метода ЭПР в радиогеологии позволило разработать на основе изучения радиационных дефектов в кварцах новые способы исследования миграции радиоактивных элементов и определения возраста оруденения.

2. Методом ЭПР определяется концентрация радиационных дефектов в кварцах, зависящая от длительности облучения и содержания радиоактивных элементов в горных породах, что делает

возможным использование метода ЭПР для определения возраста оруденения.

3. Устойчивость радиационных дефектов в кварцах в сочетании с высокой чувствительностью метода ЭПР определяет использование метода в комплексе с геолого-геохимическими исследованиями для изучения эволюции рудных процессов и восстановления путей миграции радиоактивных элементов.

4. Возраст оруденения с помощью метода ЭПР определяется двумя способами:

Первый способ основан на том, что концентрация радиационных дефектов в кварцах при малых дозах облучения прямо пропорциональна содержанию урана и возрасту оруденения. Этот способ применим для молодых рудных образований до 500 млн.лет.

Второй способ основан на определении возраста оруденения по соотношениям между различными типами радиационных дефектов в кварцах, отличающихся по энергиям активации. Это соотношение не зависит от содержания радиоактивных элементов, а определяется длительностью облучения. При этом, относительная концентрация более устойчивых радиационных дефектов тем выше, чем древнее оруденение. Этот способ применим для объектов любого возраста.

5. На примере одного из районов показаны результаты применения метода ЭПР для доказательства полихронности месторождений в активизированных структурах и выделения основного рудоформирующего этапа, связанного с альпийским тектогенезом.

РОЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВАТОРОВ И СОАКТИВАТОРОВ В ЯВЛЕНИИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИ ПРОЦЕССЕ НАТРИЕВОГО МЕТАСОМАТОЗА

З.А.Степина, Н.Г. Костюковская, В.А.Титова

Ряд крупных промышленных месторождений радиоактивных элементов на территории древних кристаллических щитов приурочен к мощным зонам натриевого метасоматоза.

В качестве одного из диагностических признаков рудовмещающих альбититов была выявлена их способность к люминесценции в красной области спектра под воздействием коротковолнового ультрафиолетового излучения. Спектроскопическими исследованиями в качестве активатора и соактиватора определены изоморфные примеси трехвалентного железа и двухвалентного свинца, соответственно замещающих в кристаллической решетке альбита ионы крем-

ния и натрия.

Интенсивность люминесценции альбититов различна, что, с одной стороны, зависит от содержания активирующих и соактивирующих добавок, а с другой стороны, от минерального состава исходных пород. По полученным на сегодняшний день данным, альбититы, не несущие оруденения, совсем не люминесцируют или люминесцируют слабо, тогда как зоны альбитизации, включающие рудные тела, сложены , в основном, интенсивно люминесцирующими разностями.

Одновременно, в околорудных зонах отмечаются проявления аномальных значений магнитной восприимчивости и поляризуемости, что, повидимому, связано с перераспределением и привносом железа в самостоятельных минеральных формах (гематит, магнетит и др.).

Таким образом, рудоносные зоны натриевого метасоматоза характеризуются совокупностью петрофизических параметров, обусловленных, главным образом, поведением железа в гидротермально-метасоматическом процессе. Использование комплекса экспрессных геофизических методов (люминесцентного, ВП, каппаметрии) позволяет получить объективную картину, отражающую процессы миграции и концентрации ряда элементов, участвующих в процессе дорудного натриевого метасоматоза, в изменении физических свойств. Рудные залежи изученных месторождений пространственно приурочены к совокупным аномалиям этих признаков.

О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

В.Н.Сальников

Представляет интерес зависимость значений электропроводности калийсодержащих горных пород и минералов в области собственной проводимости 800-1000°С от геологического времени.

