

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ**

УДК: 543.53:539.163:621.039.586

МУЗАФАРОВ АМУРЛЛО МУСТАФОЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДИК КОНТРОЛЯ
ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА, УРАНА И ИХ
ТЕХНОГЕННЫЙ ВКЛАД В ЭКОСИСТЕМУ**

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

**ДИССЕРТАЦИЯ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Г.С. Саттаров**

Ташкент – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА И УРАНА	19
§ 1.1 Потребность в современных ядерно-физических методах анализа и их роль в горно-металлургическом производстве золота и урана.....	19
§ 1.2 Ядерно-физические методы анализа–используемые в горнодобывающей промышленности золота и урана.	23
§ 1.3 Применение ядерных технологий для определения форм нахождения химических элементов в сточных и подземных водах.	31
§ 1.4 Методы определения изотопного состава урана	33
Выводы по главе 1	37
Постановка задачи	39
ГЛАВА 2. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА И УРАНА	41
§ 2.1 Определение содержания естественных радионуклидов в почве.....	41
§ 2.2 Методика определения содержания радия в природных водах	43
§ 2.3 Анализ золотосодержащих технологических продуктов с использованием ²⁵² Cf-источника нейтронов.....	46
2.3.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ по короткоживущим радионуклидам	47
2.3.2 Анализ по среднеживущим радионуклидам	49
2.3.3 Анализ по долгоживущим радионуклидам	50
§ 2.4 Анализ ионообменной смолы	51
§ 2.5 Контроль процесса переработки промежуточных отходов	55

2.5.1	Контроль пирометаллургического процесса	55
2.5.2	Контроль гидromеталлургического процесса	58
§ 2.6	Методика анализа почв с использованием атомного реактора	59
§ 2.7	Определение форм нахождения элементов в водах	60
	Вывод по главе 2	63
ГЛАВА 3. ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УРАНА В ПРИРОДНЫХ		
ОБЪЕКТАХ И ПРОДУКТАХ ПРОИЗВОДСТВА.....		
§ 3.1	Методика определения содержания и активности урана методом спектрометрии альфа излучения	65
3.1.1	Радиохимическое концентрирование урана	65
3.1.2	Анализ проб с применением альфа спектрометрии	67
§ 3.2	Изотопный анализ урана в природных водах	70
§ 3.3	Анализ изотопного состава урана в химконцентратах	73
§ 3.4	Анализ изотопного состава урана в товарной продукции	75
§ 3.5	Исследование механизма нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана	80
	Вывод по главе 3	83
ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМА РАДИОЭКОЛОГИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ		
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ		
УРАНА.....		
§ 4.1	Распределение радия по технологической цепочке в производстве урана и его радиоэкологическое влияние	85
4.1.1	Методика исследования поведения радия.....	85
§ 4.2	Оценка условий безопасной работы в производстве урана	90
§ 4.3	Уменьшение радиоэкологического воздействия уранового производства на экосистему	96
§ 4.4	Радиометрические исследования техногенных объектов	99
	Вывод по главе 4	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		111

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ЯФМА - Ядерно-физические методы анализа
- ГАА - Гамма - активационный анализ
- НАА - Нейтронно-активационный анализ
- ИНАА - Инструментальный нейтронно-активационный анализ
- ФАА – Фотоактивационный анализ
- ВВР - СМ ИЯФ АН РУз - Водно-водяной реактор Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан
- ОИЯИ - Объединенный институт ядерных исследований
- ВНИИРТ-Всероссийский научно-исследовательский институт радиационной техники
- НГМК - Навоийский горно-металлургический комбинат
- РУ-5 - Рудоуправление №5
- Сев РУ - Северное рудоуправление
- ЮРУ - Южное рудоуправление
- ПО НМЗ - Производственное объединение Навоийский машиностроительный завод
- ГМЗ-1,2,3 - гидрометаллургический завод №1, №2, №3
- ОЭС - объединенная энергослужба
- ЕРН - Естественные радионуклиды
- РН - радионуклиды
- ОСГИ - Образцовые спектрометрические гамма - источники
- СОУР - Стандартный образец урана
- НРБ - Нормы радиационной безопасности
- СК - сорбционная колонка
- ОАР - Объемная активность радона, радия
- НАУ-к - Нейтронно-активационная установка калифорния
- pH-среды - Водородный показатель среды
- МС - Масс-спектрометрия

ПДК - Предельно - допустимая концентрация
ПДВ - Предельно-допустимый выброс
АФА - Аспирационный фильтр ацетилцеллюлозный
ИСТ - Индукционно - сталоплавильный тигель
МФ - Магнитная фракция
ДВ - Дистиллированная вода
Смола золота - сорбент поглощающий ионы золота
Гравиоконцентрат - обогащенный концентрат золота
ПВ - Подземное выщелачивание - перевод урана в раствор с помощью реактива в подземном режиме
Миниреагентное выщелачивание - перевод урана в раствор с помощью слабокислого раствора
Кислотное выщелачивание - перевод урана в раствор с помощью кислоты
Гипохлоридное выщелачивание - перевод урана в раствор с помощью гипохлорита натрия
Химконцентрат урана - химический раствор содержащий ионы урана
Закуси - окиси урана - порошкообразный концентрат - U_3O_8

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время изучение технологических процессов добычи и производства золота и урана является одним из определяющих направлений увеличения получаемой стратегической продукции в мире. Развитие и перспективы экономики любой страны мира связаны с ее валютным золотозапасом и экспортируемыми энергоносителями. В мире из года в год растет добыча золота и урана: если в 2012 году производство золота составляло 2613,0 тонн, то в 2016 - 3211,4 тонн. Таким же темпом растет и производство урана: 2012 год - 53663,0 тонн, 2016 год - более 61003,2 тонн. Причиной такого роста производства драгоценного золота и радиоактивного урана является увеличение всемирного спроса.

В настоящее время на мировом рынке имеется определенный дефицит высококачественного золота и урана. Всю производимую готовую продукцию добывают гидрометаллургическим способом. Истощение сырьевой базы благородных и радиоактивных металлов требует вовлечения в производство сложных, разнотипных, бедных и вторичных руд. Задачи существенного увеличения добычи золота и урана из года в год определяют необходимость разработки эффективных, экономичных и экологически безопасных технологий извлечения полезных металлов и комплексное использование сырья. В связи с этим, усовершенствование существующих и разработка новых экспрессных, оперативных и информативных методов контроля технологического процесса с целью снижения себестоимости продукции, увеличения степени сквозного извлечения металлов, рационального использования сырья и уменьшения техногенного влияния уран- и золотодобывающих предприятий на окружающую среду являются актуальными задачами прикладной ядерной физики и радиоэкологии.

В Республике уделяется большое внимание развитию экспериментальных исследований по аналитическому контролю всех технологических процессов горно-металлургической промышленности, вносящих значительный вклад в экономику страны и укрепление ее независимости, а также проведению исследований в этом направлении на мировом уровне. На основе программы мер, проводимых в данном направлении, достигнуты значительные результаты, в частности, повышен объем добычи полезных ископаемых, уменьшена себестоимость готовой продукции и увеличен годовой объем производства продукции. В стратегии¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи для выполнения программы по разработке и внедрению в производство методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенного вклада в экосистему.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в государственных нормативных документах, Постановлении и Указах Президента Республики Узбекистан №ПП-1442 от 15 декабря 2010 г. «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах», №УП-4707 от 4 марта 2015 г. «О программе мер по обеспечению структурных преобразований, модернизации и диверсификации производства в 2015-2019 гг.» и №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение», III. «Развитие и использование возобновляемых

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

источников энергии» и VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

Степень изученности проблемы. Научные исследования по разработке ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенного вклада в экосистему проводились многими ведущими учеными мира, например, учеными европейских стран (Teldeshi Yu., Keller K., Burgess D.D., Lyon W.S., Rastegas E., VandekastleK., Osek F.), российскими учёными (Флеров Г.Н., Меднис И.В., Мясоедов Б.Ф., Кузнецов Р.А., Бурмистенко Ю.Н., Иванов И.Н., Перельман А.И., Ласкорин Б.Н., Петров Ю.В., Кирьяков Г.И., Возжеников Г.С., Забаренко К.Б. и др.) и другими специалистами. Однако все эти работы посвящались разработкам различных методик общего характера, исследованиям других промышленных продуктов, горно-металлургических и экологических объектов, отличающихся химическим составом и структурой от исследуемых в настоящей работе.

