

На правах рукописи

**КИСЕЛЕВ Георгий Петрович**

**ПРОГНОЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ УРАН-ИЗОТОПНЫМИ  
МЕТОДАМИ**

**Специальность: 25-00-11 "Геология, поиски и разведка твердых  
полезных ископаемых, минерагения"  
25-00-36 "Геоэкология"**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук**

Архангельск, 2005

Работа выполнена в Институте экологических проблем Севера УрО  
РАН

Научный консультант:

дг-мн, член-корр. РАН Ф.Н.Юдахин

Официальные оппоненты:

Дг-мн, профессор П.А. Игнатов

Дг-мн, академик РАН Ф.П. Митрофанов

Дг-мн, профессор А.Г. Милютин

Ведущая организация:

Институт геологии Коми научного центра УрО РАН

Защита состоится:

17 ноября 2005 года в 14 часов на заседании диссертационного совета  
Д 212.121.04. Российского государственного геолого-разведочного универси-  
тета, Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского госу-  
дарственного геолого-разведочного университета, Москва, ул. Миклухо-  
Маклая, дом 23.

Автореферат разослан: \_\_\_\_\_ октября 2005 года

Ученый секретарь

Диссертационного совета дг-мн  А.А. Верчеба

## ВВЕДЕНИЕ

Владимир Иванович Вернадский предсказал великое будущее изотопной геологии и заложил фундамент этой науки в нашей стране, создал плеяду учеников, соратников и последователей, среди которых много ученых с мировой известностью - А.П. Виноградов, В.Г. Хлопин, И.Е. Старик, Э.Г. Герлинг, В.В. Чердынцев, А.И. Тугаринов, Р.В. Тейс, Е.И. Донцова и другие, которые выдвинули ряд новых глобальных идей весьма актуальных в наше время и, особенно при прогнозах месторождений полезных ископаемых и загрязнения геологической среды. Особую роль при изучении геологических явлений занимают радиоактивные изотопы, связанные между собой ядерными процессами, одинаковыми химическими и близкими физическими свойствами, образующие систему материнский-дочерний. К таким изотопным системам относятся изотопы урана.

С момента открытия явления фракционирования четных изотопов урана в природных условиях (эффект Чердынцева-Чалова) прошла половина столетия. В конце семидесятых годов на эту тему вышли в свет основополагающие работы В.В.Чердынцева, Н.Г.Сыромятникова, П.И.Чалова, В.И. Малышева, однако, они не полностью раскрывают современного состояния знаний о механизмах фракционирования изотопов урана в природе, что существенно отражается на интерпретации уран-изотопных данных, полученных при изучении геологических сред.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ:** Обострение экономических и экологических условий в связи с прогрессирующим увеличением техногенной нагрузки на геосферу вызывает необходимость разработки принципиально новых и эффективных методов изучения скоростей изменения природной системы, прогноза развития техногенного и естественного загрязнения окружающей среды, поисков месторождений полезных ископаемых с минимальными горными работами, изучения современной динамики подземных вод и геологических сред и решения других задач. Эти методы должны базироваться на фундаментальных физических явлениях. К таким явлениям относится ядерный распад радиоактивных

элементов в геологической среде. Механизмы фракционирования четных изотопов урана в геосфере сопровождаются ядерными и физико-химическими процессами, протекающими параллельно. Это дает основание для использования радиоактивного распада в качестве меры скоростей взаимодействия и преобразования лито- и гидросфер на основе изучения распределения изотопов урана. В связи с этим актуальным является создание теоретической основы и установление реальных механизмов образования неравновесных систем изотопов урана в различных геологических и гидрогеологических условиях для разработки методов решения задач геологии и геоэкологии.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Изучить механизмы формирования неравновесного урана в водах, горных породах и рудах как основы уран-изотопных методов поисков и прогноза руд, определения генезиса подземных и поверхностных вод, прогноза поисков рудных месторождений, мониторинга изменения и загрязнения геологической среды.

#### **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАБОТЫ.**

1. Исследование механизмов фракционирования четных изотопов урана в системе горная порода-вода для создания теоретической модели перехода изотопов урана из горных пород в воду с учетом ядерных распадов и физико-химического разрушения горных пород.

2. Определение уровней фракционированного урана в атмосферных, ледниковых водах, водах речного стока, морях и замкнутых водоемах, подземных водах для определения их генезиса при прогнозировании загрязнения геологической среды.

3. Исследование изотопного состава урана в горных породах рудных и безрудных зон неурановых руд и рудных минералах для прогнозирования устойчивости геоэкологической среды.

4. Исследование механизмов формирования изотопного состава урана в гидрогеологических системах: грунтовых водах, водах урановых, полиметаллических, редкометалльных, сурьмяных и ртутно-сурьмяных месторождений, глубинных разломов, складчатых и платформенных областей для разработки

новых методов прогноза месторождений полезных ископаемых и загрязнения геологической среды.

5. Определение практического применения уран-изотопной системы (уран-238-уран-234) в геологических и гидрогеологических исследованиях для прогноза месторождений полезных ископаемых и загрязнения геологической среды.

Решение перечисленных задач главным образом основано на анализе авторских результатов определения изотопов урана в различных объектах лито- и гидросферы. Для этого были организованы и проведены научные экспедиции на рудные полиметаллические, редкометальные, ртутные и сурьмяные месторождения Северного, Срединного и Южного Тянь-Шаня, на месторождения пресных, термальных и минеральных подземных вод, пресных и соленых поверхностных вод Средней Азии, Якутии, Прикаспия, Кавказа, Земли Франца Иосифа, Белого, Баренцева и Карского морей и их побережий, а так же на Европейском Севере России, на кимберлитовых трубках "МИР" в Якутии, "Пионерская" и "имени Ломоносова" в Архангельской области, в которых автор участвовал в качестве руководителя и ведущего исполнителя. В различных географических и геологических условиях изучался изотопный состав урана руд и вод и их генезис с целью разработки методов прогноза месторождений полезных ископаемых и мониторинга загрязнения геологической среды. В Институте экологических проблем Севера УрО РАН (г.Архангельск) под непосредственным руководством автора была создана научная лаборатория, оснащенная радиохимическим оборудованием, полупроводниковым альфа-спектрометром, позволяющая проводить изучение изотопов урана в горных породах и воде, по методикам, разработанным в ВИМС (В.И.Малышев). В настоящее время в ИЭПС УрО РАН исследования изотопов урана в природных средах продолжаются.

**ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ.** В процессе многолетних работ были произведены определения концентрации урана и его изотопного состава альфа-спектрометрическим методом в природных водах различных регионов. В сред-

ней Азии на 11 рудных полях, где располагается более 30 промышленных полиметаллических, редкометалльных, сурьмяных, ртутно-сурьмяных и ртутных месторождений автором опробовано около 700 источников подземных и поверхностных вод и в них определен уран-изотопный состав. На Челекенском месторождении бром-иодистых горячих рассолов и жидких руд, Кумском и Есентукском месторождениях, месторождениях минеральных и пресных вод в Архангельской области, на Памире, Северном Тянь-Шане, в Якутии - горячих источников, вод глубинных разломов, поверхностных вод, морских и прибрежных вод Севера России автором выполнено более 800 анализов по изотопии урана. Проанализировано более 100 проб руд и горных пород. Кроме этого в работе использовалось большое количество уран-изотопных данных, полученных в России и за рубежом другими авторами.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** На основании системного обобщения уран-изотопных данных в гидро- и литосфере, автором обоснованы механизмы формирования изотопов урана в различных геолого-гидрологических и гидрогеологических условиях. Найденное автором решение задачи перехода четных изотопов урана из горных пород в воду, синтезирующее ядерное и физико-химическое разрушение кристаллической решетки открывает новые возможности уран-изотопных методов при решении геологических и геоэкологических задач с использованием ядерных процессов в качестве критерия современного преобразования лито- и гидросферы. Установлено закономерное увеличение избытка урана-234 в подземных водах скрытых полиметаллических, редкометалльных и ртутно-сурьмяных рудных зон промышленного значения и его снижение в водах окисленных руд, что создало возможность разработать методы прогноза месторождений полезных ископаемых. Установлено широкое развитие неравновесного урана в горных породах и рудах, указывающее на постоянное преобразование рудного вещества с высокими скоростями, сравнимыми с распадом урана-234. Установлено, что в водах активизированных в настоящее время разломов сейсмоактивных зон имеет место возрастание избытка урана-234, а в залеченных разломах изотопный состав имеет фоновые

характеристики. Показано практическое применение изотопов урана в различных областях наук о Земле, в частности для определения современного изменения геологической среды, что является основой для прогноза загрязнения геологической среды при антропогенном воздействии .

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ.** Полученные результаты дают широкое представление о механизмах формирования изотопного состава урана в литосфере и гидросфере при их взаимодействии, что позволило автору, совместно с П.И.Чаловым и др. разработать ряд методов использования изотопов урана в науках о Земле, которые внесены в Международный регистр «Intellectual Property Regist» - метод прогноза скрытых областей концентрации ртутно-сурьмяного оруденения (N54.62E21ИТ), комплексный уран-изотопный и магнитометрический метод поисков глубинных источников термоминеральных вод (N 57.62 G0ИТ), определение активизированных зон глубинных разломов по результатам уран-изотопных исследований природных вод (N 56.62 G0ИТ). Практическое применение разработок производилось в Управлении Кавказских минеральных Вод, г. Ессентуки, в Управлении геологии Республики Кыргызстан при изучении подземных вод Иссык-Кульской и Чуйской впадин, изучении генезиса подземных вод Архангельской области, при поисках и прогнозе ртутно-сурьмяных месторождений в Южном Тянь-Шане, при оценке обводненности рудных месторождений и др. Разработанные методики интерпретации уран-изотопных данных должны найти широкое применение при прогнозе твердых полезных ископаемых и загрязнения геологической среды.

Работа над диссертацией была связана с выполнением госбюджетных тем: "Альфа-спектральные исследования фракционирования изотопов урана, тория, плутония в горных породах, почвах, природных водах с целью решения задач геоэкологии" Регистрационный номер 01.200.115371, "Уран -изотопные альфа-спектральные исследования на Европейском Севере с целью разработки методов контроля загрязнения экосистемы". Регистрационный номер 01.030.000720.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** По теме диссертации автором опубликовано более 50 научных работ в различных изданиях, в том числе статьи в ДАН, журналах "Геохимия", "Физика Земли", "Водные ресурсы", "Геология рудных месторождений", "Разведка и охрана недр", "Известиях" НАН Кыргызстана и других рецензируемых изданиях и материалах Российских и международных конференций.

Результаты работ автора докладывались на многих научных форумах: Изотопы в гидросфере - Каменецк-Подольск (1984); Всесоюзной конференции по металлогении Тянь-Шаня - Фрунзе (1988); Прогноз землетрясений - Душанбе-Москва (1988); Изотопы в гидросфере - Каунас (1989); Геодинамика литосферы подвижных поясов - Черноголовка (1988); Проблемы инженерной геологии гидрогеологии и геокриологии районов интенсивной инженерной нагрузки и охраны окружающей среды - Киев (1989); Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов - Суздаль (1990); Intern. Symp. of the Use of Isotope Techniques in Water Resources Development, Vienna, Austria (11—15 March 1991); Всероссийской конференции Изотопы в гидросфере - Пятигорск (1993); 4-е Международные Ломоносовские чтения - Архангельск (1995); Международной конференции «Чистая вода» - Апатиты (1996); II Международный семинар «Минералогия и жизнь» - Сыктывкар (17-22 июня 1998); Окружающая среда в Баренцевом регионе. 3-й Международном конгрессе Баренц-региона - Киркенес (1996); Международный симпозиум Урал Атомный, Урал Промышленный, -Екатеринбург (1996); European Geophysical Society, Vienna, Austria (1997); Семинар в Университете штата Нью Хемпшир - США (1997); XV Симпозиум по геохимии изотопов им. академика А.П.Виноградова - Москва (24-27 ноября 1998); Симпозиум по геохимии изотопов им. академика А.П.Виноградова. 20-23 ноября 2001 г. Москва, 2001. Международной конференции памяти академика П.Н. Кропоткина. Москва, 20-24 мая 2002 года. XV Международной школе морской геологии. Москва, ИО РАН им. Ширшова, Ноябрь 2003.; II Международной конференции

18 по 22 октября 2004 года «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск.; Всероссийской конференции с международным участием "Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов" 13-18 сентября 2004 г. – Архангельск.; Международном симпозиуме Урал Атомный, Урал Промышленный, -Екатеринбург (2005); По теме диссертации издана монография «Четные изотопы урана в геосфере» Екатеринбург, изд. УрО РАН, 1999, 220с.

### **ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.**

1. Установленная связь физико-химических процессов в экосистеме вода-горная порода и фракционирования  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  позволяет выполнить количественную оценку скорости разрушения структуры горных пород при оценке устойчивости природной среды под воздействием геологических факторов.

2. Впервые на основании уран-изотопных соотношений распространенного неравновесного урана в рудах установлено современное преобразование рудного вещества месторождений со скоростью, соизмеримой с периодом полураспада  $^{234}\text{U}$ , что позволяет прогнозировать интенсивность проявлений геохимических процессов в миграции элементов и загрязнения ими окружающей среды.