Под действием температуры и приложенного постоянного напряжения в минералах кварца, ортоклаза и горных породах, их содержащих, возможно образование новых соединений и полиморфных модификаций, которые фиксировались изменениями энергии активации носителей тока и их концентрации, максимумами и минимумами значений электропроводности в интервале температур 800-970°С. Точки изменения энергии активации на температурной

зависимости электропроводности характеризуют переход системы из нестабильного состояния, наведенного в течении времени, в более стабильное или энергетически выгодное, к которому она стремилась и частично переходит в результате диффузии и катионного обмена при обычных температурах в геологических условиях. Количество энергии для образования устойчивости, в данных условиях симметрии и соединения, будет зависеть от возраста минерала и содержания элементов, в том числе и K^{20}. Замена K^{40} на Ca^{40} в результате β-распада должна была бы привести к образованию новой молекулы в структуре минерала, если были бы нарушены химические связи в кремнекислородных тетраэдрах калиевого полевого шпата (КПШ) или мусковите. Эти связи могут быть нарушены при плавлении минерала или частично ослаблены при нагревании соединения, когда будет сообщена энергия (E), необходимая для образования и дрейфа (направленный перенос) собственного иона кристаллической решетки. Приведем в качестве примера упрощенную модель образования молекулы кварца, как результат распада K^{40} и переход системы в более устойчивое состояние при нагревании КПШ.

$$K^{39}AlSi_3O_8.K^{40}AlSi_3O_8 \xrightarrow{\beta\text{-распад}} K^{39}AlSi_3O_8.K^{40}AlSi_3O_8.(Ca^{40}AlSi_3O_8)^{+}$$

→ компенсация заряда OH^-, F^- и др., гидратация и восстановление Fe^{+3} в Fe^{+2} и др.

$$\frac{K^{39}AlSi_3O_8.K^{40}AlSi_3O_8.CaAlSi_3O_8(OH)}{\text{нагревание от 20 до 1100}^0\text{C}} \quad \text{дегидратация при 700-800}^0\text{C} \longrightarrow$$

$$\frac{K^{39}AlSi_3O_8.K^{40}AlSi_3O_8}{\text{полиморфное превращение } \alpha\text{-КПШ в } \beta\text{-КПШ при 870-930}^0\text{C}} \cdot \frac{Ca^{40}Al_2Si_2O_8}{\text{анортит}} + \frac{Si_3O_6}{\text{кварц}} + K^+ + \frac{2O^{-2} + Si^{+4}}{\text{поляризация при 870-970}^0\text{C}} \longrightarrow$$

$$\xrightarrow[\text{выше 970}^0\text{C}]{\text{нагревание}} K^{39}AlSi_3O_8.K^{40}AlSi_3O_8.Ca^{40}Al_2Si_2O_8 + \underbrace{Si_3O_6}_{\text{кристобалит}} + \underbrace{K^+}_{\text{перенос заряда}}$$

По мере накопления в решетке Ca^{40} происходит образование экситонов, катионных и анионных вакансий с возникновением F, V и более сложных центров окраски, которые в течение геологи -

ческого времени могут рекомбинировать с анионами OH^-, F^- и др. при гидратации и диффузии межузельных ионов. Они могут также быть компенсированы в процессе захвата высвобожденных в результате радиоактивного распада электронов некоторыми катионами ($Fe^{+3} \longrightarrow Fe^{+2}$ и др.). При нагревании соединение теряет гидроксильную группу или катионы металлов, изоморфно входящие в решетку, окисляются. Поэтому система стремится к наименьшему энергетическому состоянию, которое может быть осуществлено в пределах температур 870-1100°С, когда ослабевают связи в кристаллической решетке минерала. После процесса дегидратации, окисление катионов железа, в минерале образуется объемный заряд, который препятствует переносу зарядов ионами K^+ по кристаллической решетке минерала, кроме того Ca^{40}, образуя молекулу анортита, высвобождает Si^{+4} в тетраэдрах, что усиливает положительный заряд каркаса КПШ или пластинки слюды. Нагревание выше 970°С приводит к рекомбинации Si^{+4} с O^{-2}, образованию кварца, ликвидации объемного заряда. Момент окончания перехода образца горной породы в энергетически выгодное состояние, после фазовых переходов кварца и ортоклаза фиксируется повышением энергии активации носителей заряда. В области собственной проводимости (970-1100°С) перенос зарядов осуществляется за счет ионов K^+, Si^{+4}, O^{-2}, высвободившихся из кристаллической решетки во время фазовых переходов и в момент стабилизации системы. Количество их зависит от накопления радиогенного кальция, а значение электропроводности может служить для определения степени старения горных пород и минералов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОВЕДЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ. . 3