Узбекистанскими учеными (Кист А.А., Ганиев А.Г., Муминов Т.М., Хатамов Ш.Х., Арипов Г.А., Худойбергенов У., Миранский И.Н., Хайдаров Р.А., Бакиев С.А., Мухамедов С.М., Саттаров Г.С., Флициан Е.Г., Кулматов Р.А. и др.) разработаны ядерно-физические методики аналитического контроля технологических процессов золота и урана; получены определенные результаты по применению ядерно-физических методик для контроля технологических процессов извлечения золота и урана, а также по применению данных методик для контроля экосистем.

Однако, в этих разработках отсутствуют детальное изучение нарушения радиоактивного равновесия между $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$, увеличения содержания ^{234}U в выпускаемой продукции закиси-окиси урана, механизма нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана, степени загрязнения окружающей среды горно-металлургическими комплексами и хвостохранилищами гидromеталлургических предприятий и вероятности загрязнения подземных вод техногенными соединениями.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан и Навоийского государственного горного института по темам: 3.1.3.8 «Разработка и внедрение способов извлечения ценных металлов из технологических отходов промышленных предприятий Республики Узбекистан и методы их аналитического контроля» (2000-2002 гг.), А-13.113 «Разработка способа контроля технологического процесса получения урана, золота и других драгоценных металлов» (2006-2008); А-7-3.8.3 (ГНТП-7) «Исследование природно-техногенных условий Навоийского региона и разработка интерактивных приемов обучения студентов естественных специальностей» (2009-2011).

Целью исследования является разработка ядерно-физических методов анализа элементного состава, изотопного состава урана и продуктов его распада в природных и технологических материалах, контроля процесса извлечения золота, урана и сопутствующих металлов.

Задачи исследования:

разработка инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с использованием импульсного ^{252}Cf -источника нейтронов для изучения технологического процесса извлечения золота и других элементов;

внедрение альфа - спектрометрической методики определения изотопного состава урана в химконцентратах и готовой продукции урана;

разработка и внедрение методики подготовки смеси и получения товарной продукции урана с регламентируемой удельной активностью 0,68 мКи/кг;

внедрение метода непрерывного контроля радиологической обстановки на урановом производстве и определение величины выброса радионуклидов в атмосферу с использованием ядерных фильтров;

разработка и применение ИНАА с использованием ядерного реактора

для оценки техногенного влияния золотодобывающего промпредприятия на окружающую среду.

Объектом исследования являются золотосодержащие, ураносодержащие технологические пробы, химконцентраты и закиси-окиси урана, технологические растворы, производственные стоки, отходы горно-рудного производства, забалансовые руды и пробы экосистемы (воздух, почва, вода).

Предметом исследования являются процессы добычи золотосодержащих руд открытым способом, гидрометаллургические и геотехнологические способы переработки золотосодержащих и ураносодержащих руд и экологические аспекты технологического процесса.

Методы исследований. Комплексные методы исследований, включающие научные обобщения, экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях по применению ЯФМА, метода ИНАА, рентгенофлуоресцентного метода, метода «меченых атомов», радиометрии, альфа и гамма – спектрометрии, а также методов математической статистики и корреляционного анализа результатов испытаний с применением современной компьютерной техники.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана методика определения формы нахождения элементов в подземных и сточных водах, основанная на электродиализе с использованием ядерных фильтров различных диаметров пор (0,16–2,0 мкм), позволившая оценить поведение ионов (скандия, хрома, железа, кобальта, цинка, селена, серебра, сурьмы, церия, европия и золота) техногенного происхождения в природных условиях;

разработана радиохимическая методика концентрирования урана в химконцентратах и закиси-окиси урана, позволяющая определять изотопный состав урана (^{234}U , ^{235}U , ^{238}U) альфа-спектрометрическим методом;

выявлен механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) в технологических продуктах НГМК;

найденены оптимальные режимы работы технологического цеха прокатки урана для уменьшения уровня вредных выбросов в атмосферу;

предложен способ рекультивации отработанных участков подземного выщелачивания урана, который позволяет надежно защитить персонал и окружающую среду от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны методики многоэлементного нейтронно-активационного анализа состава технологических и природных образцов с использованием атомного реактора и калифорниевых источников нейтронов для оперативного контроля процесса извлечения золота, урана, сопутствующих ценных металлов и для решения экологических задач;

получены результаты исследований по разработке методики определения изотопного состава урана и природных радиоактивных элементов в различных природных, технологических образцах и установлены закономерности нарушения радиоактивного равновесия между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$;

оценены факторы, влияющие на величину выброса радиоактивных веществ в окружающую среду на урановом производстве и выданы практические рекомендации по минимизации техногенного влияния предприятий на окружающую среду;

определено пространственное распределение техногенных элементов в районе деятельности предприятий по добыче золота, формы нахождения элементов в производственных сточных и подземных водах, с целью установления закономерности загрязнения и прогнозирования величины техногенного воздействия в будущем на окружающую среду.

Достоверность результатов исследования обосновывается значительным объемом теоретических и лабораторных исследований, применением современных методов и средств измерений, сравнительным анализом разработанных методик с данными международных стандартных

испытаний, проведением параллельных анализов и сопоставлением данных различных исследователей и лабораторий.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в оценке факторов, влияющих на выброс в атмосферу вредных радиоактивных веществ при производстве урана, обнаружении ранее неизвестного явления – нарушения радиоактивного равновесия между изотопами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, зависящего от особенностей применяемой геотехнологии урана, определении механизма и закономерности загрязнения территории, находящейся вокруг золотодобывающего предприятия, техногенными элементами в зависимости от гидрометаллургических условий добычи и переработки руды.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке и применении экспрессной методики ИНАА для определения содержания золота и ряда элементов непосредственно в производственных условиях извлечения металлов с использованием ^{252}Cf -источника нейтронов, определении формы нахождения и условий миграции элементов в сточных и подземных водах, по которым можно прогнозировать величину техногенного загрязнения вод.

Внедрение результатов исследования.

На основе полученных результатов по разработке ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана:

разработанные методики измерения изотопного состава урана (^{234}U , ^{235}U , ^{238}U) альфа-спектрометрическим методом в химконcentратах урана, отобранных из участков подземного выщелачивания и закиси-окиси урана использованы в практике Гидрометаллургического завода-1 НГМК для получения товарной продукции урана из химконцентратов, соответствующей нормативным требованиям заказчика (акт внедрения «ГМЗ-1» НГМК №2455 от 14.12.2017г.). Использование разработанных методик позволило повысить качество готовой продукции, поступающей на

реализацию;

разработанная методика определения содержания природных и техногенных элементов в почве и в подземных водах в районе деятельности хвостохранилища ГМЗ-2 Центрального рудоуправления НГМК использована при проектировании третьей очереди хвостохранилища и наблюдательных скважин ГМЗ-2 ЦРУ (акт внедрения ЦРУ НГМК №2446 от 12.12.2017г.). Использование полученных результатов позволило оценить техногенное влияние хвостохранилища ГМЗ-2 ЦРУ НГМК на окружающую среду;

разработанные методики многоэлементного нейтронно-активационного анализа состава технологических и природных образцов были использованы в рамках прикладного проекта ФА-А7-Ф056 «Многоэлементная характеристика экологической обстановки в г.Ташкенте с использованием ядерно-аналитических методов для выявления связи с состоянием здоровья населения» (2009-2011) для анализа объектов окружающей среды (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1737 от 3 июля 2018 г.). Использование этих методик позволило определить усредненные значения загрязненности атмосферного воздуха, поверхностных вод, почвы и представить карты распределения элементов в объектах биосферы для районов г.Ташкента с целью разработки мероприятий по охране здоровья населения;

разработанные методики определения изотопного состава урана и природных радиоактивных элементов в различных природных, технологических образцах были использованы в рамках прикладного проекта ФА-А14-Ф060 «Разработка новых высокочувствительных ядерно-физических методик определения тяжелых и редких металлов в природных и технологических материалах» (2009-2011) при анализе отходов металлургического производства (УзКТЖМ, АГМК) для определения содержания редких и рассеянных элементов (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1737 от 3 июля 2018 г.). Использование этих методик позволило определить содержание до 30 микроэлементов с

пределами обнаружения $10^{-4} - 10^{-9}$ % масс, что имеет важное значение для определения примесного состава урановой продукции и охраны окружающей среды.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были обсуждены на 7 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 10 научных статей в рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации научных изданиях, из них 3 статьи в международных научных журналах, а также 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объём диссертации составляет 122 страницы.

Список опубликованных работ:

1. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кадиров Ф., Латышев В.Е. Методы оценки техногенного влияния хвостохранилищ промышленных предприятий на окружающую среду // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2002. – №2. – С. 85-89 (05.00.00; №7).