3. Выявлены аномальные величины неравновесного урана в подземных водах неурановых рудных месторождений и доказано увеличение в них избытка  $^{234}\text{U}$  в последовательности - безрудные породы - ореолы околорудных метасоматитов - месторождения, что является новым направлением прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.

4. Установленная закономерная связь концентрации  $\text{U}$  и отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  формирующихся в воде в результате физико-химических и ядерных процессов является информативным показателем для определения генезиса подземных вод и прогноза загрязнения геологической среды.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Автор выражает глубокую признательность научному консультанту директору Института экологических проблем Севера УрО РАН, член -корр. РАН Ф.Н. Юдахину за советы и замечания. Автор глубоко

благодарен вице-президенту РАН, академику Н.П. Лаверову за поддержку исследований.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.** Работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 300 наименований. Включает 197 страниц текста, 51 рисунок и 24 таблиц.

**В первой главе** приводится краткая история развития изотопной геологии и рассмотрено учение об изотопах урана в природных средах.

Атомный номер урана в периодической системе Д.И.Менделеева равен 92. Атомный вес урана 238.03. Это соответствует средне пропорциональному атомному весу трех изотопов, содержащихся в природном уране в следующих соотношениях:  ${}_{92}\text{U}^{234}$  - 0,006%;  ${}_{92}\text{U}^{235}$  - 0,71%;  ${}_{92}\text{U}^{238}$  -99,28%. (Макаров В.К. и др.1964 ). Два последних являются независимыми. Однако, в природных объектах они находятся в определенном процентном соотношении, которое выдерживается с точностью до первых процентов. Распад  ${}^{238}\text{U}$  приводит к образованию дочернего изотопа -  ${}^{234}\text{U}$ . В связи с непрерывным процессом распада в природе четные изотопы урана должны находиться в равновесном состоянии, а их активности должны быть равными. Отличие в массе этих изотопов незначительно, оба изотопа обладают  $\alpha$ -распадом, а их химические свойства одинаковы. По этой причине до 1954 года считалось, что они в природных соединениях находятся в равновесном состоянии. Рядом работ В.В.Чердынцев и П.И.Чалов показали, что фракционирование изотопов урана-238 и урана-234 при переходе из горных пород в воду носит глобальный характер, а эффект разделения был назван по имени авторов открытия "эффект Чердынцева-Чалова". Исследования этого явления проводились и проводятся в течение последних десятилетий, а результаты изложены более чем в 500 работах по нескольким направлениям.

Определение изотопов урана в водах морей и океанов проводили Чердынцев В.В., Koide M., Golberg., E Nieir K., Adams J Miyke Y., Sugimura J., Uchida T., Umemoto Sh., Шведов В.П., Патин С.А., Veeh Н.Н., Николаев Д.С., Ефимова Е.И., Дрожжин В.М Агамиров С.Ш Chen J.Н., Edwards R.I., Wasserburg

G.J., Батурич Г.Н., Коченов А.В., Ковалева С.А., Edvards R.L., Chen J.H., Ефимова Е.И., Кузнецов Ю., Киселев Г.П. и др., в реках и озерах -Чердынцев В.В., Чалов П.И Тузова Т.В. Меркулова К.И., Светличная Н.А., Сыромятников Н.Г., Иванова Э.И., Трофимова Л.А., Зверев В.Л., Спиридонов А.И., Тымчинский В.Г., Чешко А.Л Титаева Н.А., Филонов В.А., Овчинников В.Я. Пампура В.Д., Сандимиров И.В., Гапон А.Е., Киселев Г.П., в подземных водах - Чердынцев В.В., Чалов П.И., Тихонов А.И., Малышев В.И., Соколова З.А., Росляков В.С., Медведев Ю.Л., Фролов Л.В., Кутеева О.В., Филонов В.А., Киселев Г.П., Меркулова К.И., Алехина В.И., Комиссаров В.В., Гудзенко В.В., Васильев И.А., Поляков В.А., Варганян Г.С., Ежова М.П., Булашевич Ю.П., Зверев В.Л., Додлидзе Н.И., Спиридонов А.И., Алексеев Ф.А., Готих Р.П, Султанходжаев А.П., Латипов П.И, Казачевский И.В., Кульмина Е.А., Сулержицкий Л.Д., Молчанова В.Ф., Кюрегян Т.Н., Иванов Е.К., Кудряшова Р.Г., Орлов Д.П., Исабаев Е.А., Иванов В.И., Zukin J.G., Hammond D.E., Ku T.-L. and Elders W.A., Барнов В.А., Белкина В.Г., Krupka Kennet M. and Serne R. Jeffrey, Гернер и Карлик, В.П., Шведов, С.А.Патин, Д.С. Николаев и др.; в почвах Таскаев А.И., Титаева Н.А..

В представленных работах общим является неравновесный уран в гидрологических и литологических системах, объяснение которому во многих случаях или не дается, или неоднозначно. Такое положение было обусловлено недостаточными знаниями о механизмах формирования изотопного состава урана при бесконечном многообразии взаимодействия гидро- и лито- гетерогенных систем и отсутствием в интерпретации единой основы. Автором существенно дополнена информация о фракционировании изотопов урана в различных геологических условиях, обобщены оригинальные данные и данные, полученные другими исследователями, что позволило сделать новый шаг в понимании механизмов фракционирования изотопов в современных геологических процессах с последующими выводами об их применении в практике геологических и геоэкологических изысканий.

**Вторая глава** посвящена описанию методов определения концентрации и изотопного состава урана в различных объектах природной среды, которые использовались при написании данной работы.

**Третья глава** посвящена обоснованию функциональной связи между физико-химическими и ядерными процессами фракционирования  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  в экосистеме вода- горная порода. Ее содержание приводит к заключению, изложенному в первом научном защищаемом положении.

*1. Установленная связь физико-химических процессов в экосистеме вода- горная порода и фракционирования  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  позволяет выполнить количественную оценку скорости разрушения структуры горных пород при оценке устойчивости природной среды под воздействием геологических факторов.*

Рассматривается взаимосвязь ядерных и физико-химических процессов на границе горных пород и флюидов. В природе разрушение кристаллической решетки минералов происходит различными путями - механическим, химическим, растворением минералов, температурным, гидротермальным, ядерными процессами. Подробное описание ядерных процессов в геологических средах приводится в работах В.П.Конухина и В.Н.Комлева (1992). Не все ядерные процессы меняют сформировавшийся изотопный состав урана как внутри минерала, так и при переходе урана из горной породы в воду. Ядра отдачи при альфа-распаде урана являются главной причиной изменения его изотопного состава в минералах и природных водах, так как, проходя некоторый путь в минеральной среде, разрушают их структуру и к ранее имевшемуся изотопному составу добавляют новый дочерний изотоп. При действии ядра отдачи на границе минерала происходит разрушение кристаллической решетки, что способствует выбросу радиоактивных и других атомов за пределы кристалла.

Нами было установлено, что подземные воды имеют различный уран-изотопный состав в пределах одного месторождения при различном состоянии руд. На рисунке 1 показаны графики концентрации урана ( $C_u$ ) и отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}=\gamma$  в водах Кадамджайского сурьмяного и Терексайского полиметал-

лического месторождений Тянь-Шаня, отражающие влияние зон окисления на изотопный состав урана и его концентрацию. В верхней части окисление руд достигает 100% на Терексайском и 80% на Кадамджайском месторождениях и убывает с глубиной до 12%, что отмечается в пройденных горных выработках до глубины пьезометрического уровня подземных вод. Противофазное изменение изотопного состава и концентрации урана в зависимости от степени окисления руд происходит для различной концентрации урана в рудах при различных генезисах руд. Аналогичное поведение изотопов урана наблюдалось на других месторождениях, где присутствовали окисленные руды. Выход изотопов урана из горных пород в воду происходит на границе твердой и жидкой фаз, где протекают физико-химическое и ядерное разрушение кристаллов.

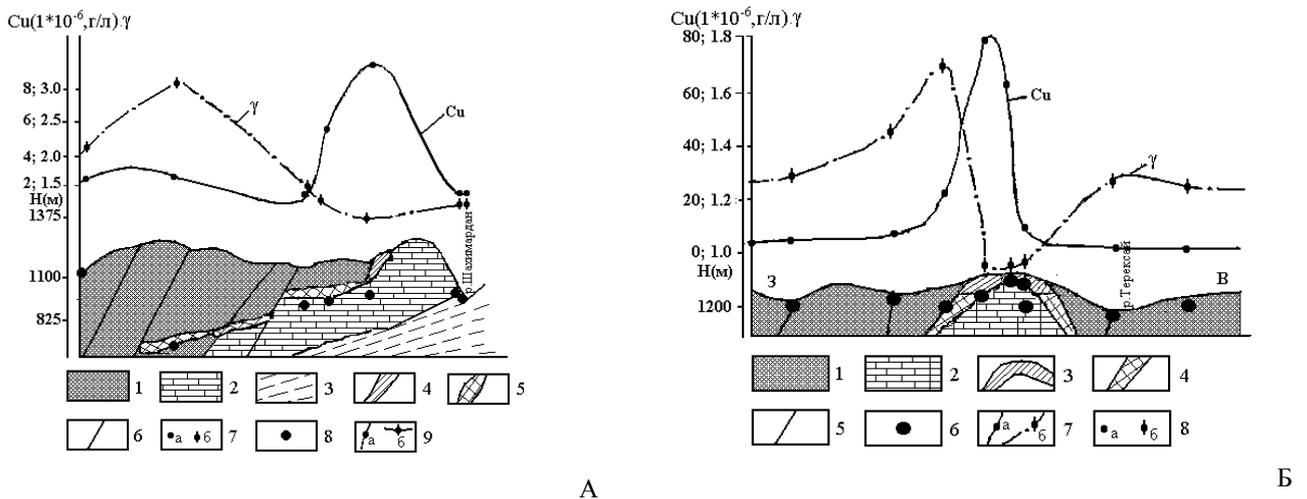


Рисунок.1. Отношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}=\gamma$  и концентрация урана ( $C_u \times 10^{-6}$  г/л) в метеогенных водах Кадамджайского сурьмяного месторождения (А) и Терексайского полиметаллического месторождения (Б) : 1- экранирующие терригенные отложения, 2 - карбонатные отложения, 3- подстилающие терригенные отложения, 4(А) и 3(Б), - сильно окисленные руды, 5(А) и 4(Б) - слабо окисленные руды, 6(А) и 5(Б) - разломы, 7(А) и 8(Б) - измеренные значения: а) концентрации урана, б) отношения  $\gamma$  с указанием среднеквадратичной ошибки; 8(А) и 6(Б) - точки опробования метеогенных вод, 9(А) и 7(Б) - графики: а) концентрации урана, б) -  $\gamma$ .

Это дает основание построить модель, учитывающую ядерные и физико-химические факторы образования избытка урана в воде. На рисунке 2 показана модель ядерного и физико-химического выхода урана из горной породы в воду.

Скорости поступления дочернего и материнского изотопов урана в воду представляются системой дифференциальных уравнений следующего вида:

$$d^{238}N_i / dt = V(t); \quad d^{234}N_i / dt = K(t); \quad V(t) / K(t) = \gamma\text{-вод} \quad (1)$$

где:  $\gamma$ -воды - сформировавшееся отношение  $^{234}U/^{238}U = \gamma$  в воде в результате контакта единичного объема воды за время его прохождения микро-трещины, при условии, что  $t(i) \ll T$ , где  $T$  - период полураспада урана-234. Скорости выноса изотопов урана из минералов, имеющих свойство растворяться под действием природных вод возможно представить в следующем виде:

$$V(t) = 1/8 ({}^{238}\lambda {}^{238}N_i) W_i {}^{238}p N_i + W_r N_i \quad (2)$$

$$K(t) = 1/8 [({}^{238}\lambda {}^{238}N_i)] W_i {}^{234}p N_i \gamma\text{-мин.} + W_r N_i \gamma\text{-мин.} \quad (3)$$

Где:  $W_r$  - объем растворенного минерала в единицу времени;  $p$  - вероятность выхода урана из дефектной области в воду;  $1/8$  - геометрическая вероятность того, что дефектная область достигнет воды из приконтактной области;  $W_i$  - объем дефектной области;  $\gamma$ -мин. - отношение урана-234 к урану-238 в атомных единицах в минерале.

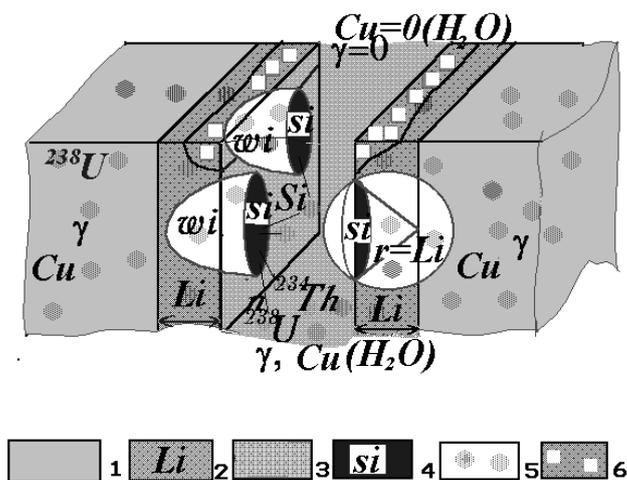


Рисунок 2. Модель перехода атомов урана из горной породы в воду на микроуровне: 1- минеральный блок, 2- приконтактная зона минерального блока, равная длине пробега ядра отдачи, 3 - вода в микропоре или микротрещине. 4 - площадь сечения дефектной области, образовавшейся в результате прохождения ядра отдачи, 5 - схематичное положение ядер урана-238 в минеральном блоке, 6 - окисленная часть минерального блока.