А.А.Смыслов, А.И.Тугаринов, А.Б.Ронов, В.М.Терентьев, В.К.Титов, Г.М.Шор. Геохимическая зональность территории Советского Союза как результат направленной миграции радиоактивных элементов . . 3

А.И.Тугаринов, А.А.Смыслов, В.К.Титов, Г.М.Шор. Соотношение синтенетических и эпигенетических эпох накопления урана и тория как отражение их направленной миграции в земной коре. 4

Р.Б.Баратов, В.И.Козырев, С.И.Шукин. Радиогеохимические провинции и пространственно-временные закономерности геохимической эволюции урана и тория в геологических формациях Таджикистана и сопредельных территорий. 6

В.А.Рудник, В.К.Титов. Радиоактивные элементы при формировании коровой оболочки Земли. 8

С.И.Шукин, В.И.Козырев. Соотношение эндогенных и экзогенных факторов накопления урана и тория в геосинклинальных отложениях (на примере Тянь-Шаня). I0

Ю.В.Ильинский. О роли тектоники в формировании геохимической зональности Алтае-Саянской складчатой области. II

В.М.Терентьев, Г.М.Беляев, Б.Е.Кудрявцев. Поведение урана и элементов-спутников в концентрически-зональных геохимических структурах зоны активизации Алданского щита. I3

М.И.Цицкосн, В.А.Максимовский, Л.М.Алексеев, Г.В. Дитмар, Г.П.Смирнова. Миграция радиоактивных элементов в процессах тектоно-магматической активизации юга Дальнего Востока I5

Б.К.Львов, Н.И.Петрова, А.С.Житков. Условия накопления радиоактивных элементов в процессах грани-

тообразования и постмагматического перераспределения (Урал). 16
В.П.Ковалев. Корреляционные соотношения урана и тория с петрогенными элементами как показатель их поведения в магматическом процессе. 17
В.Д.Алексеенко, И.Л.Белонин, Б.Г.Ваништейн, Г.Т.Скублов. Факторы, управляющие распределением урана, тория и калия в магматических породах (на примере некоторых районов Казахстана). 19
А.И.Тугаринов, Е.В.Бибикова. Циркон как индикатор распределения урана и тория в магматических и метаморфических породах. 21
Х.С.Таджединов. Поведение радиоактивных элементов в палеовулканическом процессе Центрального Памира 22
Г.А.Шатков, Л.Н.Шаткова. Кислые магматические расплавы как возможный источник рудного вещества урановых месторождений, связанных с вулканогенными формациями. 23
Ю.А.Фомин, В.К.Черепнин. Поведение урана и тория в процессе формирования вулканогенных ассоциаций Северо-Минусинской впадины. 25
А.И.Поляков, О.П.Соборнов. Связь между содержанием урана, тория и калия в вулканических породах Исландии и ее глубинным строением. 27
В.Д.Алексеенко, А.В.Булычев, А.А.Горцевский, Г.В.Нехорошев, Г.Т.Скублов, В.Н.Федоров. Особенности миграции урана и тория при эволюции магматизма различных типов палеозойских складчатых систем Центрального и Южного Казахстана. 28
Р.С.Журавлев, Д.К.Осипов. Поведение урана в эволюции гранитоидного интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау. 30
Р.А.Магдиев, М.А.Шансламова. Формы урана в гранитоидных комплексах Чаткало-Кураминского региона (Средняя Азия). 32
С.М.Бабаходжаев. Некоторые особенности миграции урана в гранитоидных образованиях Карамазара. 33