2. Саттаров Г.С., Камилов Ж.М., Музафаров А.М., Кадиров Ф.М., Латышев В.Е. Информативные и оперативные ядерно-физические методы контроля технологического процесса // Горный журнал. Специальный выпуск. – Москва, 2002. – С. 137-139 (05.00.00; №28).

3. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Думбрава А.А., Петухов О.Ф., Ослоповский С.А. Исследование изотопного состава урана альфа-спектрометрическим методом // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2005. – №2. – С. 94-98 (05.00.00; №7).

4. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кист А.А. Нейтронно-

активационный анализ золота и сопутствующих элементов в технологических продуктах с использованием ^{252}Cf – источника нейтронов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2007. – №2. – С. 92-95 (05.00.00; №7).

5. Музафаров А.М., Глотов Г.Н., Саттаров Г.С., Кист А.А. О вопросе нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №1. – С. 57-60 (05.00.00; №7).

6. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка влияния техногенных факторов на экологию региона // Горный журнал. – Москва, 2013. – №8. – С. 61-64 (05.00.00; №28).

7. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Экологический мониторинг техногенных факторов при добыче и переработке урана и золота // Экологический вестник. – Ташкент, 2013. – №12. – С. 24-33 (04.00.00; №1).

8. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кист А.А. Опыт применения ядерно-физических методов в горно-металлургическом производстве // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. – №1. – С. 120-124 (05.00.00; №7).

9. Музафаров А.М., Ослоповский С.А., Саттаров Г.С. Радиометрические исследования техногенных объектов // Цветные металлы. – Москва, 2016. – №2. – С. 15-19 (05.00.00; №91).

10. Музафаров А.М., Шарафутдинов У.З., Дониеров Н.А., Ражаббоев И. Современное состояние радиоэкологической обстановки производства Навоийского ГМК и его влияние в экосистему // Экологический вестник. – Ташкент, 2016. – №9. – С. 15-17 (04.00.00; №1).

11. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Мустафоев М.А., Уринов Ш.Р. Расчет параметров локально-поверхностного распределения техногенно-загрязняющих элементов // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 04449. 23.02.2017 г.

12. Muzafarov A.M., Sattarov G.S., Kist A.A. Impact of mining industries on an environment // V-International Conference «Modern problems of Nuclear

physics». – Samarkand, 12-15 August 2003. – pp. 311-312.

13. Muzafarov A.M., Sattarov G.S. Radiation-dosimetric researches on uranium mining enterprises // VII-International Conference «Modern problems of Nuclear physics». – Tashkent, 22-25 September 2009. – pp. 200-202.

14. Muzafarov A.M., Kadirov F.M., Sattarov G.S., Kist A.A., Latichev V.Ye. Determination of elements presence speculation in natural and man-caused waters //Abst. the III-conference «Radioisotopes and their applications». – Tashkent, 8-10 October 2002. – pp. 74-75.

15. Музафаров А.М., Думбрава А.А., Сатторов Г.С., Петухов О.Ф. Изучение изотопного состава урана α -спектрометрическим методом // Материалы IV-международной конференции на тему: «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – Москва-Навоий, 18-25 сентября 2005 г. – С. 343-344.

16. Музафаров А.М., Саттаров Г.С. Кист А.А. Исследование радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и ^{238}U в урановых продуктах // Сборник тезисов 9-ой международной конференции на тему: «Ядерная и радиационная физика». – Алматы, 24-27 сентября 2013 г. – С. 194-195.

17. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Назаров Ж., Кист А.А. Факторы нарушения радиоактивного равновесия в урановой цепочке между изотопами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ // Сборник материалов III-ой Всероссийской конференции с международным участием на тему: «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды». – Новочебоксарск, 21-22 ноября 2013 г. – С. 67-68.

18. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Иванов В.Н., Кист А.А. Величины соотношения $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ как геофизический фактор при исследовании природных и техногенных процессов // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Геологические науки в Узбекистане: проблемы, развитие и инновационные направления». – Ташкент, 25 мая 2013 г. – С. 247-249.

19. Музафаров А.М., Мясников В.А., Саттаров Г.С., Камилов Ж.М. и др. Комплекс ядерно-физических методов в контроле металлургического процесса // В кн. «Исследования по теоретической и экспериментальной физике». – Самарканд, 1997. – С. 181-186.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНО ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА И УРАНА

§ 1.1 Потребность в современных ядерно-физических методах и их роль в горно-металлургическом производстве золота и урана

Антикризисная программа Республики Узбекистан на 2009-2012 годы предусматривает внедрение инновационных технологий, освоение новых и востребованных видов научно-промышленной продукции, товаров и услуг [1; с.8]. Вышеизложенная программа непосредственно касается и горнодобывающей промышленности Узбекистана, имеющей мощную минерально-сырьевую базу, являющейся одной из ведущих отраслей в экономике страны. По ряду важнейших полезных ископаемых, таких, как золото, уран, медь, вольфрам, калийные соли, фосфориты, каолины, наша страна по подтвержденным запасам и перспективам их увеличения занимает не только ведущие места среди стран СНГ, но и входит в первую десятку государств мира [2; с.306, с.319-325].

Основные месторождения золота и урана сосредоточены в Центрально-Кызылкумском регионе, в междуречье Амударьи и Сырдарьи и в Ташкентском вилояте. Именно в Навоийском и Ташкентском вилоятах расположены крупные горно-металлургические комбинаты (НГМК, АГМК).

По оценкам международных экспертов, НГМК сегодня - один из лидеров в первой десятке мировых компаний по производству золота и урана. Его доля в ВВП Узбекистана составляет в валютном исчислении несколько миллиардов долларов США. В НГМК производится весьма важные цветные металлы – Au, Ag, Mo, Pd и др. [3; с.34-36, 74, 128; с.15.].

НГМК выполняет весь цикл работ от поисково-разведочных работ, добычи руды и ее переработки до получения чистого (99,99%) золота и закиси-окиси урана.

Такой огромный потенциал Узбекистана позволяет наращивать объемы

производства золота, урана и других цветных металлов. Но увеличение объёма производства, в свою очередь, требует совершенствования технологии разведки, добычи, переработки полезных ископаемых, а также анализа технологических продуктов, состояния окружающей среды [4; с.-8-38.].

На некоторых нижеприведенных примерах показаны как важны ядерные технологии, в том числе ЯФМА, для комплексного контроля процессов горно-металлургической промышленности. Элементарное рассмотрение с экономической точки зрения каких-то систем, относящихся к извлечению и обогащению минералов в потоке, показывает, что существует острая проблема контроля качества (до некоторой степени), следовательно, и регулирования подачи сырьевого материала, вводимого в последующие процессы переработки и всего технологического передела. Фактически все минеральные залежи проявляют (в некоторой степени) пространственную неоднородность. Золотосодержащие руды отличаются сильной неоднородностью распределения золота в них и тем, что золота в них встречается даже в металлическом виде при низких концентрациях (в среднем 2 г/т). Поэтому к анализу руд на золота и их сортировке предъявляются специальные требования и этим требованиям отвечают только ЯФМА. Ядерные реакции $^{197}\text{Au}(n,n'\gamma)^{197m}\text{Au}$ и $^{197}\text{Au}(\gamma,\gamma')^{197m}\text{Au}$ являются наиболее предпочтительными для использования на практике сортировки руд и анализа на золото [5; с.40-47].

Поскольку золото часто встречается на некоторой глубине в минералах, в виде тонких жил, его добыча сопровождается существенным количеством пустой породы. Для того чтобы предотвратить ненужные расходы и время обработки всего добываемого материала необходимо проводить некоторые отборочно-сортировочные работы.

Как известно [3; с.34-36,74, 128;с.15.], в горнодобывающей промышленности к анализу руд по содержанию основного элемента золота предъявляются следующие требования:

- предел определения золота - $5 \cdot 10^{-5} \%$;
- производительность – примерно один анализ в минуту;
- погрешность анализа при содержании золота в руде $2 \cdot 10^{-4} \%$ - порядка 10 % (отн.);
- масса анализируемой навески порядка 0,5 кг;
- автоматизация обработки результатов анализа с применением информационной технологии.

Все эти требования учтены при разработке автоматизированного ГАА комплекса АУРА, который установлен в г. Зарафшане. Методической основой ФАА является применение не упругого рассеяния γ -квантов тормозного излучения линейного ускорителя электронов на ядрах золота - $^{197}\text{Au}(\gamma, \gamma')^{197\text{m}}\text{Au}$ [5; с.40-47, 129; с.27-29].