Отношение этих величин дает значение  $\gamma$ -воды:

$$\gamma\text{-вод.} = \frac{1/8 \cdot {}^{238}\lambda \cdot {}^{238}N_i \cdot W_i^{234} \cdot p \cdot \gamma\text{-мин.} + W_r \cdot {}^{238}N_i \cdot \gamma\text{-мин.}}{1/8 \cdot {}^{238}\lambda \cdot {}^{238}N_i \cdot W_i^{238} \cdot p + W_r \cdot {}^{238}N_i} \quad (4)$$

Если в геологической среде величина  $W_r \cdot {}^{238}N_i$  на много больше  $1/8 \cdot ({}^{238}\lambda \cdot {}^{238}N_i) \cdot W_i$ , то  $\gamma\text{-вод.} = \gamma\text{-мин.}$ , а концентрация урана в воде будет расти пропорционально скорости растворения минералов, что наблюдается в зонах окисления руд.

Формула концентрации урана, определяющая формирование изотопного состава вод при ядерном распаде и при растворении минерального состава горных пород за единицу времени, имеет следующий вид:

$$C_{\text{у-вод.}} = 1/8 \cdot ({}^{238}\lambda \cdot {}^{238}N_i \cdot W_i^{238} \cdot p + W_r \cdot {}^{238}N_i + {}^{238}\lambda \cdot {}^{238}N_i \cdot W_i^{234} \cdot p \cdot \gamma\text{-мин.} + W_r \cdot {}^{238}N_i \cdot \gamma\text{-мин.}) \quad (5)$$

$$C_{\text{у-вод.}} = C_{\text{у деф.}} + C_{\text{у раст.}} \quad (6)$$

где:  $C_{\text{у раст.}}$  - уран из растворенной области в воде;  $C_{\text{у-вод.}}$  - уран в водной среде;  $C_{\text{у деф.}}$  - уран из дефектных областей в воде;

$$W_i = S_i \cdot L_i,$$

Где:  $S_i$  - поперечное сечение дефектной области;  $L_i$  - длина пробега ядра отдачи.

В связи с тем, что произвести оценку вероятности выхода урана из дефектной области в воду ( $p$ ) не представляется возможным, предлагается ввести некоторую величину эффективного сечения  $S_i^{\text{эфф.}}$  выхода урана из дефектной области в воду, максимальное значение которого определяется из расчета полного объема дефектной области, перешедшей в воду. Тогда  $W_i = S_i^{\text{эфф.}} \cdot L_i$ ,

На рисунке 3 приводятся расчеты  $\gamma\text{-вод.}$  в зависимости от концентрации урана в минерале и размеров эффективного сечения его выхода в воду, откуда следует, что если эффективное сечение соответствует максимально возможному для ядерных процессов, то и тогда в воде будет формироваться из-

быток урана-234 в сотни раз превышающие равновесное значение, что в природных условиях не наблюдается, так как параллельно уран поступает в воду из растворенной части минерала. Представляется возможность оценить скорость растворения минералов по отношению к его переходу в воду за счет альфа-распада.

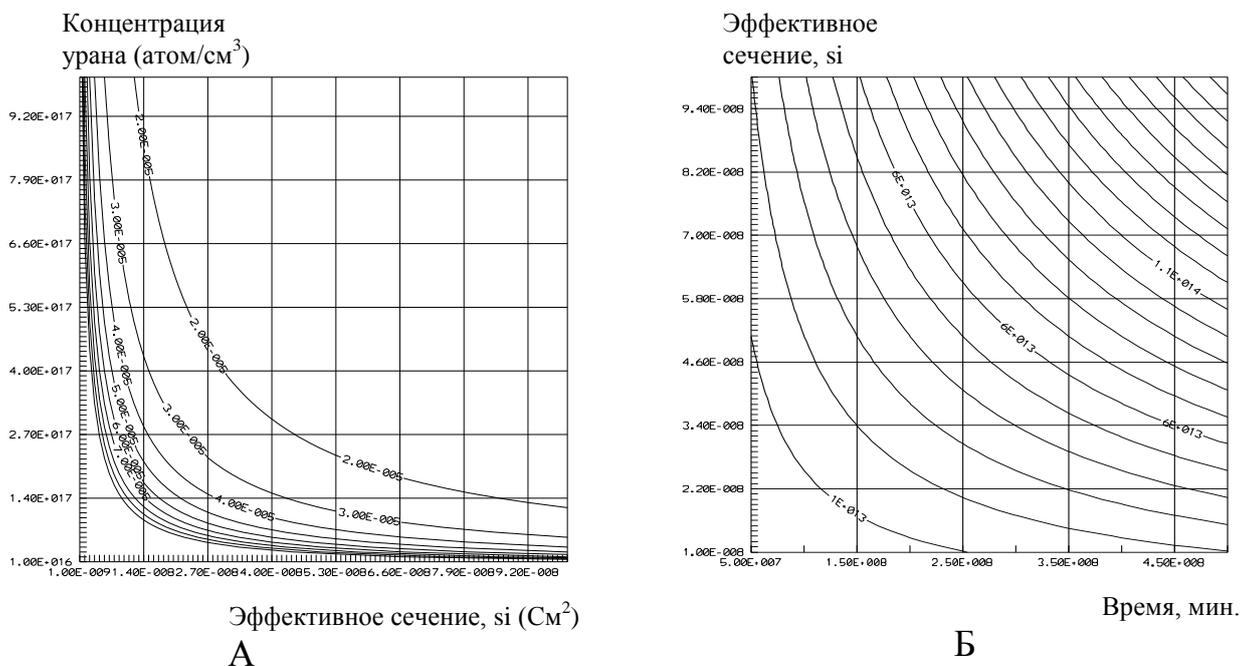


Рисунок 3. А - Зависимость изотопного отношения урана-234 к урану-238, формирующемся в подземных водах при альфа-распаде (по условиям рисунка 2) от концентрации урана в минерале и эффективного сечения выхода урана; Б - Накопление урана в воде в зависимости от времени и эффективного сечения его выхода из горной породы при заданной концентрации урана в горной породе.

В связи с тем, что длина пробега ядра отдачи является определенной величиной, эффективное сечение выхода урана из минерала в воду определяет избыток урана-234 в воде. Причем параллельное растворение минерала равносильно увеличению эффективного сечения выхода урана из минерала в воду. Вычисление скорости растворения производится решением системы уравнений 4,5 и 6, при известных (измеренных) концентрации урана в минерале (горной породе), его изотопном составе, концентрации урана в воде и его изотопном составе

и принятии в качестве меры эффективное сечение дефектной области, равное  $1+E12 \text{ см}^2$ . Наиболее простым является графическое решение этой задачи.

В данном случае изотопы урана являются индикаторами активности взаимодействия горных пород и подземных вод, а их количественные показатели позволяют оценить скорости этих взаимодействий и определить устойчивость природной среды под воздействием геологических факторов, что важно при прогнозе загрязнения геологической среды.

В четвертой главе рассматриваются уран-изотопные данные, полученные для различных горных пород, руд и минералов, и на их основании делается следующее заключение.

*2. Впервые на основании уран-изотопных соотношений распространено неравновесного урана в рудах установлено современное преобразование рудного вещества месторождений со скоростью, соизмеримой с периодом полураспада  $^{234}\text{U}$ , что позволяет прогнозировать интенсивность проявлений геохимических процессов в миграции элементов и загрязнения ими окружающей среды.*

Ранее наибольшее значение изучению четных изотопов урана в твердой фазе придавалось урановым минералам, в связи с поисками урановых руд. К таким работам, в первую очередь, следует отнести ряд исследований Баранова В.И. и др., Старика И.Е. и др., Чалова П.И. и его сотрудников, которыми получено характерное распределение изотопов урана в урановых и урансодержащих минералах и показано, что в трудно растворимых и устойчивых к механическому и термическому разрушению в минералах отношение четных изотопов урана изменяется от  $0.93+0.001$  до  $1.01+0.001$ .

Существенные избытки изотопов урана-234 в горных породах и минералах продемонстрированы В.В.Чердынцевым. Им показано, что в минералах, имеющих слабую активность, в частности киноварь  $\gamma=2.3$ , арагонит  $\gamma=1.3$ , карбонаты  $\gamma=1.15$  и дается объяснение этому выравниванием фона миграционного урана. Работами Чердынцева В.В (1965), Чалова П.И (1975) и Сыромятникова

Н.Г. (1976), а в последние годы Пампуры В.Д., Сандиминова И.В., Медведевой С.А. и др (1996) показано образование избытка урана-234 в современных осадочных отложениях в результате сорбции неравновесного урана из природных вод.

Как правило, минеральные зерна в горных породах живут достаточно длительное время, значительно больше, чем период полураспада урана-234 и это приводит к формированию внутри крупного кристалла равновесного соотношения урана-238 и урана-234. Рассмотрим случай, когда два минеральных зерна, различного состава с разным содержанием урана, находятся в контакте. Такие случаи в горных породах имеют очень широкое распространение, а не исключение.

На рисунке 4 показана модель контакта двух минеральных зерен с различной концентрацией урана. Центральное зерно имеет большее количество атомов урана на единицу объема, чем его окружающее. Атомы урана постоянно распадаются, при этом происходит разлет ядра и альфа частицы в разные стороны. Ядро отдачи имеет энергию 71.2 кэВ, проходит расстояние в минерале около  $1E-6$  см, при этом вырывает из кристаллической решетки минерала около  $1E+5$  атомов. Образуется дефектная область (кластер) в которой находится дополнительно одно ядро атома урана-134, то есть в дефектной области будет формироваться избыток урана-234. Если ядра отдачи не выходят за пределы зерна, то в зерне в целом будет поддерживаться равновесное состояние между материнскими и дочерними изотопами.

Если распад урана происходит на границе минерального зерна, как это показано на рисунке 4, тогда в центральном зерне будет формироваться дефицит, а в соседнем - избыток урана-234. Толщина слоя, в котором будет постоянно формироваться неравновесный уран, не превышает для дефицита и для избытка длины пробега ядра отдачи. При этом, чем больше разность концентраций урана в этих зернах минералов, тем большей будет образовываться избыток и больший дефицит. Это явление было установлено опытным путем Богдановым Р.В. и др.(1994), где показано образования дефицита урана-234 в

тонкой устойчивой к химическому разрушению фракции диктиоменового сланца (граптолитовые аргиллиты) из карьера Маарду. Активным выщелачиванием различных компонентов из граптолитовых аргиллитов авторам удалось получить остаточный компонент с недостатком урана-234 до 65% и показать размер зерен компонента, которые должны быть не более 400-500А (ангстрем).

Если преобразование горных пород и минералов будет проходить за время, значительно (на порядок) большее, чем период полураспада урана-234 (около 250000 лет), то в целом по горной породе имеет место равновесное состояние изотопов урана,.

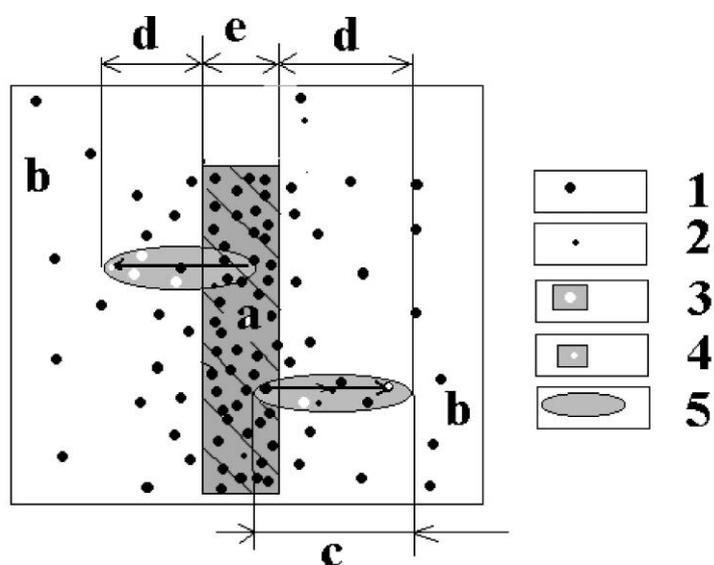


Рисунок 4. Модель образования неравновесного урана на границе двух минералов: 1 – атомы  $^{238}\text{U}$ ; 2 - атомы  $^{234}\text{U}$ ; 3 – выбитые атомы урана из минерала **a**; 4 – ядро отдачи; 5 – дефектная область; **a** – минерал с высокой концентрацией урана; **b**– минерал с низкой концентрацией урана; **c** – расстояние пробега ядра отдачи; **d** – область образования избытка  $^{234}\text{U}$ ; **e** – область образования дефицита  $^{234}\text{U}$ .