В.С.Лутков. О некоторых факторах миграции радиоактивных элементов (РЭ) в процессах становления гранитоидов (на примере Северного Памира). 34
М.Б.Акрамов, О.Норметов. Поведение урана и тория в процессе становления гранитоидов Центрального Памира. 36
П.С.Козлова, И.Г.Березина, М.Ю.Гурвич. О перераспределении урана в процессе гидротермального изменения щелочных пород. 38
Ю.А.Багдасаров, Л.А.Березина. О некоторых особенностях геохимии урана и тория в полистадийном процессе формирования щелочно-ультраосновных комплексов. 39
А.С.Сергеев, А.С.Житков. Уран в процессах дифференциации щелочно-ультраосновных магм 41
В.Т.Свириденко. Некоторые закономерности эволюции урана в процессе фракционирования Чинейского габбро-норит-анортозитового лополита 42
Н.Д.Малов, В.К.Титов. Поведение радиоактивных элементов в связи с процессами основного магматизма и ультраметаморфизма (на примере друзитов Беломорья). 44
Э.А.Дмитриев. Уран и торий в различных горизонтах земной коры и мантии на Памире по данным изучения ксенолитов в трубках взрыва. 45
И.В.Мушкин, В.И.Климов. К вопросу о поведении калия и урана при некоторых типах эндогенных процессов (на примере Южного Тянь-Шаня). 47
Ф.П.Кренделев. Дифференциация естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в базальтах островов юго-восточной части Тихого океана. 48
Я.Н.Белевцев, А.М.Жукова. Уран в процессах метаморфизма и ультраметаморфизма (на примере Украинского щита). 50
В.И.Климов, Г.В.Перевозчиков. Причины радиоактивности золоторудных месторождений 52
Т.В.Билибина, А.Д.Дашкова, В.К.Ильгин, Д.И.Макарова,

В.К.Титов, Л.Я.Шмураева. О миграции урана и тория при дислокационном метаморфизме. 53
М.И.Бураков, А.С.Воинов, Ю.С.Полеховский. Роль гранитизации, диафтореза и дислокационного метаморфизма в мобилизации и миграции радиоактивных элементов в докембрийских образованиях Карелии . 54
А.Д.Ножкин. Геохимические тенденции в поведении радиоактивных элементов в процессах метаморфизма пород гранулитовой фации и ультраметаморфизма. . 56
А.С.Митропольский, С.В.Мельгунов, Т.Г.Носова, З.В.Малясова. Уран и торий в процессах контактового метаморфизма горных пород. 58
В.П.Ковалев, А.Г.Миронов, А.Д.Ножкин, З.В.Малясова. Перераспределение и подвижность урана при метаморфизме вулканогенных образований. 60
А.Г.Миронов. Особенности поведения радиоактивных элементов в процессе метаморфизма базальтоидов . . 62
Х.К.Каримов, Х.Н.Баймухамедов. Опыт сравнительного изучения количественного и пространственного распределения (поведения) урана и золота в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма песчано-сланцевых толщ докембрия 64
Х.К.Каримов, Г.А.Жохов, И.М.Аббасов. Поведение естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) и золота при контактовом метаморфизме (на примере Конрабадского массива граносиенитов, Зап.Узбекистан) 66
А.С.Митропольский, С.В.Мельгунов, В.П.Раевский. Поведение урана и тория в процессах высокотемпературного кислотного выщелачивания гнейсов. . . . 67
Э.И.Иванова, Н.Г.Сыромятников, Л.А.Трофимова. Накопление урана и тория в грейзенизированных гранитах и грейзенах как результат мобилизации их из гранитов в процессе послемагматического метасоматоза. 69
Г.М.Беляев, В.М.Терентьев. Поведение урана и тория в процессах образования региональной метасомати-