Для определения содержания химических элементов в различных природных и технологических объектах применяются многочисленные химические, физико-химические и физические методы [6; с. 7, 14, 17, 7; с.419-437, 8; с.164-175, 9; с.987-991, 10; с. 177-212, 11; с.41-43, с.185-186, 12; с.95-102, 13; с.161-164; 14; с.80-86; 15; с.73-74, 16; с.37-41, с.50-55, 17; с.450-454, с.555-556, 18; с.9-14, 19; с.18-25]. На НГМК функционируют и применяются практически все методы анализа [20; с.8-13, 21; с.114-117, 22; с.241-245, 23; с.671-678, 24; с.186-188, 25; с.70-71, 26; с.43-44, 27; с.37-39, 28; с.15-17, с.151-153].

При производстве и применении веществ высокой степени чистоты, каковыми являются золото, уран и некоторые другие металлы, требуется определение малых количеств примесей. В этом случае задачей химического анализа является определение ультрамикрочастиц одних в присутствии большого числа других элементов, составляющих основную массу вещества.

Поскольку урансодержащие руды являются радиоактивными, а при добыче золота и урана часто приходится иметь дело с очень небольшими навесками, для решения технологических задач наиболее подходящими методами для применения являются ЯФМА, включающие в себя,

радиометрические, рентгенофлуоресцентные, активационные, гамма-абсорбционные, радио-индикаторные и радиоизотопные методики.

Как известно, только масс-спектрометрический метод по своим характеристикам может соперничать с ЯФМА, так как он не зависит от химической формы элемента, способен разделять индивидуальные изотопы и имеет высокую чувствительность. Принцип его применения описаны в обзоре [33; с.43-47].

С помощью масс-спектрометрического метода анализа можно определять все изотопы химических элементов, в том числе урана - ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U - в готовой продукции, ^{234}Pa , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Po и др. в объектах окружающей среды [29; с.99-126, 31; с.49-51, с.182-183, 32; с.233-237, с.370-372].

Следует отметить, что во многих случаях, связанных с контролем технологических процессов производства урана ЯФМА обладают несомненным преимуществом [26; с.43-44, 27; с.37-39, 30; с.24, с.27-28, с.35-37, с.42-51]. Дело в том, что хотя метод ПВ урана, используемый на НГМК для добычи урана, относится к малоотходным технологиям, при его осуществлении происходит загрязнение природных вод и земной поверхности радиоактивными и другими химическими элементами. В связи с этим необходимо активно контролировать поведение урана не только в процессе ПВ, а также требуется постоянно определять содержание радия и других дочерних элементов - продуктов его распада, в промпродуктах и объектах окружающей среды [36; с.14-17].

Продукт распада урана - радий относится к группе весьма подвижных элементов, имеющих высокую миграционную способность, который обычно находится в межузловых промежутках кристаллов, и поэтому легко попадает в поры, трещины и другие нарушения кристалла и выщелачивается водой и другими растворами. Это и приводит к обогащению радием некоторых минеральных вод урановых месторождений и илов отстойников локально - сорбционных установок участков ПВ. В результате вокруг урановых

месторождений образуются ореолы повышенной активности почвенного воздуха, превышающие кларковые содержания Ra и Rn в тысячи раз ($3,7 \cdot 10^{-3}$ мкг/г) [37; с.55-57].

При добыче урана на НГМК требуется определять радиоактивное равновесие между изотопами - $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$, так как в урановых рудах радий является главным источником, дающим вклад в суммарную радиоактивность. Обычно его концентрация при равновесии с ураном 0,34 мкг/г. Допустимая концентрация радия в воде $5,4 \cdot 10^{-7}$ мг/л [38; с.59-61].

Известно, что при выщелачивании урана кроме Ra и Rn подземные воды загрязняются также РН - ^{234}Pa , ^{230}Th , ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{210}Pb и т.д., которые значительно повышают удельную активность продуктивного раствора [39; с.117-119, 40; с.7-11]. Вышеперечисленные факторы, связанные с добычей руды и её технологическим переделом, требуют всестороннего изучения возможности применения ЯФМА при решении технологических проблем.

§ 1.2. Ядерно-физические методы анализа - используемые в горнодобывающей промышленности золота и урана

Ядерно-физические методы анализа (ЯФМА) относятся к одним из наиболее точных, чувствительных и надежных аналитических методов, что обуславливает широкое использование их для анализа различных объектов: геологических, технологических, экологических, биологических, медицинских и др. [41; с.34-43, 42; с. 465-473, 43; с.339-346, 44; с.167-170, 45; с.227-229, 46; с.96-99]. Исходя из постановки задачи диссертации, рассмотрим перечень основных вариантов ЯФМА.

Радиометрические методы анализа - основаны на регистрации естественного альфа, бета и гамма - излучения проб с использованием различных радиометров. Методы широко применяются для анализа естественно - радиоактивных элементов [26; с.43-44, 35; с.142-151].

Рентгеноспектральный метод - основан на измерении рентгеновского излучения, испускаемого при переходе электрона с внешней оболочки на

образовавшуюся вакансию во внутренней оболочке. Эти вакансии возникают при бомбардировке образца частицами высокой энергии (например, рентгеновским излучением, γ -лучами, протонами) [30; с.24, с.27-28, с.35-37, с.42-51, 31; с.49-51, с.182-183]. Полученный спектр дает качественную и количественную информацию: длина волны испускаемого излучения может использоваться для идентификации элементов, а интенсивность – для измерения их количества. Рентгеновские спектры регистрируются с помощью измерительных систем путем измерения длины волны или энергии (например, с использованием Si-Li-детектора).

В настоящее время, по-видимому, рентгеновская флуоресценция наиболее подходит для определения золота в смоле. Приборы с радиоактивными источниками возбуждения позволяют проводить анализ и в заводских и в полевых условиях [32; с.233-237, с.370-372, 34; с.16-17].

К преимуществам метода следует отнести возможность проведения многоэлементного анализа и работы в заводских и полевых условиях. К недостаткам относятся необходимость и сложность учета матричного эффекта и невысокая ($10^{-2} - 10^{-3} \%$) чувствительность анализа [35; с.142-151].

Рентгенофлуоресцентный энергодисперсный метод - основан на определении содержания элементов путем регистрации вторичного излучения энергодисперсным способом с использованием различных сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов. В качестве источника первичного излучения используют источники рентгеновского и мягкого гамма-излучения Co-57, Am-241, Fe-59 и др. При облучении пробы рентгеновским излучением (рентгеновской трубки), порог определения элементов составляет 0,001-0,0001% [22; с.241-245,], а при облучении пробы мягким гамма-излучением порог определения элементов составляет 1-0,001% [37; с.55-57].

Имеется косвенный рентгенофлуоресцентный энергодисперсный метод, который осуществляется путем образования комплексных соединений с ионами, дающими флуоресцентное или люминесцентное излучения. Метод

широко применяется для определения содержания фосфора, редкоземельных и щелочных металлов.

Нейтронно-активационный анализ (НАА) - основан на регистрации гамма-излучения радионуклидов, образующийся при облучении проб нейтронами различных энергий от реактора, нейтронных генераторов и ампульных источников нейтронов. В качестве ампульных источников нейтронов используют Cf-252 и $^{124}\text{Sb-Be}$ источники нейтронов. Порог определения метода с использованием реактора 10^{-3} - 10^{-10} %. Порог определения метода с использованием ампульных источников нейтронов 10^{-2} ÷ 10^{-5} %, [47; с.210-214, 48; с.103-107, 49; с.27-31, 50; с.90-94, 51; с.111-112, 52; с.26-29, 53; р.81, 54; с.11-12, 55; р.246-259, 56; с.73-85, 57; р.233-240, 58; с.97-99, 59; с.211-214].

Нейтронные генераторы, испускающие поток монохроматических быстрых нейтронов используются в основном для анализа легких элементов.

Фотоактивационный метод (ГАА) - основан на определении содержания элементов по регистрации интенсивности радионуклидов, образующихся при облучении проб высокоэнергичным гамма-излучением. Метод широко применяется для серийного анализа золота в окисленных рудах Мурунтау НГМК. Порог определения золота 0,5 г/т [60; с.17-19, 61; с.155-162, 62; с.86-87].

Гамма-абсорбционный метод - основан на определении содержания тяжелых элементов по регистрации ослабления мягкого гамма-излучения, проходящего через образец. Метод применяется для определения содержания Au, U, W и др. Порог определения 0,01% [63; с.3-8, 64; с.181-186].