Нами исследовался изотопный состав урана в неурановых рудах и вмещающих породах. На рисунке 5 демонстрируется изменение изотопного состава вмещающих горных пород известняков и сланцев в зависимости от расстояния от апикальной части Кадамджайского телетермального (по Федорчуку) сурьмяного месторождения. Пробы отбирались на поверхности месторождения и его вмещающих пород по неравномерной сети, начиная с карьера и до 10 км от центра месторождения. В результате установлено, что в ближней зоне

месторождения в горных породах имеется избыток урана-234, который в карьере в одной из проб, достигает 80% и убывает с удалением от месторождения до равновесного. Такая же закономерность имеет место и для 5-ти % содовых вытяжек из тех же образцов.

Исследование изотопного состава урана в рудах проводилось на месторождениях Средне Азиатской рудной провинции, на трубке Мир в Якутии, кимберлитах трубки Пионерская (Архангельская область), углях Интинского месторождения. На рисунке 6 демонстрируется изменение изотопного отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в кристаллических структурах пород, руд и минералов из указанных рудных полей и районов. Под первым номером на рисунке 6 находятся слюдистые и актинолитовые сланцы Актюзского рудного поля. В них обнаружен высокий до 43% дефицит урана-234. Объяснение этому явлению находим в текстуре самой породы, составленной из тонкочешуйчатых пластин слюд и актинолита, толщина которых может быть близка к 2-5 размерам длины пробега ядер отдачи. В таком случае образованный в результате радиоактивного распада избыток урана-234 выходит из чешуйчатых минералов в межминеральное пространство, где захватывается метеогенными водами и выносится в

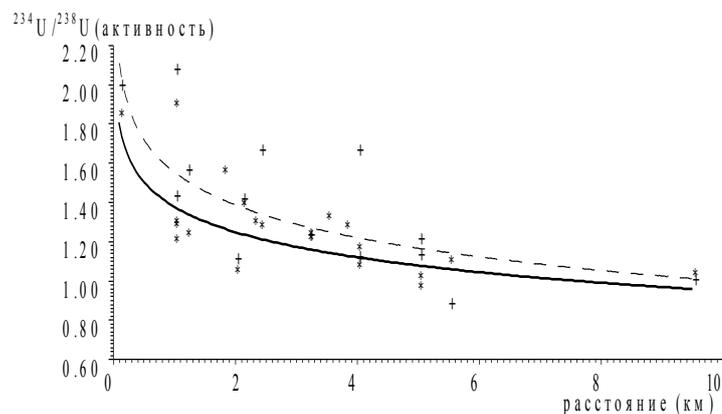


Рисунок 5. Пространственное распределение избытка урана-234 в горных породах Кадамджайского рудного поля: \* - отношение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в общем уране горных пород, + - то же в содовой вытяжке. Сплошной кривой показано расчетное изменение отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  для общего урана и пунктирной- для вытяжек, выполненные по измеренным значениям.

гидросферу. Чем тоньше минеральные чешуи, тем эффективнее будет протекать процесс выноса урана-234 из горной породы. Для песчаников из рудных полей характерен как избыток, так и дефицит изотопа урана-234, что обусловлено двумя процессами. Первый заключается в накоплении аутигенного урана из гидросферы, и второй - аналогичный в слюдистых и актинолитовых сланцах. Протекание того или иного процесса будет определяться гидрологическим режимом песчаников. Для массивных известняков характерно равновесное значение активностей изотопов урана, что обусловлено целостностью их кристаллической структуры и слабым проявлением микротрещин.

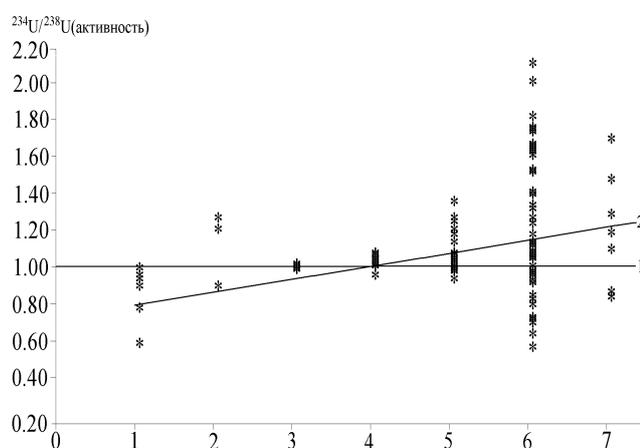


Рисунок 6 Распределение изотопного отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в кристаллических структурах горных пород, руд и минералов: по оси X - 1 - слюдистые сланцы, 2 - песчаники, 3 - массивные известняки, 4 - гранитные массивы, 5 - кристаллические рудовмещающие сланцы, 6 - полиметаллические, сурьмяные, ртутные руды, кимберлиты, 7 - минералы (антимонит, киноварь, сера, лимонит). По оси X - условная градация пород, руд и минералов.

В результате чего ядра отдачи не выходят за пределы кристаллической структуры кальцита, а длительная стабильность обеспечивает выравнивание активностей за счет ядерного распада урана-234.

Гранитные массивы содержат слюдистые минералы, которые на открытой поверхности легко расщепляются и это способствует, отчасти, образованию дефицита урана-234 в зонах их контакта с водой. При благоприятных гидрологических условиях возможен и частичный захват водородного урана микротрещинами гранитов. Но кристаллические граниты с ненарушенной тексту-

рой обладают равновесным ураном. Рудные зоны включают как рудовмещающие породы, так и руды. Нами опробовались руды в шахтах, штольнях глубоких карьерах в период разработок месторождений. Как правило, это хорошо раскристаллизованные образования. При длительном пребывании рудного вещества в стационарном состоянии должно наблюдаться равновесное или близкое к равновесному значение активностей урана-234 и урана-238. На рисунке 6 демонстрируется существенное отклонение изотопов урана в рудах от равновесного как в сторону дефицита, так и в сторону избытка урана-234. Причем неравновесный уран имеет место во всех исследованных нами месторождениях, в том числе в кимберлитах, и сильно изменяется даже в рядом расположенных пробах в пределах одного рудного тела. Так на редкометалльном месторождении Актюз, где оруденение связано со штоком гранофилов палеозоя (главные рудные минералы - касситерит, пирит, молибденит, вольфрамит, шеелит, арсенопирит, магнетит, гематит, ферриторит, монацит, актюзит, марказит, сфалерит, пирротин, халькопирит, станин, галенит), в результате опробования руды в стенке карьера, при свежем вскрытии на протяжении 150м, установлен избыток урана-234 в рудах - от  $1.30 \pm 0.02$  до  $1.73 \pm 0.02$  и непосредственно их вмещающих породах -  $0.99 \pm 0.02$ , а в зонах дробления дефицит урана-234 до 47%. На Хайдарканском рудном поле рудные тела образованы пластовыми залежами джаспероидных брекчий, формирующихся в сводовых частях антиклиналей под экраном глинистых сланцев. Главными минералами являются киноварь, антимонит, кварц, флюорит, кальцит; второстепенными - пирит, арсенопирит, блеклые руды, гетчелит, ливингстонит, золото, галенит, сфалерит, реальгар, аурипигмент, серицит, дикит, барит. Здесь опробовалось рудное тело в свежевскрытой сухой камере на глубине 300 м от поверхности. В пробах установлен неравновесный уран с  $\gamma$  от  $0.88 \pm 0.02$  в экранирующих оруденение сланцах, до  $2.09 \pm 0.02$  в рудах с порошковой киноварью и охрами, массивная однородная киноварь имеет  $\gamma = 1.17 \pm 0.02$ , а кристаллическая дефицит урана-234. На Чаувайском рудном поле опробованы три рудные зоны джаспероидного типа. Рудные тела имеют киноварь в виде вкрапленного, прожилкового и

массивного оруденения, располагаются в джаспероидных брекчиях, плотно сцементированных кремнем, вблизи контакта известняков песчаников и сланцев. Пробы отобраны из массивных известняков, песчаников и сланцев в зоне разлома, из натечного и кристаллического кальцита, и из джаспероидных брекчий с крстисталлами и вкрапленным оруденением. В этих рудных зонах, не зависимо от их положения и обводненности и вмещающих пород установлен неравновесный уран с  $\gamma$  от  $0.70 \pm 0.02$  для джаспероидов с кристаллами киновари до  $1.99 \pm 0.02$  для джаспероидов с вкрапленной киноварью. Результаты опробования рудного тела джаспероидов на горизонте 870 -900м Кадамджайского сурьмяного месторождения показали, что изотопный состав урана имеет как существенный дефицит урана-234  $-\gamma=0.55 \pm 0.02$  для джаспероидов с кристаллами антимонита, так и избыток  $-\gamma=1.69 \pm 0.02$  для массивного однородного антимонита. На месторождении Чонкой Улугтауского рудного поля листовникового типа зафиксирован неравновесный уран с  $\gamma$  от  $0.82 \pm 0.02$  для листовников, до  $1.17 \pm 0.02$  для массивной киновари. В верхнем горизонте глин карьера трубки Мир имеет место избыток урана-234 (14%), в однородных песчаниках дефицит -5% , а в зоне разлома - существенный избыток (64%). В горных породах трубки «Спутник» имеется избыток урана-234 до 44%, а в кимберлитах основной трубки с глубины 450м до - 24%. Это указывает на общую закономерность фракционирования урана в кристаллических структурах руд и их вмещающих породах. Там, где развивается кристаллическая форма рудных минералов происходит выброс "кластеров", образованных ядром отдачи из кристаллов, что создает дефицит урана-234 в таких рудах. "Выброшенные" кластеры переходят или в воду, или в другую форму руд, где образуется избыток урана-234. Такая закономерность нами объясняется постоянным и быстрым преобразованием рудных тел со скоростями сравнимыми со скоростью распада урана-234 (период полураспада около 250 тыс. лет). Полученные результаты указывают на быстрое современное изменение геологической среды в пределах развития оруденения, что существенно меняет взгляды на генезис рудных месторождений и их геоэкологическое состояние. Очевидно что, дефицит или

избыток урана-234 в рудном веществе, в зависимости от его количества характеризует интенсивность проявления геохимических процессов в миграции элементов и загрязнения ими окружающей среды.

**Пятая глава** посвящена результатам изучения изотопов урана в природных водах - атмосферных, ледниковых, морских, озерных, речных, грунтовых, пластовых вод платформенных областей, минеральных и термальных вод, вод глубинных разломов, подземных вод урановых, полиметаллических, редкометалльных, сурьмяных, ртутно-сурьмяных, ртутных месторождений и кимберлитовых трубок. В результате было сделан следующий вывод.

***3. Выявлены аномальные величины неравновесного урана в подземных водах неурановых рудных месторождений и доказано увеличение в них избытка  $^{234}\text{U}$  в последовательности - безрудные породы - ореолы околорудных метасоматитов - месторождения, что является новым направлением прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.***

*Изотопы урана в гидросфере.* Исследования концентрации изотопов урана в гидросфере, представленной атмосферными, ледниковыми, океаническими, речными, озерными, подземными водами платформенных и геосинклинальных областей, рудных полей и безрудных областей и др., активно проводились многими исследователями с целью поисков урановых месторождений и подсчета его общего количества в гидросфере. В последнее время сформировались новые взгляды на изотопы урана в природных водах, вызванные экологическими проблемами и их использованием для прогноза загрязнения геологической среды.

Ниже приводятся краткие сведения из этой главы.

*Изотопы урана в атмосферных осадках.* Атмосферная вода формируется в результате испарения с поверхности Земли. Дистиллированная вода, полученная в лабораторных условиях путем испарения и конденсации, имеет кон-

центрацию урана  $n \times 10^{-10,9}$  г/л. В идеальных условиях такая концентрация должна формироваться и в атмосферных осадках. Атмосферные осадки побережья озера Байкал имеют концентрацию урана от  $2+0.005 \times 10^{-8}$  до  $1+0.005 \times 10^{-7}$  г/л, средняя величина составляет  $2.7 \times 10^{-8}$  г/л, для снеговой воды того же района средняя концентрация составляет  $6.1 \times 10^{-8}$  г/л при избытке урана-234 до 25% (В.Д. Пампуро и др., 1994, 1996). То есть, атмосферная вода содержит урана на порядок больше, чем дистиллированная, полученная в лабораторных условиях, за счет аэрозолей.

*Изотопный состав урана ледников.* Вторым компонент литосферы - ледники формируются в результате атмосферных выпадений. В реальных условиях ледники находятся в длительном контакте с атмосферой под воздействием эоловых процессов, в результате чего происходит пылевой привнос литосферных компонентов, обогащенных ураном, что приводит к увеличению урана в ледниках.

*Изотопы урана в морях и океанах.* Третьим компонентом гидросферы являются океаны и моря. О формировании концентрации урана в воде Мирового океана подробно изложено Г.Н. Батуриным и др (1981), и Р.Л.Эдвардсом и др.(1987). Совокупность данных по урану в мировом океане и открытых морях показывает интервал изменения его концентрации от  $0.7 \times 10^{-6}$  до  $5.8 \times 10^{-6}$  г/л. Отношение четных изотопов урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  для океанов изучалось Гольбергом Э.Д. и Коиде М.(1965) Сигитмура Ж. и Мияке И. (1966), Чердынцевым В.В.(1969). Ими показано, что в связи с высокой растворимостью урана и длительным нахождением его в морской воде открытых морей и мирового океана оно не изменяется и равно  $1.14 \pm 0.014$ . Нами исследовался изотопный состав урана в водах Белого моря по 81 пробе, отобранных в различных его частях и на разных глубинах от поверхности до 100м. Изотопные отношения урана в Белом море изменяются: для глубинных вод от  $1.08 \pm 0.01$  до  $1.25 \pm 0.01$  и для поверхностных вод от  $1.09 \pm 0.01$  до  $1.33 \pm 0.01$ . Разнообразие изотопного состава урана в морской воде указывает на сложное взаимодействие вод Белого

моря с речными и подземными водами, водами Баренцева моря, горными породами.