ческой зональности. 71
А.С.Сергеев, А.С.Воинов, И.П.Еляков. Радиоактивные элементы в процессах щелочного метасоматоза (на примере метасоматитов Кольского полуострова). . 73
И.Г.Минеева, Э.В.Паст. Ассоциации элементов-спутников разновалентного урана в процессе формирования щелочных метасоматитов докембрия. 74
П.А.Раудонис, В.Д.Сидельникова. Поведение урана и некоторых его спутников при формировании околорудных метасоматитов на месторождениях золота. . . 76
В.Г.Круглова, Н.А.Перец. Влияние состава вмещающих вулканических пород на характер урановой минерализации. 78
Ю.М.Пузанков. Накопление радия в травертинах 79
О.П.Елисеева, Б.И.Омельяненко. Изучение мобилизации и перераспределения урана в горных породах с помощью метода осколковой радиографии. 79
Л.П.Рихванов, В.К.Черепнин. Особенности миграции радиоактивных элементов в процессе гидротермального метаморфизма пород наложенных структур девона Кузнецкого Алатау. 80
Ф.И.Ковальский, К.В.Суетнова, В.А.Архангельский, В.В. Прошаков. О проявлении гидротермального процесса и связанной с ним урановой минерализации в пределах активизированных областей палеозойской платформы. 82
А.Б.Ронов, О.П.Соборнов, А.А.Мигдисов. Уран, торий и калий в осадочном чехле русской платформы. 83
А.В.Коченов, С.Д.Расулова. Об условиях мобилизации урана при современном гипергенном рудообразовании . 83
А.И.Пак. Гипергенная зональность и концентрация урана в древних корах выветривания гумидного литогенеза. 84
В.А.Бобров, В.М.Гавшин, А.В.Колбасин, В.И.Разилов. Латеральные неоднородности распределения урана в красноцветной толще по данным полевого радиогеохимического картирования 85

В.А.Филонов. Геохимия урана и его изотопов в майкопских глинах Северного Предкавказья. 87
Е.А.Светозарский. О возможном генетическом значении характера распределения урана и молибдена в молодых сапропелитовых сланцах платформенной территории. 89
Ю.В.Ильинский, В.А.Буев, Л.Н.Шаткова. Процессы миграции урана и тория в породах терригенно-пепловой формации. 90
В.П.Раевский, Л.В.Жданова. Уран и торий в процессе гипергенных изменений гранитоидов Колыванского массива. 9I
Ю.М.Гуртовенко. Условия выноса урана подземными водами из пород основания в чехол при слабо- и сильнорасчлененном рельефе. 93
В.Г.Гарьковец, С.Т.Бадалов, Х.К.Каримов. Условия мобилизации урана при сингенетически-эпигенетическом рудообразовании на примере изучения U-Au-минерализации в докембрийских отложениях. . . . 95
В.И.Данчев. О формах концентрации урана в породах угленосной формации. 97
Е.В.Зубов, Е.А.Жукова. Условия концентрации урана в красноцветных осадочных образованиях 98
Ю.В.Ваньшин, В.В.Гудошников. Факторы концентрации урана в мезо-кайнозойских отложениях 99
Я.М.Кисляков. О характере эпигенетических изменений в древних зонах пластового окисления. I0I
М.Н.Альтгаузен. Источники рудного вещества осадочных месторождений урана. I02
ГЛАВА П. ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ . I04
Г.Б.Наумов. Комплексная модель миграции радиоактивных элементов. I04
Е.Н.Куцель, А.А.Черников. Закономерности формирования радиогеохимического состава углекислых вод . . I05
Е.Н.Куцель. Закономерности формирования и особенности распространения фоновых концентраций радиоактивных элементов в подземных водах. I07