Радиоиндикаторный метод - применяется для определения относительного распределения элементов в технологических операциях и основан на изотопном обмене меченных нуклидов со стабильными атомами исследуемых элементов. Порог определения элементов 10^{-11} %. Недостатком метода является необходимость полного растворения пробы и неприменимость для анализа твердых образцов [65; с.8-12, 66; с.26-31, 67;

с.97-98].

Радиоизотопный метод - заключается в химическом выделении из анализируемой пробы интересующих радиоактивных элементов и последующим их определении радиометрическими методами. Наиболее широко этот метод используется для определения радия и тория по их эманациям [68; с.2-10, 69; с.11-12, 70; с.43-50, 71; с.278-291, 72; с.8-12, 73; с.17-21].

Ниже рассмотрим более подробно НАА природных и технологических объектов. В зависимости от типа источника активации разделим нейтронные методы анализа природных и технологических объектов на 2 группы:

1) методы с использованием ядерных реакторов и ускорителей заряженных частиц;

2) методы с применением радионуклидных (РН) источников нейтронов.

Высокая проникающая способность нейтронного излучения, имеющего высокоинтенсивные потоки, позволяет проводить анализ с достаточно высокой чувствительностью и представительностью, а применение полупроводниковых детекторов для измерений наведенной активности - дополнительно позволяет проводить многоэлементный анализ.

При этом инструментальные варианты НАА исключают необходимость разрушения проб и, следовательно, их трудоемкой химической подготовки.

Как уже отмечалось выше, в качестве источников нейтронов при НАА используют нейтронные генераторы, ампульные источники и ядерные реакторы [75; с.255-260, 76; с.14-22, 77; р.205-214, 78; с.71-78, 79; с.46-61, 80; с.66-71].

НАА с использованием ядерных реакторов благодаря высокой интенсивности потока нейтронов (до 10^{15} нейтр/см²*с), эффективности и чувствительности детекторов гамма-квантов позволяет достичь чрезвычайно высокой чувствительности определения микроколичеств элементов в различных объектах.

В таблице 1.1 приведены ядерно-физические характеристики основных

ядерных реакций, идущих на ядрах золота, а также образующихся радионуклидов (σ -сечение реакции, $T_{1/2}$ - период полураспада, E_γ - энергия гамма кванта, i_γ –выход гамма-кванта, т.н., р.н., б.н. - соответственно тепловые, резонансные и быстрые нейтроны).

Таблица 1.1

Основные реакции на ядрах атомов золота

Ядерная реакция	σ , мб	$T_{1/2}$	E_γ , кэВ, i_γ (%)
$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$	$98 \cdot 10^3$ (т.н.)	64,8 час	411,8 (99)
	$1558 \cdot 10^3$ (р.н.)		
$^{197}\text{Au}(n,n',\gamma)^{197m}\text{Au}$	380 (б.н)	7,2 сек	278 (75)
$^{197}\text{Au}(n,2n)^{196m}\text{Au}$	150 (б.н)	9,7 час	148 (70)
$^{197}\text{Au}(n,2n)^{196}\text{Au}$	$2 \cdot 10^3$ (б.н.)	6,2 сут	333 (25), 356 (94)
$^{197}\text{Au}(n,p)^{197}\text{Pt}$	2 – 20	20 час	77,4 (20), 293(6,5)
$^{197}\text{Au}(n,\alpha)^{194}\text{Ir}$	0,4	12,4 час	328 (33)

Ниже более подробно рассмотрены возможности различных вариантов НАА с применением ядерного реактора. Метод обладает высокой чувствительностью, многоэлементностью, возможностью использования малых навесок, автоматизации процесса анализа и экспрессностью при анализе элементов по короткоживущим радионуклидам [50; с.90-94, 51; с.111-112, 81; с.137-138]. К недостаткам можно отнести отдаленность стационарных ядерно-физических установок от промышленных площадок золото перерабатывающих предприятий.

В настоящее время для определения низких концентраций золота в рудах, технологических продуктах и различных пробах широкое применение получил НАА на тепловых и резонансных нейтронах с применением ядерных реакторов.

Это обусловлено высоким сечением и резонансным интегралом активации для ядер золота, возникновением реакции преимущественно только типа (n,γ) и наличием мощных нейтронных потоков в каналах

облучения. Порог определения золота зависит от типа используемого реактора, временных режимов анализа, состава проб и регистрирующей аппаратуры, и он обычно составляет 10^{-7} - 10^{-11} %.

Большими возможностями для НАА руд, технологических продуктов обладает ядерный реактор ВВР-СМ ИЯФ АН РУз, оснащенный автоматизированной установкой, позволяющей проводить несколько десятков анализов проб золота в течение часа. В работах [82; с.69-79, 83; с.57-63, 84; с.70-77] подробно рассматриваются факторы, влияющие на точность, надежность и представительность НАА при определении содержания золота в природных объектах, а также приводятся результаты анализа содержания золота в международных стандартах горных пород.

Для определения низких концентраций золота ($<n \cdot 10^{-5}$ %) в настоящее время наиболее широко применяются крупномасштабные установки, включающие реакторы или ускорители заряженных частиц, что экономически оправдано в условиях функционирования крупных ядерно-физических лабораторий. Подобные лаборатории удалены, как правило, от золотодобывающих предприятий на сотни километров, что не позволяет достаточно оперативно проводить аналитическое обеспечение лабораторно-исследовательских работ.

Большое число работ [85; с.6-14, 86; с.37-39, 87; с.35-37] посвящено методам определения золота и других элементов в минералах (кварц, пирит, галенит и т. д.), что позволяет решать многочисленные задачи, связанные с генезисом золоторудных месторождений. Предел определения золота при анализе мономинеральных фракций с применением полупроводниковых детекторов для регистрации наведенной активности составляет $n \cdot 10^{-8}$ %.

В целях НАА золотосодержащих проб, основанного на применении тепловых и резонансных нейтронов, используются также ускорители электронов (микротронов, ЛУЭ и т.д.). В работах [60; с.17-19, 61; с.155-162, 62; с.53-57] ЛУЭ в совокупности с бериллиевым конвектором (при энергии тормозного гамма-излучения 5 МэВ и токе ускоренных электронов 350 мкА)

применялся для определения золота методом НАА, так как обеспечивалась плотность нейтронного потока $3 \cdot 10^8$ нейтр/см²*с. Предел определения золота в пробах массой 70 г составил $1 \cdot 10^{-4}$ %.

Перспективной реакцией для экспрессного определения золота является реакция - (n,n') неупругого рассеяния быстрых нейтронов на золоте. Например, в работах [88; с.8-10, 89; с.87-94] показано, что при облучении проб нейтронами с энергией 14 МэВ от нейтронного генератора плотностью потока 10^8 н/см²*с, предел определения золота в растворах объемом 25 мл составляет $4 \cdot 10^{-3}$ %.

Имеются многочисленные работы по применению ¹²⁴Sb-Be и ²⁵²Cf - источников нейтронов в заводских лабораториях [78; с.71-78,, 79; с.46-61, 80; с.66-71].

Анализ работ [90; с.11-13, 91; с.497-501, 92; с.135-150, 93; с.276-281] показал, что вопрос определения золота и других элементов в технологических продуктах (смоле, гравиоконцентрате и флотоконцентрате) по короткоживущим РН, с использованием ²⁵²Cf – источника нейтронов непосредственно в заводских лабораториях достаточно не исследован.

В таблице 1.2 приведены основные характеристики некоторых РН источников нейтронов. Как следует из этой таблицы, наиболее перспективными радионуклидными источниками являются: ¹²⁴Sb-Be и ²⁵²Cf в силу высокого выхода нейтронов.

²⁵²Cf-источник нейтронов спонтанного деления нашел большое практическое применение, так как имеется возможность изготовления портативных, практически точечных источников с большим выходом нейтронов. Однако, высокая стоимость и сравнительно короткий период полураспада ограничивают его доступность для практического применения.

Возможности использования ²⁵²Cf - источника нейтронов для целей НАА обсуждаются в ряде работ и [49; с.27-31, 50; с.90-94, 52; с.26-29, 63; с.3-8, 75; с.255-260, 79; с.46-61, 80; с.66-71]. Начиная с 90-х годов в ряде регионов нашей Республики, для анализа золотосодержащих проб успешно

эксплуатировались экспериментальные установки НАА на базе мощных ^{252}Cf - источников нейтронов. Так, в ИЯФ АН РУз была сконструирована и разработана малогабаритная установка на базе ^{252}Cf - источника с выходом 10^9 нейтрон/с для определения золота в рудах, технологических продуктах и различных пробах [76; с.14-22, 85; с.6-14,].