*Изотопы урана в замкнутых морях и озерах.* Влияние климатических условий на концентрацию урана в озерах различных климатических зон рассматривалось еще в 1979 году Н.И.Титаевой. Показано увеличение избытка урана-234 в поверхностных водах в аридных условиях (до 240% по активности) по сравнению с гумидными (до 40% по активности). Изотопный состав урана для крупных озер Евразии приведен в ряде работ Николаевым Д.С., Зверевым В.Л. и др., Чаловым П.И. и др., Пампурой В.Д., и др. в которых демонстрируется изменение концентрации урана в широком диапазоне от  $n \times 10^{-7}$  г/л до  $n \times 10^{-5}$  г/л., при сравнительно устойчивом избытке урана-234, составляющем 0-90%.

*Формирование и концентрация изотопов урана в реках.*

Механизм поступления урана в воду из горных пород рассмотрен рядом ученых во многих аспектах.

На рисунке 7 показана зависимость избытка урана-234 от концентрации урана в воде крупных рек из различных регионов. Низкие концентрации урана соответствуют большому избытку урана-234, а для высоких концентраций характерен слабый избыток.

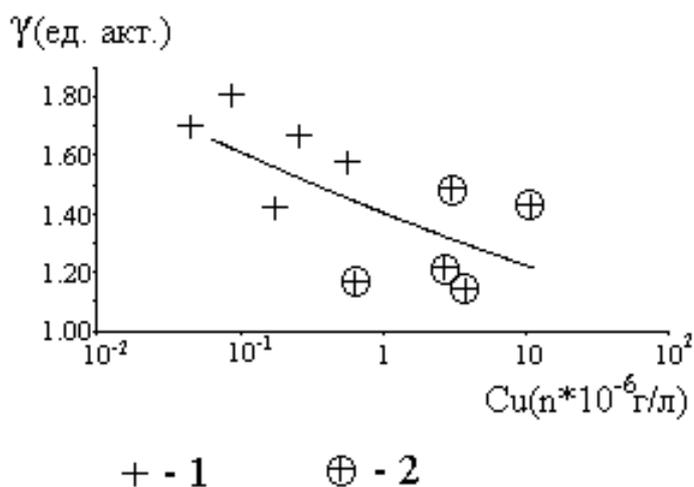


Рисунок 7. Зависимость отношения  $\gamma$  от концентрации урана (Cu) в крупных реках различных климатических зон: 1 - гумидный климат, 2 - аридный климат.

Приведенные данные показывают, что концентрация урана в реках и их притоках изменяется в широком интервале от  $n \times 10^{-8}$  до  $n \times 10^{-4}$  г/л. Такое изменение концентрации определяется двумя главными причинами, имеющими место на водосборной площади: первая - изобилие субдистиллированной воды (атмосферные осадки), способной растворить весь уран из контактируемой горной породы и разбавить раствор до исключительно низких концентраций (вынос урана протекает быстрее физико-химических процессов разрушения минералов горных пород) и вторая - недостаток воды, ее замедленная циркуляция в порах горных пород, приводящая к захвату выведенного из кристаллических решеток и подготовленного для растворения урана.

*Изотопы урана в грунтовых водах.* Подземные воды - исключительно сложная система. Их верхнюю часть занимают грунтовые воды, которые напрямую связаны с поверхностными водами, они формируются в результате атмосферных осадков, поверхностного стока и смешением с трещинными, карстовыми, трещинно-пластовыми и пластовыми водами ниже лежащих горизонтов.

Уран в грунтовых водах формируется в результате накопления на контакте с горными породами и сорбции в специфических условиях, на биологических и геохимических барьерах. Наиболее высокие содержания урана установлены в водах урановых месторождений, где его концентрация иногда достигает  $n \times 10^{-3}$  г/л. Вблизи поверхности на урановых месторождениях протекают интенсивные процессы окисления руд, особенно при наличии сульфидов, что способствует переходу урана из горных пород в воду. В пределах водных ореолов рассеяния концентрация его в воде изменяется от  $n \times 10^{-5}$  до  $n \times 10^{-4}$  г/л (Евсеева Л.С. и др.1974). При субравных геологических условиях для безрудных районов во влажном климате содержание урана в грунтовых водах не превышает  $n \times 10^{-7}$  г/л, в сухом степном районе -  $n \times 10^{-6}$  г/л, в пустынном районе -  $n \times 10^{-5}$  г/л (Германов А.И. и др.,1959, Титаева Н.И.,1979). Аналогичные данные нами получены для Северного Кавказа. Увеличение урана в грунтовых водах безрудных пустынных районах более чем в 100 раз по сравнению с увлажнен-

ными районами в период активного поиска урановых руд расценивался как ложный гидрохимический показатель урановых месторождений. В настоящее время, когда исследования носят экологический характер, такие концентрации урана в подземных водах следует рассматривать как отрицательный экологический фактор естественного загрязнения геологической среды.

*Изотопы урана в минеральных и термальных водах.* Определения изотопного состава урана в минеральных и термальных водах выполнялись в различных регионах Мира. Наиболее показательными являются работы на Кавказе, Прикаспии, в Тянь-Шане и на Памире, начатые В.В. Чердынцевым и сотрудниками Геологического института АН СССР и продолжены в последующем рядом исследователей, в том числе и автором.

Термальные минеральные воды пластового типа (месторождения Ессентуки, Нагуты, ряд месторождений в Иссык-Кульской и Чуйской впадинах, Челекенские рассолы) имеют незначительный избыток урана, в среднем не превышающий 90% и низкую концентрацию урана ( $n \cdot 10^{-7}$ ). Низкие концентрации урана отмечены в глубоких термах, Челекенских и Мирненских рассолах

*Исследования изотопов урана в водах глубинных разломов.* Первые работы этого направления относятся к периоду развития изотопной диагностики глубинных вод и развития идей формирования ряда изотопов при дифференциации вещества верхней мантии. В последующем эти идеи продолжали развиваться с привлечением изотопов урана (Чалов П.И., Тузова Т.В., Алехина В.М. (1980), при этом исследователи получали, иногда, противоречивые данные; в одних разломах наблюдался высокий избыток урана-234, в других разломах избыток урана-234 практически не отличался от фонового. В Северном Тянь-Шане нами сопоставлено наличие землетрясений, термальных вод и избытка урана-234 в них для узлов пересечения региональных субширотных и северо-западных тектонических зон, выделяемых по геологическим и геофизическим данным и показано, что в подземных водах активизированных разломов избыток урана на 60-90% выше, чем в источниках соседних областей.

*Изотопный состав урана пластовых вод платформенных областей.*

Длительное нахождение пластовых вод в хорошо экранированной системе должно приводить к равновесию изотопов урана, однако, это явление не имеет повсеместного распространения. Пластовые воды нефтяных месторождений наименее подвержены современному влиянию глубинных процессов и мало подвижны, их время нахождения в законсервированном состоянии более периода полураспада урана-234. В результате этого в воде формируется близкий к равновесному изотопный состав урана, а высокие концентрации урана в них говорят о длительном периоде его накопления. В пластовых водах встречены аномальные избытки урана-234, достигающие  $21.0 \pm 0.05$  при низких концентрациях урана ( $n \cdot 10^{-7}$  г/л) (Е.С. Мурфи и др., 1993, Белкина и др. 1989). При этом как в Эстонии, так и в Дакоте, развиты ураноносные горизонты, которые за счет первичных и вторичных ореолов рассеяния создают аномальные избытки урана-234 по механизму их образования в пределах рудных месторождений урана. С учетом накопления урана в пластовых водах с такими избытками урана-234 следует сделать вывод о высоких скоростях на платформах природного рассеяния первичных залежей урана подземными водами. Этот вывод имеет важное значение для водоснабжения населения из подземных вод в жестких экологических условиях современного состояния геологической среды.

*Изотопы урана в подземных водах урановых месторождений.* Высокая концентрация урана и его изотопный состав в подземных водах зависит от наличия радиоактивных руд в горных породах. Эта тема прорабатывалась Н.Г. Сыромятниковым (1961, 1976). В последствии появился ряд работ, демонстрирующих аномальный избыток урана в определенных водах урановых месторождений (К.Е. Иванов и Р.Г. Кудряшова 1963, В.И. Малышев и др. 1979), из которых следует, что в ореольных водах возникает аномальный избыток урана-234 ( $\gamma$  достигает  $17 \pm 0.05$ ), при высоких концентрациях валового содержания ( $n \cdot 10^{-3}$  г/л.). При этом непосредственно в водах рудных тел избыток урана не превышает 200%, к периферии рудных тел наблюдается его увеличение, а с удалением по направлению движения вод на сотни метров происходит увели-

чение в несколько раз. Аналогичные данные нами были получены на уран-ванадиевом месторождении.

*Изотопный состав урана в подземных водах полиметаллических и ртутно-сурьмяных рудных месторождениях.*

**Терек-Тереканское рудное поле.** Детально изотопы урана изучались в природных водах Терек-Тереканского рудного поля, которое располагается в Терек-Касанском рудном районе на южном склоне Чаткальского хребта Тянь-Шаня и состоит из нескольких месторождений - Терекского, Терексайского, Тереканского и др. Рассматривая пространственное положение изотопов урана в водах Терек-Тереканского рудного поля, установлена следующая закономерность. В водах окисленной рудной зоны происходит накопление урана со скоростью на порядок выше, чем в нерудных зонах. В водах, омывающих погруженные рудные тела, представленные в основном на Тереканском месторождении накопление равновесного урана замедляется, при этом увеличивается избыток урана-234 до 200%, то есть воды, омывающие неокисленные руды, имеют существенный избыток урана-234.

**Актюзское редкометаллическое рудное поле.** Проведенные работы по изучению изотопов урана в подземных водах Актюзского редкометалльно-горудного поля показывают следующее. На каждом месторождении в источниках подземных вод наблюдается избыток урана-234 более 200% (Рисунок 8).

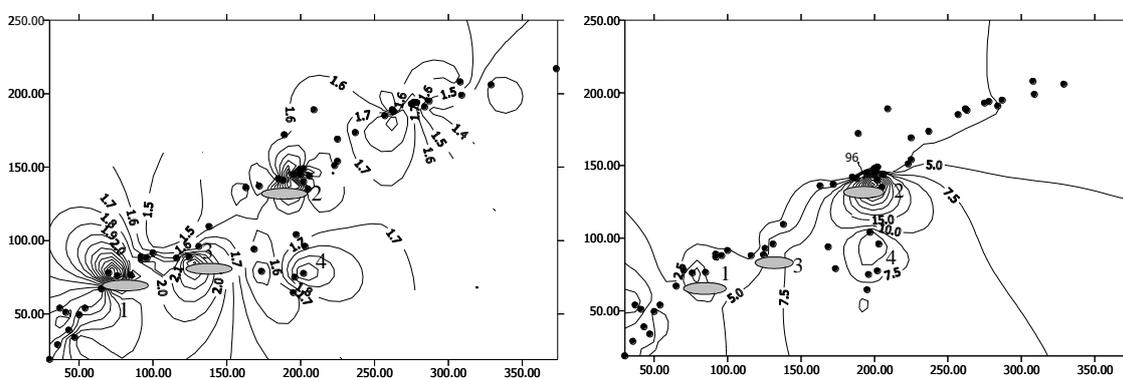


Рисунок 8. Избыток урана-234 (ед. активности) и концентрация урана ( $1 \cdot 10^{-6}$  г/л) в подземных водах Актюзского редкометаллического рудного поля: 1 - Кеминская рудная зо-

на, 2 - Актюзская рудная зона, 3 - Куперлисайская рудная зона, 4 - медное рудопроявление. Точками показаны места опробования подземных вод.