В.С.Серебрянников. Миграция урана в углекислых термальных водах Малого Кавказа. 108
Н.Г.Сыромятников. Зависимость фоновых содержаний урана в подземных водах окислительной обстановки от состава вод и радиоактивности пород. 109
Л.Л.Леонова. Условия образования относительно высоких концентраций урана и тория в некоторых современных термальных водах зон активного вулканизма. 110
С.Г.Батулин, Э.Ф.Калашникова. Поровые растворы зоны аэрации как среда миграции урана 111
В.М.Гавшин, Б.А.Воротников, Н.М.Николаева, Л.Н.Смертина, Г.Г.Шалмина. Содовые воды как фактор мобилизации урана, рассеянного в горных породах. . 112
А.К.Лисицын. Условия осаждения урана из подземных вод в зоне гипергенеза. 114
А.И.Перельман. Основные черты миграции урана в зоне гипергенеза и процессы его концентрации на геохимических барьерах. 115
Е.В.Копченова, Л.А.Березина, Р.В.Голева, Е.И.Железнова. О миграции радиоактивных элементов в процессе формирования натровых метасоматитов. . . 118
В.А.Успенский, В.Ф.Пеньков. Роль углистого вещества в накоплении урана. 119
В.Ф.Пеньков, В.А.Успенский. Особенности отложения урана в органическом веществе бурых углей и твердых битумов. 120
В.Ф.Пеньков. Некоторые физико-химические особенности ассоциации урана с твердыми битумами в горных породах. 122
М.Ф.Каширцева, В.Д.Сидельникова. Влияние вмещающей среды на характер распределения урана и сопутствующих элементов. 123
Б.И.Сребродольский. Условия накопления урана в карбонатно-фосфатных конкрециях. 124
Э.Г.Кузнецова, И.П.Кулигина. Участие микроорганизмов в геохимии урана в зоне гипергенеза 125

Е.В.Плюснев. Два способа концентрации урана в низко- и среднетемпературных гидротермальных условиях. . . I27
Е.В.Плющев, Л.А.Рябова. Поминеральное распределение урана и тория в гидротермальных условиях. . . I28
Г.Б.Наумов, А.А.Никитин, О.Ф.Миронова, Э.И.Сергеева. Формы переноса урана при формировании месторождений уран-молибденовой формации. I29
И.В.Мельников, И.Г.Берзина. Некоторые минералого-геохимические особенности формирования близповерхностных урановых концентраций. I3I
В.А.Зинченко. О формах миграции урана по данным количественного изучения химического состава урановорудных и безрудных альбититов. I32
Е.Б.Высокоостровская. Геохимия фтора в эндогенном рудном процессе. I33
Н.А.Перец, Л.А.Березина. Некоторые особенности поведения урана в гидротермальном процессе I34
Н.А.Перец, И.В.Сычев, А.Е.Халдей. Особенности перераспределения концентраций урана в гипергенных условиях и сопутствующие им преобразования пород I36
С.Д.Туровский. К вопросу о природе и условиях образования минералов из группы силиката тория. . . . I37
А.А.Анихмин, Б.С.Никонов. О поведении тория в урановорудном гидротермальном процессе. I38
Н.П.Ермолаев. Уран как индикатор участия осадочно-метаморфических комплексов в гидротермальном процессе в качестве источника рудного вещества. . I40
Э.М.Пинский, А.А.Смыслов, В.К.Титов, И.Б.Савинова. Геохимическая специализация пород как условие мобилизации урана в наложенных процессах. . . . I42
В.В.Шатов. Поведение урана и тория в ходе многостадийного рудоконцентрирующего процесса. I43
Ю.В.Рэутин, Г.А.Тарханова. Температурный режим рудообразующего процесса как регулятор образования разнообразных урансодержащих ассоциаций. I45
Н.И.Комарова, Г.М.Шор, М.А.Божичко. О возможности миг-