Таблица 1.2

**Основные характеристики некоторых РН источников нейтронов
[30; с.24, с.27-28, с. 35-37, с. 42-51.]**

РН	$T_{1/2}$, Лет	Нейтр/дел	Ср. энергия нейтронов, МэВ	Удельный выход, н/с
^{236}Pu	2,85	2,3	1,91	$3,7 \cdot 10^4$
^{238}Pu	89,4	2,33	1,91	$2,62 \cdot 10^3$
^{240}Pu	6600	2,25	1,90	$1,02 \cdot 10^3$
^{242}Pu	$3,8 \cdot 10^5$	2,18	1,89	$1,7 \cdot 10^3$
^{242}Cm	0,45	2,65	1,96	$2 \cdot 10^7$
^{244}Cm	18,4	2,82	1,99	$1,1 \cdot 10^7$
$^{124}\text{Sb-Be}$	60 дн	-	2,09	$1,6 \cdot 10^9$
^{252}Cf	2,64	3,84	2,15	$2,3 \cdot 10^{12}$
^{254}Cf	60,5 дн	3,90	2,15	$1,3 \cdot 10^{15}$

Установка была окружена водородосодержащим замедлителем для получения медленных нейтронов. С её помощью была разработана методика определения золота в пробах из различных месторождений Узбекистана. Установка применялась для решения задач НГМК. Она позволяла достичь пороговой чувствительности 0,5 г/т и проводить оперативное определение золота в условиях заводских лабораторий.

§ 1.3 Применение ядерных фильтров для определения форм нахождения химических элементов в сточных и подземных водах

В подземных и сточных водах, как правило, имеются коллоидные растворы различного состава. В форме ионов и недиссоциированных молекул в водах содержатся почти все химические элементы периодической системы (в настоящее время в водах определяют около 45 элементов) [94; с.59-63, 95; с.254-259, 96; с.102-115, 97; с.237-254]. Большая часть из них находятся в состоянии сильного рассеивания (порядка $n \cdot 10^{-5}$ г/л и менее) и лишь Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SiO_2 , Fe^{2+} содержатся в значительных количествах.

Важнейшими показателями, определяющими физико-химические свойства подземных и сточных вод, являются окислительно - восстановительный потенциал E_h и концентрация водородных ионов pH . Наиболее распространенные значения pH природных вод находятся в пределах 6-8. Значения E_h подземных вод по данным работы [98; с.5-26, 99; с.34-37] в регионе Кызылкумов находятся в пределах от +550 мВ до -480 мВ.

На основании известных литературных данных [100; p.428-430, 101; с.411-419, 102; p.181-189] рассматривается классификация, минерализация и геохимия подземных вод, разновидность ионов и их миграция в природных условиях.

Поскольку извлечение урана, как правило, производится методом подземного выщелачивания, подземные воды могут загрязняться остатками растворов урановых руд. Поэтому представляет огромный интерес изучение поведения, распределения стабильных и радиоактивных элементов и форм нахождения их в таких объектах.

Из вод ионы могут поглощаться (сорбироваться) горными породами и почвами, происходит ионообменный процесс, поглощение целых молекул.

В работах [103; с.74-75, 104; с.103-109] проведены исследования по оценке механизма процесса осаждения элементов в виде ионов в зависимости от окружающей породы. Известно, что под влиянием грунтовых, пластовых и

трещинных вод рудные тела частично разрушаются, рудные элементы переходят в подземные воды, образуя простые и комплексные ионы [105; с.18-23, 106; с.77-98]. Для определения формы нахождения элементов в водах применяются сорбционные и электродиализные методы исследования с использованием мембранных фильтров. Известны способы получения ядерных фильтров с различными размерами пор на основе лавсановых пленок. Анализ литературных данных показывает, что их применимость для изучения форм нахождения элементов в сточных и подземных водах мало изучена.

На основании теоретических данных и практических результатов, имеющихся в НГМК и ИЯФ АН РУз, проведена попытка по предсказанию техногенного влияния хвостохранилища на подземные воды [74; с.78-83, 107; с.94-97, 108; с.98-101, 109; с.113-116, 110; с.95-96, 111; с.61-63, 127; с.61-63 128; с.261-263 129; с.27-29, 130; с.59-63].

Для определения форм нахождения элементов в водах использован радиоиндикаторный метод в сочетании электродиализа с использованием ядерных фильтров [108; с.98-101, 112; с.129-137].

Существующие химические фильтры анизотропной структуры, применяемые для тонкой очистки и разделения веществ, обладают большим разбросом пор по размерам в силу принципиальных особенностей их технологии производства.

Анизотропные фильтры, изготовленные ядерно-физическим методом в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ, отличаются от обычных ядерных фильтров высокой однородностью пор, повышенной производительностью и высокой механической прочностью [112; с.129-137]. Ядерные анизотропные фильтры получают облучением полимерной пленки через маску с отверстиями, ионами с длиной пробега в массе полимера меньшей, чем толщина пленки, и с дозой облучения, обеспечивающей полное вытравление материала на глубину, равную пробегу ионов. В образующемся после вытравливания тонком полимерном слое можно сформировать

микропористую структуру путем последующего облучения пучком ионов меньшей интенсивности и химической обработки. При этом участки пленки, защищенные маской при облучении, образуют армирующую сетку, которая обеспечивает необходимую механическую прочность и технологичность при работе с фильтрами. Таким способом были получены тонкие сетчатые микрофильтры с малой дисперсией диаметров отверстий, обладающие высокой пропускной способностью.

Ячеистые микрофильтры удобны в работе. Так, в процессе фильтрации контакт с подложкой не уменьшает эффективной площади фильтра.

Ядерные фильтры обладают хорошей устойчивостью к воздействию большинства органических растворителей, не гигроскопичны, пассивны в биологическом отношении (разрешены к использованию в пищевой промышленности), допускают автоклавирование и все виды стерилизации, имеют широкий диапазон рабочих температур (-60°C - 150°C).

Ядерные фильтры выгодно отличаются от фильтров других типов при определении дисперсного и элементного состава частиц, проведении анализа в процессе контроля загрязнения окружающей среды. Образцы ядерных фильтров изучались в экспедиционных и лабораторных условиях с целью испытания их пригодности для вышеуказанных целей рядом организаций. В результате была показана перспективность работ в этом направлении.

Анализ литературы по возможностям использования ядерных фильтров, в качестве пористых перегородок в жидких пробах при проведении экспериментов по определению форм нахождения химических элементов в подземных и сточных водах показывает, что данное направление является малоизученным.

§ 1.4 Методы определения изотопного состава урана

Природный уран состоит из трех изотопов ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U , относительное содержание которых в смеси составляет соответственно 0,0056%; 0,71% и 99,28% [113;с.13-15,114;с.234-236, 115; с.70-72]. Изотопы

^{235}U и ^{238}U входят в число долгоживущих первозданных изотопов, сохранившихся в процессе длительной эволюции земного вещества. Они являются родоначальниками радиоактивных семейств, объединяющих большую часть естественных радиоактивных элементов. Изотоп ^{234}U -один из продуктов распада - ^{238}U [116; с.13-14, с.145-148, с.175, с.-180].

Знание изотопного состава урана в подземных водах, в химконцентратах и в готовой продукции дает полезную информацию о радиационных, ядерно-физических и геохимических процессах в горных породах, рудах и в подземных водах [118; с.70-74, 122; с.90-96]. Исследуя механизм процесса нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана, можно найти ответы по многим вопросам рудообразования, гидрогеологии, геохимии и ядерных процессов, происходящих в ядрах элемента урана. В последнее время обнаружены изменения в соотношениях между изотопами урана в результате природных процессов [123; с.7-8].

Изучение литературных данных [115; с.70-72] показывает, что соотношение активности изотопов урана $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природной смеси урана должно быть постоянным и природное равновесное содержание - ^{234}U считается 53,41 мкг/г.

Для уранодобывающих предприятий регламентированы предельные концентрации изотопа - ^{234}U в готовой продукции закиси - окиси урана. В связи с этим, изучение и разработка новых и усовершенствование существующих методик определения изотопного состава урана в природных, технологических пробах и в закиси - окиси урана, исследование механизма радиоактивного равновесия между изотопами урана представляет научно-практический интерес. [117; с.46-49]

В таблице 1.3 приведены относительные содержания и удельные активности изотопов урана. Видно, что удельная активность изотопа - ^{234}U на четыре порядка больше изотопов ^{238}U и ^{235}U .