Максимальный избыток урана-234 в подземных водах имеет место в Кеминской рудной зоне, достигающий  $3.2 \pm 0.01$  (по активности). В Куперлисайской рудной зоне отношение изотопов урана составляет  $2.78 \pm 0.01$ . Актюзская рудная зона имеет максимальный избыток урана-234 - 2.52, при этом сопровождается высокими концентрациями урана ( $95 \times 10^{-6}$  г/л). На рисунке 8, под номером 4, имеется аномальная зона, с  $\gamma = 2.1 \pm 0.01$ , соответствующая медному рудопроявлению

*Кадамджайское рудное поле.* На рисунке 1 приведено распределение избытка урана-234 в подземных водах Кадамджайского сурьмяного месторождения по субширотному профилю, построено его распределение и в плане, установленное по исследованию ряда источников на дневной поверхности и в горных выработках. В данном районе развиты трещинные и трещинно-карстовые воды, которые омывают окисленные и неокисленные сурьмяные руды и вмещающие горные породы на различных глубинах месторождения. На месторождении отобрано 30 проб из родников и горных выработок, в которых дебит изменился в период интенсивных откачек, то есть взаимосвязанных единым гидрогеологическим пространством. Высокие концентрации урана с малым избытком урана-234 ( $5.7 \pm 0.1 \times 10^{-6}$  г/л,  $\gamma = 1.34 \pm 0.01$  и  $10.1 \pm 0.1 \times 10^{-6}$  г/л,  $\gamma = 1.01 \pm 0.01$ ) установлены в трещинных и трещинно-карстовых водах в горных выработках на горизонте 870, расположенных под карьером, где развиты окисленные руды. С удалением от поверхности концентрация в воде падает до  $0.75 \pm 0.1 \times 10^{-6}$  г/л, а на глубине 600м в шахте «Новая» при концентрации урана  $2.1 \pm 0.1 \times 10^{-6}$  г/л изотопное отношение составляет  $3.50 \pm 0.01$ . Контур аномального избытка урана-234 (более 200%) превышает контур разведанного месторождения. Северная ветвь его образовалась по направлению регионального стока подземных вод. Такое распределение изотопов урана в подземных водах

месторождения аналогично Терек-Тереканскому полиметаллическому рудному полю.

*Хайдарканское ртутное рудное поле.* . В центральной части рудного поля в горных выработках воды трещинного и трещинно-карстового типов слабо обогащенные ураном ( $0.9-2 \times 10^{-6}$  г/л) имеют избыток урана-234 более 200%. К флангам рудного поля в водах из скважин и родников этот показатель снижается до 20-60 %, при этом концентрация урана увеличивается до  $12 \times 10^{-6}$  г/л. В родниках, располагающихся в центре рудного поля, где руда выходит на поверхность или вскрыта карьерами, концентрация урана в воде повышается в 2-3 раза, а отношение  $\gamma$  понижается до  $1.56 \pm 0.01$ . То есть поведение изотопов урана в водах этого рудного поля аналогично другим месторождениям.

*Изотопы урана в водах кимберлитовых трубок.* Аномальные избытки урана-234 в водах, омывающих кимберлиты, были установлены Ежовой М.П. и Поляковым В.А. ВСЕГИНГЕО. Нами проведены повторные определения изотопов урана в подземных водах трубки Мир в Якутии и впервые на трубке им. Ломоносова в Архангельской области, и были получены аналогичные результаты из которых следует, что как на трубке «Мир» в Якутии на Сибирской платформе, так и на месторождении им Ломоносова на Европейской платформе в подземных водах имеет место аномальный избыток урана-234, который существенно превышает избыток урана-234 в водах поверхностного стока для этих регионов.

Из приведенного выше следует, что рудные радиоактивные и нерадиоактивные месторождения сопровождаются подземными водами с аномальными избытками урана-234, превышающими в единицах активности 60- и более %. Идентичное поведение изотопов урана в водах руд, указывает на единый механизм их формирования, и объясняется современным преобразованием рудного вещества, которое сопровождается частичной перекристаллизацией руд и горных пород в современных условиях в результате чего в межкристаллическое пространство попадают "кластеры" с высоким избытком урана-234, захватывающие в дальнейшем подземными водами. Этот вывод имеет существен-

ное практическое значение при прогнозах скрытого оруденения и при оценке загрязнения геологической среды природными и антропогенными процессами.

**Шестая глава** диссертации дополняет пятую и посвящена региональным исследованиям распределения изотопов урана в рудных районах. В ней показано на примере Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса закономерное увеличение избытка урана от безрудных пород к рудосодержащим структурам (региональные ореолы околорудных метасоматитов) до рудных месторождений. А так же демонстрируются методы интерпретации уран-изотопной информации для прогноза месторождений полезных ископаемых.

Для определения регионального распределения избытка урана-234 в подземных водах рудных районов нами проведены уран-изотопные исследования в пределах Южно-Ферганского рудного пояса, при этом опробовано 300 источников подземных и поверхностных вод, в которых определена концентрация валового урана и изотопное отношение  $\gamma$ . (Рисунки 9 и 10). Южно-Ферганский ртутно-сурьмяный пояс располагается в Средне-Азиатской ртутно-сурьмяной провинции, пространственно приурочен к Южному Тянь-Шаню - герцинской геосинклинали, протягивающейся от Ханкин-Гола на востоке до Аральского моря на западе и уходящей далее на Южный Урал.

На рисунке 9 показаны основные геологические структуры района уран-изотопных исследований. Северная часть его находится в Карачатырском прогибе, южная в Алайском антиклинории. Южнее Карачатырского прогиба располагается Каузанско-Боординский антиклинорий, отделенный от Алайского антиклинория Охнинско-Талдыкским синклинорием. Эти крупные тектонические структуры разделены между собой, по данным В.П.Федорчука, глубинными разломами. Подземные воды в исследуемом районе формируются в результате общего регионального стока с Алайского хребта с юга на север, а так же в результате атмосферных осадков. Воды, представленные, в основном, тремя типами - трещинными, трещинно-карстовыми и пластовыми, слабо минерализованы.

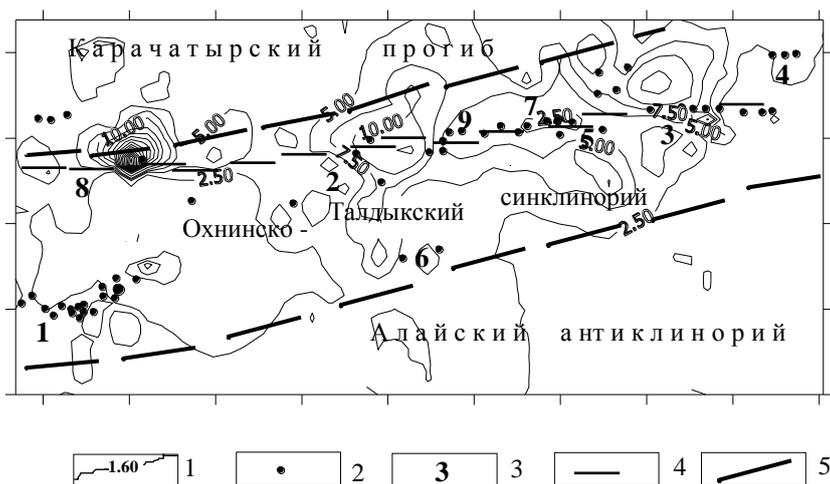


Рисунок 9. Распределение концентрации урана ( $n \cdot 10^{-6}$  г/л) в подземных водах Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса: 1 - изолинии концентрации урана, 2 - месторождения ртути, сурьмы и полиметаллов, 3 - рудные поля и крупные месторождения: 1 - Хайдарканское, 2 - Кадамджайское, 3 - Чаувайское, 4 - Аксай, 5 - Южный Арпалык, 6 - Шамансай, 7 - Северо-Акташское, 8 - Шунгптоуская группа рудопроявлений (Кара-Данги); 9 - Акташское, 4 - разломы в рудных полях, 5 - границы геологических структур.

Дебит источников измеряется от десятитысячных до нескольких кубических метров в секунду. Опробование источников проводилось в летнее время, в период засухи, поэтому в родниках в основном были воды из глубоких горизонтов, так как поверхностный сток атмосферных осадков происходит быстро по причине крутизны склонов и большого коэффициента испарения. Пробы отбирались по 40л из естественных и искусственных (скважин, колодцев, горных выработок) источников по неравномерной сети. В период отбора проб изучался состав горных пород, из которых выходят подземные воды. Параллельно опробовался и речной сток. В Карачатырском прогибе сформировано ряд уран-ванадиевых рудопроявлений непромышленного типа, в пределах которых в подземных водах имеет место аномальный избыток урана-234 (более 150%) с высокими концентрациями урана ( $n \times 10^{-5}$  г/л). Но в целом эта структура обладает водами с небольшими избытками урана-234 при повышенных концентрациях урана.



Рисунок 10. Распределение избытка урана-234 в подземных водах Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса (в изолониях), усл. См рисунок 10)

Наиболее высокие значения  $\gamma$  (3.8 - максимальное, 1.8 - среднее) характерны для подземных вод Каузанско-Боординского антиклинория, который содержит промышленные месторождения ртути и сурьмы: Кадамджай, Чаувай, Акташ, Южный Арпалык и т.д. и подверженному региональному метасоматозу. Аналогичные уран-изотопные показатели ( $\gamma$  максимальное - 3.4 и среднее - 1.7) имеет Охнинско-Талдыкский синклиниорий, к которому приурочены - Ишметауская и Атабашская рудные кулисы, включающие крупнейшие ртутно-сурьмяные месторождения Хайдарканского рудного поля, а также ряд других месторождений и рудопроявлений джаспероидного типа. Для подземных вод Алайского антиклинория, в пределах которого на исследуемой территории не обнаружено месторождений, характерен заметно меньший избыток урана по сравнению с выше рассмотренными структурами (максимальное - 1.8, среднее - 1.4). Приведенные данные показывают, что избыток урана-234 в подземных водах зависит от степени метасоматоза крупных геологических структур и наличия в них рудных месторождений. В рудных кулисах и рудных полях избыток урана-234 выше, чем в их контролирующих геологических структурах, а на рудных месторождениях избыток урана в водах превышает фоновый в 1.5-2 раза. Полученные данные демонстрируют высокую информативность изотопов урана в подземных водах по отношению к рудным и безрудным структурам.

Нами отмечено, что максимальные значения  $\gamma$  при малых концентрациях урана характерны для ртутных месторождений, следующее место занимают ртутно-сурьмяные месторождения, за тем сурьмяные, после следуют полиметаллические и завершает ряд редкометалльные месторождения. Урановые месторождения будут располагаться после редкометалльных. Показанная зависимость  $\gamma$  от  $C_u$  для различных типов месторождений дает возможность оперировать распределением избытка урана-234 и концентрацией урана в водах рудных районов для определения типов оруденения. Для примера на рисунке 11 приведена карта некоторого параметра  $W$ , образованного в результате деления избытка урана-234 по активности на относительную концентрацию урана  $n$ , где  $n = n \cdot 10^{-6} \text{ г/л} / 10^{-6}$ . В результате такой операции происходит усиление аномального эффекта в ртутных, ртутно-сурьмяных и сурьмяных месторождениях, скрытых на больших глубинах, исчезает аномальный эффект от полиметаллических и урановых рудных объектов, а так же зон окисления. При этом по интенсивности параметра  $W$  возможна качественная оценка типа оруденения.

Для выделения полиметаллических и урансодержащих рудных зон следует построить карту абсолютных значений содержания урана-234 в подземных водах рудных районов, для чего необходимо найти произведение концентрации урана на  $\gamma$  в массовых единицах. На рисунке 12 демонстрируется карта относительного содержания урана-234 в подземных водах для Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса, где наиболее контрастно выделяется уранванадиевое рудопроявление в Карачатырском прогибе, при этом исчезают аномальные зоны в районе рудных месторождений ртути и сурьмы, в связи с тем, что в урановых месторождениях урана-234 образуется на много больше, чем в неурановых.

Для выделения рудных зон в рудных районах, не зависимо от оруденения, следует избыток урана-234 определять над уровнем фона для заданной области. Достижение этой цели проводится с помощью математического сглаживания пространственного распределения  $\gamma$ , по типу применяемых сглаживаний для потенциальных полей, до уровня естественного значения  $\gamma$  в водах безруд-

ных областей рудного поля. Такое сглаживание дает неравномерную в пространстве матрицу значений, которая вычитается из первичного распределения  $\gamma$ . Образовавшаяся новая матрица отражает избыток урана-234 в подземных водах над фоновым распределением.



Рисунок 11 Распределение параметра  $W$  (в изолиниях) для Южно-Ферганского рудного поля: (Условные см. рисунок 10)

Области распространения подземных водах с относительным аномальным избытком урана-234 интерпретируются как рудосодержащие.

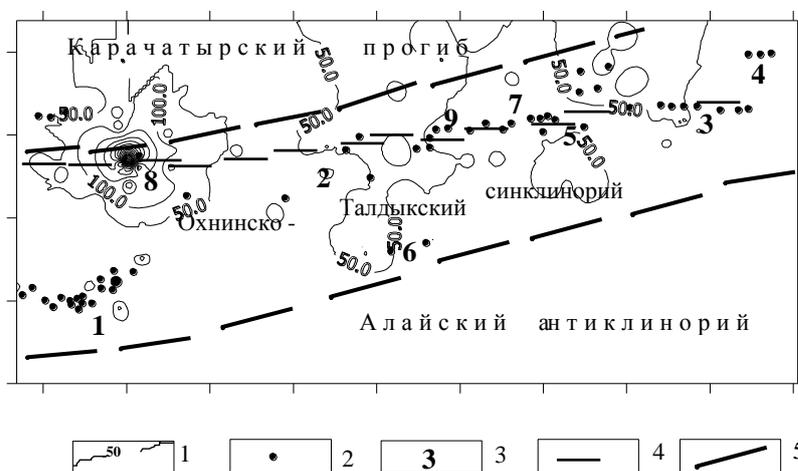


Рисунок 12 Концентрация урана-234 (в условных единицах) в подземных водах Южно-Ферганского рудного поля: (Усл. См рисунок 10)

Приведенные данные показывают широкие возможности уран-изотопных исследований для поисков промышленного оруденения в рудных районах, для чего необходимо проведение специализированных съемок под-

земных вод и учет особенностей формирования изотопного состава урана для различных типов месторождений.