рации урана с органическими комплексами в термальных водах орогенных областей. I46
Л.П.Рихванов, П.Г.Падерин. Концентрация и форма нахождения урана в сосуществующих карбонатах. . I47
В.М.Полякова, А.К.Мигута, К.Г.Королев. Условия формирования браннеритов и их преобразований в пострудных процессах (по геологическим и экспериментальным данным). I48
Н.А.Кулик. Условия устойчивости титанатов урана на примере некоторых парагенезисов I50
Ю.М.Дымков, Б.Г.Павлов. Механизм образования окислов урана по силикатным фазам I5I
Е.В.Плющев, В.Н.Копылов. Уран и торий в процессе формирования вторичных кварцитов и связанного с ними оруденения. I52
Г.Х.Клиблей, В.И.Климов. Метасоматизм и условия концентрации радиоактивных элементов на некоторых золоторудных месторождениях . . . I53
А.М.Гофман, А.Г.Миронов. Закономерности мобилизации и перераспределения урана, тория и калия в рудных полях нерадиоактивных месторождений I54
Л.С.Жигач. Поведение урана в процессе гидротермального изменения пород по данным -радиографии I56
ГЛАВА Ш. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. I58
А.О.Пяллинг, В.М.Гавшин, Г.М.Гусев, Л.М.Кривопуцкая. Экспериментальные модели концентрации урана фосфатами кальция и слоистыми алюмосиликатами. . . I58
В.Б.Коваль, В.И.Николаенко. Роль литологического фактора в выпадении урана из карбонатных растворов I58
С.Д.Расулова, А.В.Коченов. Экспериментальное изучение механизма осаждения урана в процессе осадкообразования. I6I
К.Г.Королев, Г.В.Румянцева. К изучению равновесий в уранилсодержащих карбонатных и фторидных водных растворах при повышенных температурах и давлениях. I63

И.Л.Ходаковский, Г.Б.Наумов, Э.И.Сергеева, А.А.Никитин, О.А.Девина. Влияние температуры на устойчивость комплексных соединений в водных растворах. . . I65
И.Л.Ходаковский, А.П.Жидикова. О роли фторидных и гидроксофторидных комплексов в переносе U (IУ) и Th гидротермальными растворами. I65
Г.В.Румянцева, К.Г.Королев. Гидротермальный синтез браннерита и давидита. I66
И.Т.Жильцова, Г.А.Тарханова. Физико-химические условия совместного осаждения гипергенных минералов урана (экспериментальные данные). I67
Б.С.Горобец, В.И.Лудиков, И.Г.Жильцова, В.И.Мещанкина, Г.А.Сидоренко. О формах вхождения урана в минералы кремнезема. I68
Г.А.Сидоренко, И.Г.Жильцова, В.И.Лудиков. Механизм осаждения и условия устойчивости соддиита как минеральной фазы. I69
Е.М.Шмариович, Г.Ф.Агапова, Д.Н.Хитаров. Экспериментальное изучение механизма осаждения урана на кислородном барьере. I7I
ГЛАВА IУ. РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ I73
В.В.Павлуков, Л.В.Комлев, Е.Б.Андерсон, И.Г.Смыслова. Поведение радиогенного свинца в некоторых урановых минералах в свете данных микрозондового анализа. I73
К.Т.Иванов. Изучение перераспределения урана по отношениям Ra^{226}/U^{238} и Pb^{206}/U^{238} I74
В.В.Ананьев, Л.Л.Леонова, Н.А.Титаева, В.В.Аникина. Поведение изотопов урана и тория в современном вулканическом процессе I76
Н.А.Титаева, Т.И.Векслер, А.В.Орлова. Использование изотопного состава радиоэлементов для изучения экзогенной миграции урана, тория и радия. . . . I77
В.М.Ершов, Э.С.Лобов. Особенности экзогенного перераспределения урана по свинцово-изотопным данным I78