Таблица 1.3

Относительные содержания и удельные активности изотопов
 ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U

Изотоп	Удельная активность, Бк/г	Относительное содержание, %.
^{234}U	$2,31 \cdot 10^8$	0,0056
^{235}U	$7,91 \cdot 10^4$	0,71
^{238}U	$1,24 \cdot 10^4$	99,28

Радиоактивные семейства ^{238}U и ^{235}U представляют собой генеалогические ряды, в которых каждый последующий изотоп образуется из предыдущего в результате α или β - превращения. Оба ряда заканчиваются стабильными изотопами свинца (соответственно) ^{206}Pb и ^{207}Pb . Все промежуточные изотопы крайне неустойчивы и распадаются с периодами полураспада от сотен тысяч лет (^{234}U - $T=2,47 \cdot 10^5$ лет) до десятитысячных долей секунды (^{214}Po - $T=1,6 \cdot 10^{-4}$ с). Накопление их лимитируется наступлением состояния радиоактивного равновесия, при котором число атомов каждого изотопа, образующихся в единицу времени, становится равным числу атомов, распадающихся за то же время.

Для определения точных значений масс ядерных изотопов используются следующие методы: а) масс-спектрометрия; б) энергетический анализ ядерных реакций; в) баланс α -распада; г) баланс β -распада; д) микроволновая радиоспектроскопия и т.д. [33; с.88-91].

Одним из традиционных методов определения изотопного состава урана в природных и технологических объектах является масс-спектрометрический метод. В современных масс-спектрометрах используется метод двойной фокусировки: по скоростям и направлением. Благодаря этому разрешающая способность таких приборов очень высока. Они позволяют измерять разности масс с погрешностью, не превышающей $10^{-7} - 10^{-6}$ а.е.м - ($1,67 \cdot 10^{-27}$ кг), что дает для относительной погрешности измерения массы значение $\delta M/M \approx 10^{-8} \div 10^{-7}$

Развитие техники масс-спектрометрии позволило подтвердить

высказанное Содди предположение о том, что дробные атомные веса объясняются существованием изотопов. С помощью масс-спектрометров обследованы все элементы периодической системы и почти у всех элементов найдено по несколько изотопов.

Масс-спектроскопия не зависит от химической формы элемента и способна разделять индивидуальные изотопы. Необходимая аппаратура стоит дорого, но время разделения составляет порядка нескольких минут. Это значительно быстрее, чем анализ с помощью большинства многостадийных процессов химического разделения.

Исследования изотопного состава урана на содержание ^{234}U проводят масс-спектрометрическим методом на AGILENT-7700 ICP-MS («AGILENT», США), твердофазном масс-спектрометре TSN 206 SA («СAMEСА», Франция) или на аналогичных.

Измерение ионных токов ^{235}U и ^{234}U осуществляется попеременно во всем интервале испарения урана - от начала до его окончания. Настройка масс-анализатора на регистрацию каждого изотопа осуществляется с помощью регулировки тока питания электромагнита, при постоянстве ускоряющего ионы напряжения 13 кВ. Среднее значение отношения ионных токов ^{235}U и ^{234}U определяется для всех испаряемых фракций, что позволяет исключить влияние эффектов фракционирования.

Достоинством метода является возможность определения изотопного состава практически всех элементов системы Менделеева, к недостаткам можно отнести высокую себестоимость анализа для решения узких задач, например, изотопного состава урана, связанную с высокой стоимостью аппаратуры.

Широко известен способ определения изотопного состава урана, основанный на альфа-спектрометрии. Образец предварительно подготавливается к анализу урана методом радиохимической очистки и концентрирования [66; с.26-31, 67; с.46-48, 68; с.2-10, 69; с.11-12, 70; с.43-50, 71; с.278-291, 72; с.8-12]. В результате радиохимической обработки проб

получают препараты урана, радия, полония и радиосвинца в радиохимическом чистом виде путем их осаждения на подложку электролитическим способом. Радиоактивное излучение препарата быстро накапливается в результате радиоактивного распада с испусканием альфа-частиц строго определенных энергий [125; с.11-15, 126; с.9-11], что позволяет по энергии и интенсивности излучения идентифицировать эти изотопы и определять отношение их активностей в исследуемой пробе.

Сущность метода измерения заключается в измерении альфа - спектра счетного образца, содержащего изотопы урана, радия, полония и радиосвинца, выделенных из пробы природных и технологических объектов, путём радиохимической подготовки и электролитического осаждения.

Принцип действия обычных α -спектрометров основан на использовании прямо пропорциональной зависимости между энергией α -частиц и числом образующихся пар ионов. Вследствие сильного взаимодействия α -частиц с веществом толщина измеряемых радиоактивных препаратов не должна превышать нескольких микрограммов на 1 см^2 , а сами измерения необходимо проводить в вакууме.

Для детектирования альфа - частиц применяются альфа - спектрометры типа α -Analyst (фирма “Canberra”, США), Прогресс - альфа (ЗАО НПП “ДОЗА”, Россия), “Ortec”, США (Octete PC, Soloist) или аналогичные.

Достоинством метода является простота выполнения анализа, низкая себестоимость анализа изотопного состава урана. К недостаткам можно отнести трудоемкость выполнения радиохимических операций и возможность применения метода только для определения изотопного состава радиоактивных элементов, испускающих альфа излучение.

Выводы по главе 1

Таким образом, обобщая вышеизложенные положения можно сделать следующие выводы:

1. На практике геологических изысканий и технологических циклов

извлечения золота, для определения его содержания в основном применяется классический метод пробирного анализа. Хотя метод имеет высокую точность, но не обладает быстротой и оперативностью анализа.

2. Для определения содержания золота и других сопутствующих элементов в растворах или в твердых пробах, с предварительным переводом их в раствор, в основном применяют физико-химические и физические методы анализа.

3. ГАА применяется для определения содержания золота в представительных навесках крупно дробленных проб крупностью до 1 мм.

4. НАА с применением ампульных источников имеет превосходство в таких аспектах, как экспрессность анализа, оперативность получаемой информации и низкие значения порога определяемых элементов. На недостаточном уровне изучены возможности метода для контроля процесса добычи золота и урана непосредственно в производственных условиях.

5. Альфа - спектрометрический анализа является простым, дешевым и оперативным методом для практического использования на производстве урана для определения его изотопного состава в природных водах, химконцентратах и готовой продукции.

6. Для определения форм нахождения элементов в водах целесообразно применять сорбционные и электродиализные методы с использованием ядерных фильтров.

Исходя из сложившейся практики применения ЯФМА в НГМК и состояния исследованности проблем, связанных с производством урана и золота, важными и актуальными являются следующие задачи:

- Разработать ЯФМА для раскрытия механизма нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана и радия в процессе добычи урана;

- Исследовать возможности применения ЯФМА для контроля экологической обстановки в урановом производстве, в частности, для поиска способа уменьшения радиоактивного фона;

- Изучить возможности применения радиоиндикаторного метода для определения формы нахождения элементов в водах и технологических растворах в сочетании электродиализа с использованием ядерных фильтров;

- Изучить возможности применения ЯФМА для оценки техногенного влияния промпредприятий по добыче золота на почву и подземные водные ресурсы окружающей среды в зависимости от конкретных технологических процессов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения вышеперечисленных актуальных задач потребуется выполнять следующие научно-исследовательские и прикладные работы:

Разработать и использовать методику ИНАА на базе ^{252}Cf -источника нейтронов для решения аналитических, технологических и экологических задач непосредственно в производственных условиях;

Разработать и внедрить электродиализные методики определения форм нахождения элементов в сточных и подземных водах с использованием ядерных фильтров и “метода меченных атомов”;

Разработать методику ИНАА на базе ядерного реактора ВВР-СМ и применить её для определения концентрации техногенных элементов в почвах и подземных водах в районе добычи руд, оценить уровень техногенного влияния промпредприятий по добыче золота на окружающую среду;

Использовать ядерные фильтры для определения характеристик выброса радиоактивных веществ в атмосферу и осуществить контроль радиоэкологической обстановки в урановом производстве НГМК;

Применить ЯФМА для оценки состояния радиоактивного равновесия в семействе урана (соотношение концентрации урана и радия) в рудах, технологических растворах и подземных водах в зависимости от применяемых технологий, и определить уровень техногенного влияния уранодобывающих предприятий на окружающую среду;

Исследовать технико-аналитические возможности определения изотопного состава урана в природных и технологических образцах и установить механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана в технологических продуктах и товарной продукции.