**Седьмая глава** посвящена демонстрации прогноза загрязнения геологической среды уран-изотопными методами на примере Есентукского месторождения минеральных вод КМВ.

*4. Установленная закономерная связь концентрации  $U$  и отношения  $^{234}U/^{238}U$  формирующихся в воде в результате физико-химических и ядерных процессов является информативным показателем для определения генезиса подземных вод и прогноза загрязнения геологической среды.*

*Прогноз загрязнения геологической среды.* Основным транспортом загрязнений в геологической среде являются подземные воды. Для прогноза загрязнения геологической среды естественным и антропогенным воздействием необходимо изучить уран-изотопные показатели подземных вод, установить их генезис по условиям формирования уран-изотопного состава, определить направления и скорости движения подземных вод, степени смешения с другими водами. Выделить те водные потоки, которые будут основным транспортом загрязнителей. В подземных водах как складчатых, так и платформенных областей имеет место сложное взаимодействие различных генетических типов вод, их смешение и изменение направления движения. Определение генезиса подземных вод является неотъемлемой частью их подсчета запасов и оценки защищенности от загрязнений, а так же для установления носителя загрязнения в геологической среде. Использование изотопного отношения  $\gamma$  для определения доли смешения вод различных потоков предложено еще в 70-х годах и нашло широкое применение. Потоки различных вод хорошо дифференцируются по изотопам урана, а их генезис не всегда очевиден. В практике решение этой задачи должно основываться на методе исключения по типу отсутствуют (присутствуют) урановые руды или ураноносные горизонты, неурановые руды

магматогенного или осадочного происхождения, глубинные разломы и их активность, климатическое влияние на грунтовые воды и др.

Накопленный опыт позволяет по изотопному составу урана и его концентрации в подземных водах определить их генезис и взаимодействие с геологической средой с учетом предложенной модели перехода изотопов урана из горной породы в воду. Выделить водные потоки, несущие загрязнения геологической среды. Это возможно продемонстрировать на примере Ессентукского месторождения Кавказских минеральных вод (КМВ), где нами была выполнена детальная уран-изотопная съемка поверхностных и подземных вод

Ессентукское месторождение соляно-щелочных вод приурочено к осевой части субмеридионального минераловодческого поднятия начинающегося у подножия Эльбруса, протягивающегося в северо-восточном направлении и осложненного магматическими диапирами - лакколитами. Наиболее древние в районе месторождения - кристаллические породы нижнего палеозоя. На них, моноклинально, залегает толща осадочных отложений юрского, мелового и палеогенового комплексов, общей мощностью от нескольких сот метров в южной части до 1500 м в северной. В нижнемеловых отложениях распространены слабоминерализованные воды (менее 2 г/л). Выше, в отложениях верхнего мела, гидрокарбонатно-хлорная и гидрокарбонатно-сульфатная минерализация достигает 6-10 г/л, а в палеогеновых отложениях хлоридно-натриевые воды имеют минерализацию 20-25 г/л. Формирование такого разнообразия вод по горизонтам создает трудности с определением их современного состояния и взаимобмена. В этой связи нами были поставлены уран-изотопные исследования минеральных и пресных поверхностных и подземных вод Ессентукского месторождения, опробовано 120 водопунктов, в том числе 33 скважины, 42 колодца, 22 родника и 23 поверхностного стока. Пробы отбирались в объемах: для минеральных вод по - 200 л, для колодцев и родников по 40 л и для поверхностного стока по 20-40л. Обработка проб и получение уран-изотопных данных в них производилась по стандартным методиками. Полученные данные систематизировались по глубинам подземных вод и их положению в простран-

стве, в результате чего получено пространственное распределение избытка урана-234 в водах района для верхнего горизонта и по профилю Кисловодск-г.Бык (рисунок 13.) Распределение изотопов урана не имеет строгой ориентации по направлению регионального стока северо-восточного направления, что указывает на локальные и разрозненные области взаимодействия метеогенных и глубинных вод. В северо-восточной части месторождения, вдоль магматических диапиров развиты воды с низким изотопным отношением  $\gamma$  и высокими концентрациями валового урана, сформированные под влиянием урановой минерализации на г.Бештау и г.Шелудивая в зоне интенсивного естественного и техногенного окисления.

Полученные данные позволили сформировать модель взаимосвязи вод различного генезиса Ессентукского месторождения и провести расчет пропорций их смешения при задании граничных уран-изотопных показателей. На рисунке 14 приводится модель взаимосвязи вод различных горизонтов, выполненная А.И. Тихоновым совместно с автором. Вся поверхность территории, откуда возможно поступление техногенного загрязнения геологической среды, условно разделена на зоны подземных вод с высоким изотопным отношением  $\gamma > 1.6$ , зоны с низким изотопным отношением  $\gamma < 1.28 \pm 0.01$  и зоны с умеренным отношением  $\gamma = 1.29 \pm 0.01 - 1.59 \pm 0.01$ . Первые интерпретировались как участки с куполообразным поднятием глубинных вод. Вторые как участки с выклиниванием пластовых вод палеогеновых отложений и третьи с инфильтрацией поверхностных вод в более глубокие горизонты. Кроме того, территория районировалась по концентрации урана в грунтовых водах на три части. Первая, относится к области разгрузки вод палеогеновых отложений с повышенными концентрациями урана, вторая - к области разгрузки вод с повышенными концентрациями урана из ураноносных гранитоидов и третья к области загрязнения вод техногенным ураном из вымываемых урановых руд г. Бештау и г. Шелудивая. Для выделенных зон рассчитывались составляющие компоненты вод в процентах при этом принимались следующие граничные уран-изотопные условия.

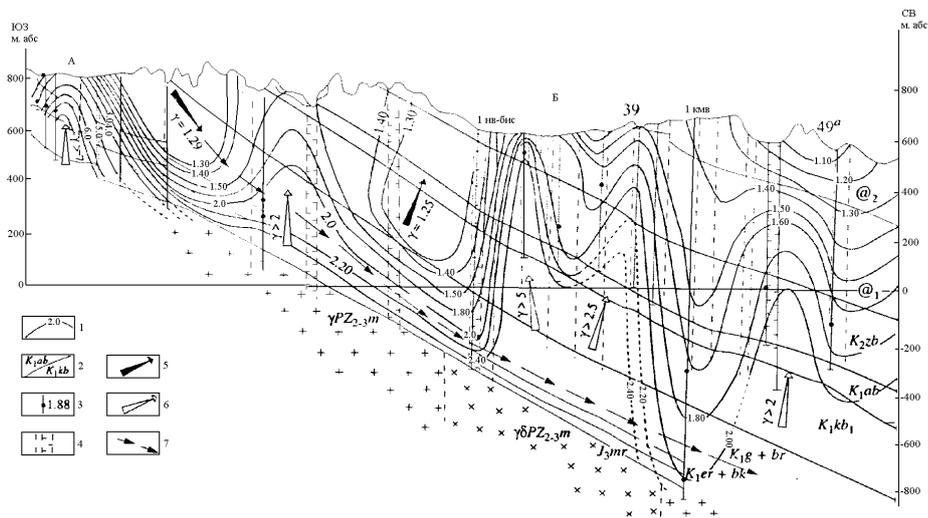


Рисунок 13. Изменение изотопного состава урана в подземных водах Ессентукского месторождения по разрезу Кисловодск - г. Бык: 1 - изолинии величины  $\gamma$ , 2 - стратиграфическая граница, 3 - скважина и средняя глубина установки фильтров (номера скважин см. рис.7.5), 4 - тектонические нарушения, 5 - направление фильтрации поверхностных вод и частичной разгрузки пластовых вод мелового комплекса, 6 - направление внедрения глубинных вод, 7 - направление движения инфильтрогенных пластовых вод мелового комплекса, А,Б - местонахождение Кисловодского и Ессентукского месторождений.

В меловых отложениях сосредоточены пластовые воды с  $\gamma=1.29\pm 0.01$  и  $Cu=6.5\cdot 10^{-6}$  г/л, которые смешиваются с глубинными водами с  $\gamma>5.26\pm 0.02$  и  $Cu=0.1\cdot 10^{-7}$  г/л, и с водами, вымывающими уран из рудной зоны с  $\gamma=1.1\pm 0.01 - 1.4\pm 0.01$  и  $Cu=1.55\cdot 10^{-5}$  г/л.

Проведенные уран-изотопные работы на Ессентукском месторождении позволили оценить основные области питания минеральных вод, их генетическую принадлежность к тем или иным горизонтам и процент смешения в эксплуатируемых скважинах, а так же защищенность месторождения от поверхностного загрязнения.

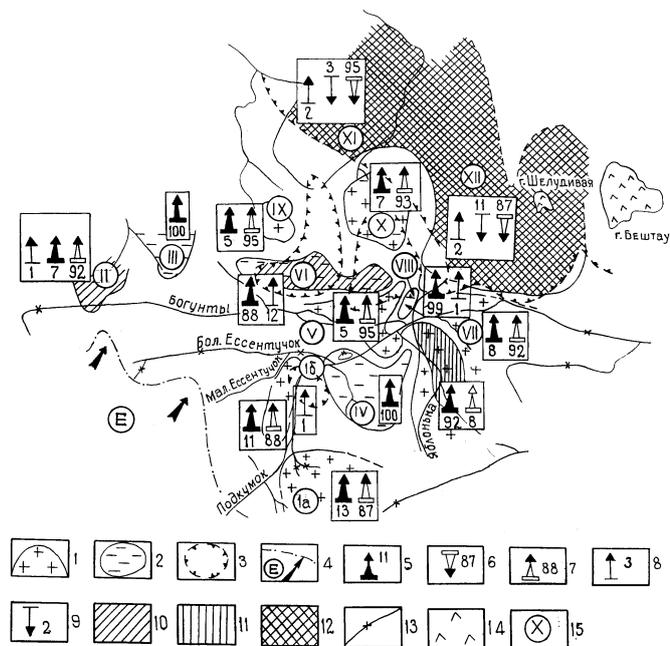


Рисунок 14. Уран-изотопная модель циркуляции и загрязнения ураном подземных вод приповерхностной зоны в районе Эссенчукского месторождения: 1,2 - участки распространения подземных вод с аномально повышенным и пониженным изотопным сдвигом в уране, 3 - контуры участков распространения подземных вод с повышенным содержанием урана, 4 - подземный поток инфильтрационного питания, 5 - разгрузка пластовых вод меловых отложений, 6 - инфильтрация поверхностных (речных) вод, 7 - внедрение подземных вод глубокой инфильтрации, 8 - разгрузка «остаточных» вод палеогеновых отложений (с указанием долей в %), 9 - инфильтрация техногенно-загрязненных подземных вод (с указанием долей, в %), 10-12 - площади распространения подземных вод, подверженных обогащению ураном за счет разгрузки «остаточных» вод палеогеновых отложений, подтока глубинных вод с повышенным содержанием урана и техногенного загрязнения соответственно, 13 - река, 14 - лакколлит, 15 - номера аномальных зон.

На данном примере показано, что изотопная система концентрации урана и его уран-изотопного состава является информативным показателем для определения генезиса подземных вод и прогноза загрязнения геологической среды.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данная работа сделана, главным образом, на анализе авторских результатов определения изотопов урана в различных объектах лито- и гидросферы. Для этого были организованы и проведены научные экспедиции на рудные полиметаллические, редкометалльные, ртутные и сурьмяные месторождения Север-

ного, Срединного и Южного Тянь-Шаня, на месторождения пресных, термальных и минеральных подземных вод, пресных и соленых поверхностных вод Средней Азии, Якутии, Прикаспия, Кавказа, Земли Франца Иосифа, Белого, Баренцева и Карского морях и их побережий, а так же на Европейском Севере России, на кимберлитовые трубки "МИР" в Якутии, "Пионерская" и "имени Ломоносова" в Архангельской области, в которых автор участвовал в качестве руководителя и ведущего исполнителя. В различных географических и геологических условиях изучался изотопный состав урана руд и вод и их генезис с целью разработки методов прогноза месторождений полезных ископаемых и мониторинга загрязнения геологической среды. В Институте экологических проблем Севера УрО РАН (г.Архангельск) под непосредственным руководством автора была создана научная лаборатория, оснащенная радиохимическим оборудованием, полупроводниковым альфа-спектрометром, позволяющая изучение изотопов урана в горных породах и воде, по методикам, разработанным в ВИМС (В.И.Малышев).