К.Т.Иванов. Сравнение абсолютного и кажущегося возраста урановорудных образований как метод изучения перераспределения урана. I79
С.Д.Расулова, А.С.Столяров. Пример расшифровки условий образования древнего инфильтрационно-эпигенетического уранового оруденения I80
Д.К.Осипов, Р.С.Журавлев. Особенности гранитоидного магматизма Кузнецкого Алатау по данным изотопов свинца и радиохимии. I82
А.А.Черников. Характер перераспределения урана и изотопов его радиоактивного распада в процессе гипергенного изменения урановых руд. I83
А.Г.Кузнецов. Использование параметров первичных ореолов рассеяния радия и ряда сопутствующих ему элементов в качестве показателей процесса миграции урана. I84
О.К.Мезенцев. Характер поведения урана и радиогенного свинца во вторичных ореолах рассеяния месторождений аридной зоны. I85
В.П.Иваницкий, И.В.Матяш, Ф.И.Ракович. ЯРГ-спектры Fe^{57} околорудных биотитов как индикаторы контактных геохимических изменений. I86
В.А.Зинченко, В.П.Иваницкий, И.В.Матяш, Н.И.Половко. ЯРГ-спектры облучения рибекитов как показатель условий локализации урана в натриевых метасоматитах. I88
ГЛАВА У. РАДИОГЕННОЕ ТЕПЛО I90
Ю.П.Булашевич, Ю.В.Хачай. Особенности миграции радиоактивных элементов в конвективно неустойчивой верхней мантии земли I90
Ю.Г.Осипов. О гелиевом и тепловом потоках на локальных участках верхнего слоя земной коры I90
А.А.Смыслов, У.И.Моисеенко. Генерация радиогенного тепла и тепловые потоки земли I92
А.А.Смыслов, В.К.Титов. Радиоактивность и тепловой режим докембрийских складчатых областей I93

1377

А.И.Тугаринов, Е.А.Любимова, О.П.Соборнов, Н.И.Аршавская. Роль тория в тепловом балансе земной коры Печенги. 195
А.Д.Ножкин, А.Д.Дучков. Радиогенное тепловыделение в земной коре Енисейского кряжа. 195
А.Д.Дучков. Интенсивность радиогенного тепловыделения в поверхностных породах юга Сибири и тепловой поток (исследование связи). 197
В.Ф.Салтыков, В.Н.Краснова. Радиогенный тепловой поток Южного Урала. 199
Ю.М.Пузанков. Генерация радиогенного тепла в земной коре Камчатки. 200
М.К.Кубанов, О.М.Мамаев. К вопросу о закономерностях распространения, происхождения и роли радиоактивности подземных вод Дагестана. 202
ГЛАВА УІ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ. . 204
О.П.Соборнов. Содержания естественных радиоэлементов в международных, национальных и отечественных стандартах горных пород. 204
Б.В.Комаров, Ю.И.Сидоров, В.Г.Спиридонов, Н.П.Ермолаев, А.С.Аверина. Прецизионная пешеходная гамма-спектрометрия как метод радиохимического картирования горных пород. 205
Ю.В.Ильинский, Г.Б.Кочкин. Радиогеохимический фон - результат разнообразных геологических процессов 207
Е.Г.Вертман, Р.Н.Мещеряков, Ю.М.Столбов. Экспрессный неразрушающий метод определения кларковых содержаний урана и тория в геологических объектах по запаздывающим нейтронам. 209
Л.В.Бершов, А.С.Марфунин. Радиационные электронно-дырочные центры в минералах 210
А.В.Сперанский, Т.Н.Логинова, Р.М.Минеева, Л.В.Бершов. Дозиметрия радиационного фона на примере некоторых сульфатов и бериллийсодержащих минералов. . 212
Б.М.Моисеев, Л.Т.Раков. Влияние α - и γ -излучения на образование АІ и Е-центров в кварце. . . 213
Б.М.Моисеев, Л.Т.Раков. Зависимость концентрации не-

парамагнитных Е - центров в кварце от вида радиационного облучения. 214
А.М.Данилевич, В.В.Павшуков. Применение метода электронного парамагнитного резонанса для изучения процессов миграции радиоактивных элементов и определения возраста оруденения 215
З.А.Степина, Н.Р.Костюковская, В.А.Титова. Роль элементов активаторов и соактиваторов в явлении люминесценции при процессе натриевого метасоматоза. 216
В.Н.Сальников. О возможности определения методом электропроводности абсолютного возраста горных пород и минералов. 217

Технический редактор Ц.С.Левитан

Подписано к печати 20/Ш 1975 г. Сдано в печать 2/IУ 1975 г.
Т06130 Тираж 500 экз. Формат 60х90/16 Печ.л. 14,5 Заказ 1377

Центральное специализированное
производственное хозрасчетное предприятие
Всесоюзного геологического фонда

1