Приведенные данные об изотопном составе урана в гидро- и литосферных компонентах имеют существенное значение для геологических, геоэкологических, геохимических, геофизических и гидрогеологических исследований: использование изотопов урана возможно как некоторой информационной системы о состоянии лито- и гидросферы, что позволяет значительно расширить круг решаемых задач, в частности, определение генезиса подземных вод, разделения потоков, принципиально решается задача о возможном загрязнении их продуктами антропогенной деятельности или защищенности от загрязнений, как это продемонстрировано в работе на примере Эссентукского месторождения минеральных вод, прогноз месторождений металлов, скрытых на больших глубинах без применения сложных горных работ, что сокращает антропогенное воздействие на природную среду. Определение естественных условий формирования концентрации урана и его изотопного состава в подземных водах и горных породах в различных гидрогеологических и геологических условиях дает возможность выделить антропогенную составляющую урана при

возможном загрязнении геосферы ураном от ядерных центров, хранилищ радиоактивных отходов, хранилищ радиоактивного сырья, транспортировки ядерного топлива и аварий на ядерных установках и сброса радиоактивных отходов. Принципиальное значение имеет модель перехода урана в системе горная порода-вода, которая представляет собой некоторый синтез ядерных и физико-химических процессов в земной коре и обеспечивает возможность определения скоростей современного преобразования геосферы посредством радиоактивного распада урана-238. Механизмы обогащения ураном гидросферы сводятся к взаимодействию двух процессов: ядерного разрушения минералов горных пород и физико-химического перераспределения вещества в земной коре. Последний на поверхности Земли в тысячи раз интенсивнее ядерного, зависящего от концентрации радиоактивных элементов в горных породах, как на поверхности так и в глубоких горизонтах. Интенсивные физико-химические процессы на поверхности Земли приводят к увеличению концентрации урана в гидросферном компоненте на несколько порядков по отношению к глубинным водам. Рудные месторождения, скрытые на глубине, сопровождаются водами с аномальным избытком урана-234, формирование которого обусловлено доступным для подземных вод ураном-234 в рудной зоне, сформированного в результате естественного современного преобразования рудного вещества. Окисленные области месторождений сопровождается водами с высокими концентрациями равновесного урана. Это позволяет использовать изотопы урана, как для поисков скрытого оруденения, так и для определения размеров окисленной рудной зоны. Дальнейшие исследования изотопов урана в геологической среде следует направить в область количественного определения скоростей гидрогеологических и геологических процессов посредством радиоактивного распада урана и других изотопов.

## ***ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ***

1. Исследование возможностей комплексирования изотопных и магнитометрических методов для поисков месторождений термоминеральных вод. Изотопы в гидросфере Тезисы 2-го Всесоюзного семинара. М. 1985 г. С. 241-242. Соавт. П.И.Чалов и др.
2. Эффективность геофизических методов поисков и разведки на территории Киргизии.// Изв. АН Киргизской ССР Физ.-техн.и матем.науки 1985 №5 с.3-7. Соавт. Суеркулов Э.А.
3. Эффективность аэрогамма-спектрометрической съемки в Киргизии. Разведка и охрана недр. №5, 1985г. -стр.57-59. Соавт. Суеркулов Э.А., Осмонбетов О.К.
4. Комплексирование изотопных и магнитометрических методов при поисках месторождений термоминеральных вод в межгорной впадине.//Изв.АН СССР. Физика земли.1986 г.№10, с.107-111. Соавт. П.И.Чалов и др.
5. Металлогеническое значение скрытых дискордантных разломов Южно-Ферганского-рудного пояса. Тезисы I Всесоюзной конференции по металлогении Тянь-Шаня. г.Фрунзе, 1988г. Соавт. В.В.Аксиненко.
6. Структурно-тектоническое моделирование Чуйской впадины по магнитометрическим и изотопным данным и вытекающие из него следствия. Изв. АН Кирг.ССР. Сер.: физ.-тех. и матем. наук 1988, №2, с.67-71. Соавт. П.И.Чалов, А.И.Тихонов.
7. Сейсмогенные узлы восточной части Киргизского Тянь-Шаня. Тезисы Всесоюзного рабочего совещания «Современная динамика литосферы подвижных поясов» Тезисы докладов (Черноголовка 10-16 июня 1988г). с.57 Соавт. П.И.Чалов, В.М.Алехина.
8. Результаты геофизических исследований сейсмоактивных зон Киргизии на примере районов Баткенского и Жаланаш-Тюпского землетрясений. Прогноз землетрясений. Душанбе-Москва, 1988г. №10, с.295-302. Соавт. В.А.Ерхов, Э.А.Суеркулов.
9. О генезисе термоминеральных вод Джеты-Огузского месторождения по изотопным и геофизическим данным. «Изотопы в гидросфере». М, 1989, с.79. Соавт. И.А.Васильев.

10. Использование неравновесного урана для решения гидрогеологических задач в горных рудных районах. «Изотопы в гидросфере».М.,1989,с.284. Соавт. А.И.Тихонов.
- 11.Уран-изотопное моделирование процессов влияния интенсивных водохозяйственных мероприятий на динамику подземных вод (на примере Камышкурганской впадины Таджикской ССР). «Изотопы в гидросфере».М.,1989.Соавт. А.И.Тихонов и др.
- 12.Некоторые особенности распределения изотопов уранового ряда в подземных водах узла сочленения Таласо-Ферганского разлома и Главной линии Тянь-Шаня. «Изотопы в гидросфере».М.,1989, с.306. Соавт. П.И.Чалов, В.М.Алехина.
- 13.Пространственная корреляция уран-изотопных, локальных магнитных аномалий и аномальных полей гелия с месторождениями термоминеральных вод в Иссык-Кульской впадине. «Изотопы в гидросфере».М.,1989, с.309. Соавт. П.И.Чалов, А.И.Тихонов.
- 14.Новые геофизические предпосылки и комплексная методика поисков месторождений термальных минеральных вод в межгорных впадинах. Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии районов интенсивной инженерной нагрузки и охраны окружающей среды. Часть I. Киев, Наукова Думка,1989,186-187.Соавт. П.И.Чалов и др.
- 15.Изучение условий обводнения рудных месторождений на основе уран-изотопной информации (на примере Чаувайского рудного поля). Ж. «Геология рудных месторождений». 1990. №3. С. 103-109. Соавт. П.И.Чалов, А.И.Тихонов.
- 16.Модель формирования термоминеральных вод Джеты -Огузского месторождения по уран-изотопным и геолого-геофизическим данным. Ред. журн. «Изв. АН Кирг. ССР, сер. физ.-тех. и математ. наук».Фрунзе 1990 г.,10с. Деп. в ВИНТИ 05.06 1990г.№3013 В-90. Соавт. Васильев И.А., Чалов П.И.

17. О пространственной корреляции аномального избытка  $^{234}\text{U}$  в подземных водах и ртутно-сурьмяного оруденения телетермального типа. Доклады АН СССР. 1990. Т. 312 №3 с.580-583. Соавт. Чалов П.И. и др.
18. Комплексование магнитометрического и уран-изотопного методов при прогнозировании источников термоминеральных вод в межгорных впадинах: Автореф. Дис. канд. геол.-минер. Наук. Алма-Ата, 1990. 19с.
19. Прогнозирование на основе уран-изотопной информации изменений динамики подземных вод в условиях вертикального дренажа и интенсивного орошения. Ж. «Мелиорация и водное хозяйство». 1991 г. Соавт. П.И. Чалов и др.
20. Использование уран-изотопной информации для изучения техногенных загрязнений подземных вод. Тезисы Всесоюзного совещ. «Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов». Суздаль, 1990 г. с.184. Соавт. П.И. Чалов и др.
21. О генезисе и динамике минеральных вод Ессентукского месторождения в большом районе КМВ на основе уран-изотопной информации. Доклады АН СССР. 1991. Т.320, №1 с.192-196. Соавт. П.И. Чалов, А.И. Тихонов, К.И. Меркулова.
22. Закономерности пространственного распределения избытка урана - $^{234}\text{U}$  в природных водах Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса. // Геохимия. 1992 г. №11. С.1512-1518. Соавт. П.И. Чалов и др.
23. Уран-изотопное моделирование процессов формирования и динамики минеральных вод Ессентукского месторождения. // Водные ресурсы 1993, том 20 №1. стр.104-112. Соавт. П.И. Чалов и др.
24. К вопросу об интерпретации пространственного распределения уран-изотопных показателей природных вод. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.106. Соавт. П.И. Чалов, И.А. Васильев.
25. Избыток урана- $^{234}\text{U}$  в природных водах Южно-Ферганского рудного пояса, дренирующих различные горные породы. Изотопы в гидросфере (Тезисы до-

- кладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.196. Соавт. П.И.Чалов.
26. Определение активизированных зон глубинных разломов по результатам уран-изотопных исследований природных вод. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.197. Соавт. П.И.Чалов.
27. Распределение концентраций урана в подземных водах разных регионов в зависимости от генезиса вод и глубины их формирования. Изотопы в гидросфере (Тезисы и др. докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.199. Соавт. П.И.Чалов и др.
28. Характерные особенности уран-изотопного состава природных вод, омывающих различные типы оруденения. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г. Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.201-202. Соавт. П.И.Чалов и др.
29. Результаты уран-изотопных исследований Челекенской современной рудообразующей структуры. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993 г.), с.203. Соавт. П.И.Чалов и др.
30. Радиоактивные и стабильные изотопы легких элементов в природных водах Южно-Ферганского ртутно-сурьмяного пояса. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993 г.), с.205. Соавт. П.И.Чалов, В.И. Феронский и др.
31. Динамика и генезис минеральных вод Кумского месторождения в большом районе КМВ. Изотопы в гидросфере (Тезисы докладов 4-го Международного симпозиума, г.Пятигорск, 18-21 мая 1993г.), с.207. Соавт. П.И.Чалов и др.
32. Комплексный уран-изотопный и магнитометрический метод поисков глубинных источников термоминеральных вод. // Science & Technics. 1993. №1. С. 37. Соавт. Чалов П.И., Тихонов А.И.
33. Физико-математическая модель разделения четных изотопов урана в зоне гипергенеза. Тезисы докл. VI Ломоносовские чтения. Архангельск, Изд-во По-

- морского международного педагогического университета им. М.В.Ломоносова, 1994 с. 162-164.
34. Перспективы применения альфа-спектрометрии для изучения экосистемы на Европейском Севере. //Тезисы докладов IV Международной конференции «Применение полупроводниковых детекторов в ядерно-физических задачах» 25-29 сентября, 1995 г. Юрмола, Латвия. с.39.
- 35.Концентрация литофильных изотопов урана в флюидах области развития современной биосистемы. // Минералогия и жизнь: биоминеральные взаимодействия. Расширенные тезисы докладов II Международного семинара. Сыктывкар, Респ. Коми, Россия, 17-22 июня 1996, с.106.
36. Возможность определения времени накопления изотопов урана в гидрогеологических системах. // Урал атомный, Урал промышленный. Тезисы докладов на IV Международном Симпозиуме, Екатеринбург, ИПЭ УрО РАН, 30 сентября-2 октября 1996 г., с 36-37.
37. Естественная концентрация урана в природных водах. /Безопасность питьевой воды и продовольствия. Вып.1, Мурманск, 1997, с. 20-21.
38. Evaluation of Speeds of Interaction in the System Rock-Water in Earth Crust by the Uranium Isotops. /European Geophysical Society. Annales Geophysicae. Part II. Hydrology, Oceans, Atmosphere & Nonlinear Geophysics.1997. Supplement II to Volume 15, p. 252.
39. Естественная концентрация урана в гидросфере Земли. Окружающая среда в Баренцевом морском регионе. 3-й интернациональный конгресс Баренцрегиона, Киркенес,1996, 13-16 сентября,с.129.
40. Физико-математическая модель динамики изотопной пары урана из породы в метеогенную воду в экзогенной зоне./ Екатеринбург, изд-во УрО РАН, 1996. С. 234-238.
41. Изотопы урана в геосфере./ Тезисы докладов XV Симпозиума по геохимии изотопов им. Академика А.П.Виноградова 24-27 ноября 1998 г. М. 1998. С. 123-124.

42. Изотопы урана в горных породах и рудах. Материалы международной конференции «Геодинамика и геоэкология» Архангельск 1999 г. С.160-163.
43. Четные изотопы урана в геосфере. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 220 с.
44. Естественные и техногенные радиоактивные изотопы в геосфере Западной Арктики. //Литосфера и гидросфера Европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург, УрО РАН, 2001. С. 205-236. Соавт. Юдахин Ф.Н. и др.
45. Изотопы урана в геосфере //Проблемы геологии континентов и океанов: доклады российских ученых – участников 31-го МГК (школа-семинар на НИС «Академик Иоффе», июнь - август. 2000 г.) /РАН Отделение геологии, геохимии, геофизики, горных наук и др. Магадан, Кордис, 2001.С. 268-275.
46. О возможном ядерном фракционировании изотопов в верхней мантии/Тезисы докладов. XVI Симпозиум по геохимии изотопов им. академика А.П.Виноградова. 20-23 ноября 2001 г. Москва, 2001. С.104.
47. Изотопы урана в геосфере/Проблемы геологии континентов и океанов. Доклады российских ученых – участников 31-го МГК (школа-семинар на НИС «Академик Иоффе», июнь - август 2000 г.). ОГГН РАН. Магадан, Кордис, 2001.С. 268-275.
48. Формирование изотопного состава урана на границе твердой и жидкой фаз земной коры //Дегазация земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы международной конференции памяти академика П.Н. Кропоткина. Москва. 20-24 мая 2002 года. С 143-145.
49. Изотопный состав урана Белого моря. //Геология морей и океанов. Тезисы докладов XV Международной школы морской геологии. Том. II, Москва, ГЕОС, 2003. С 285-286. Соавт. Зыков С.Б.
50. Изотопы урана как индикаторы состояния геологической среды. Доклады II Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск, с 18 по 22 октября 2004 года. Соавт. С.Б.Зыков