ГЛАВА 2. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА И УРАНА

§ 2.1 Определение содержания естественных радионуклидов в почве

Информация о концентрации и распределении естественных радионуклидов (ЕРН) - К, U, Ra, Th и продуктов их распада в природных объектах имеет важное значения, особенно в уранодобывающих регионах. Это связано с необходимостью оценки радиозоологической ситуации, влияющей на жизнедеятельность населения, животных и растений. Поэтому не прекращаются поиски простых и надежных методов их определения. Различные химические и физико-химические методы определения этих элементов наряду с множеством достоинств обладают и многими недостатками. Недостатки связаны с трудоемкостью химического разложения образца в процессе проведения анализа, так как они не позволяют анализировать образцы инструментально (без разложения), и тем, что они не дают возможность одновременно определять содержания РН - урана, тория, радия и калия в исследуемом объекте.

Гамма - спектрометрический метод является наиболее подходящим методом для измерения радиоактивности ЕРН, так как его чувствительность достаточна для одновременного определения содержания U, Ra, Th и К по их естественной активности без разложения образца.

Измерение γ -спектров образцов нами проводилось на двух спектрометрах с Ge(Li)-детекторами (с рабочим объемом 63 и 80 см³ и энергетическим разрешением 2,7 кэВ по линии 1333 кэВ РН ⁶⁰Со, подключенными к многоканальному анализатору типа LP-4900В (фирмы "NOKIA"), оснащенный программой для расшифровки энергетических спектров и расчета фотопиков.

Измерения γ -спектров производили как без вычета, так и с вычетом

фона. Из-за низкой удельной активности почв, для получения достоверной информации проводили выбор оптимальной геометрии измерения навески и пробы. Геометрия измерения была выбрана близкой к 2π , в которой равномерно распределялся образец вокруг детектора, что позволило улучшить интенсивность попадания γ -квантов. Для этого был изготовлен фигурный стакан из блочного органического стекла (т.н. «сосуд Мариннели»), который одевался на детектор, за счет чего образец равномерно распределяется вокруг верхней и боковой его поверхности.

Калибровка спектрометров по абсолютной эффективности производилась следующим образом: сначала спектрометры калибровали с использованием точечных источников РН - ^{57}Co , ^{60}Co , ^{152}Eu , ^{54}Mn , ^{137}Cs из комплекта ОСГИ, выпускаемого ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. По отношению числа импульсов, зарегистрированных для точечной геометрии и для геометрии со стаканом, получали коэффициент пересчета для последнего. Идентификацию ЕРН проводили по их характеристическим энергиям с учетом квантовых выходов, периодов полураспада. В спектрах наблюдались четко выраженные фотопики ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K . Концентрацию урана определяли по фотопику с энергией 609 кэВ, радия - по 186 кэВ, тория - по 911 кэВ и калия - по 1460 кэВ.

Измерение проводилось спектрометром, установленным в свинцовом домике для экранировки от естественного фона. Время измерения каждой пробы составляло 1 час. В качестве эталона для сравнения использовали стандартные образцы сравнения типа СОУР-1 с известными содержаниями определяемых элементов.

Для оценки динамики радиоэкологической ситуации в течение десяти лет анализировались ежеквартально отобранные почва из наблюдательных точек хвостохранилища ГМЗ-1. Определенные средние содержания урана, радия, тория и калия в почве (средние значения из пятикратных измерений) приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1**Среднее содержание U, Ra, Th и K в почве хвостохранилища ГМЗ-1**

РН	Концентрация, (г/г)	Чувствительность, (г/г)
Калий	$0,024 \pm 0,07$	$5 \cdot 10^{-4}$
Уран	$(2,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Радий	$(9,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Торий	$(6,9 \pm 0,9) \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Как видно из таблицы, составляющей наибольшей относительной радиоактивностью в почве обладает элемент калий. Относительный вклад радиоактивности калия в суммарную радиоактивность отобранной почвы составляет 99,3%, то есть его радиоактивность превышает радиоактивности: урана в $9,6 \cdot 10^3$ раза, тория $3,4 \cdot 10^3$ раза и радия $2,6 \cdot 10^9$ раза, что намного больше средней радиоактивности этих элементов в земной коре.

Из полученных данных видно что, содержание радия в почвах хвостохранилища ГМЗ-1, где размещены отходы переработки урана, в 4-5 раза превышает средний показатель содержания радия в земной коре.

Методика используется для систематического определения концентрации вышеперечисленных элементов в почвах, отобранных из промышленных площадок уранодобывающих подразделений НГМК, и для оценки техногенного вклада уранодобывающего производства в экологическую обстановку региона.

§ 2.2 Методика определения содержания радия в природных водах

В зависимости от распространенности и содержания веществ в водах выделяют макро и микрокомпоненты. Радионуклиды (как естественные, так искусственные), как большая группа элементов, содержащихся в концентрациях от нескольких микрограммов и менее в 1 дм^3 , входят в группу микрокомпонентов. Переход радионуклидов из вмещающих пород в воду является результатом таких процессов, как растворение неустойчивых

минералов и выщелачивание, т.е. переход элементов из минерала в раствор без нарушения целостности кристаллической решетки.

Как член семейства ^{238}U , изотоп радия ^{226}Ra содержится во всех рудах урана. В результате вымывания радия из урановых руд он переходит в растворенном состоянии в воду. Вследствие этого процесс радий часто обнаруживается в природных водах ураноносного региона. Качество природных вод, используемых для употребления в данном регионе, является одним из определяющих факторов нормальной жизнедеятельности населения. Согласно НРБ-06 эффективная доза за счет ЕРН в питьевой воде не должна превышать 0,2 мЗв/год. Этому значению дозы соответствуют среднегодовые значения допустимой удельной активности радия, равные - 0,89 Бк/л. Из этих соображений определение радия в природных водах является очевидной задачей оценки радиационной обстановки региона.

Имеются многочисленные классические физико-химические и физические методы определения радия в жидких пробах. Но они не соответствуют требованиям экспрессного определения.

Нижеприведенная инструментальная и экспрессная методика определения радия на наш взгляд является более подходящей.

Количественное определение содержание радия в природных водах проводилось эманационным методом. Сущность эманационного метода определения радия заключается в количественном выделении радона из раствора, содержащего изотопы радия, и радиометрического измерения активности эманации и продуктов его распада на лабораторном альфа-анализаторе типа «Камера».

Метод измерения основан на деэманировании радона из пробы воды путем барботажа и переводе его в сорбционную колонку СК-13. Деэманирование радона осуществляется путем прокачки барботажа очищенного (прошедшего через "защитную" СК-13) от радона воздуха со скоростью $1.0 \pm 0,2$ л/мин в течение 7 мин через емкость барботер с исследуемой водой. Благодаря используемому в барботере распылителю,

создающему необходимое количество пузырьков воздуха, происходит дегазация растворенного в воде радона, и вытеснение его из барботера в "основную" СК-13.

Процесс деэманирования осуществляли дважды: первый раз - через 1-3 часа после отбора пробы воды (для измерения ОА радона), а второй раз - после экспонирования герметично закрытого сосуда с пробой воды в течение 15 и более суток (для измерения ОА радия по активности накопившегося из него радона). Активность радона в угле "основной" СК-13 определяли по гамма излучению короткоживущих дочерних продуктов радона - ^{214}Pb и ^{214}Bi , находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с радоном.

Объемная активность радона - (ОАР) в пробе воды Q_{rn} , Бк/л определялось по формуле:

$$Q_{Rn} = A/V \quad (2.1)$$

где A - активность радона в пробе воды по окончанию пробоотбора, Бк;
 V - объем отобранной пробы воды, л.

В тех случаях, когда ожидаемая активность радона в угле более 2 Бк, (измеряемая с использованием блока детектирования бета-излучения БДБ-13 ОА радона (радия) в пробе воды более 2 Бк/л), время накопления увеличивали до 48 - 72 часов.

ОАР радия в пробе воды Q_{Ra} , Бк/л определены по формуле:

$$Q_{Ra} = 0,78 \frac{A \exp(\lambda t)}{n \{1 - \exp(-\lambda t_n)\}} \quad (2.3)$$

где t_n - интервал времени между первым и вторым барботажем воды, ч;
 t - интервал времени между окончанием барботажа и началом измерения активности радона в угле, ч.

Экспериментальные данные определения концентрации радия приведены в таб.2.2

Как видно из полученных результатов радий высокой концентрации встречается в подземных водах вокруг урановых месторождений и слабоминерализованных водах рудных участков.

Таблица 2.2

Определенные концентрации радия в различных водах

№ п/п	Наименование продукта	Среднее содержание урана, мг/л	Концентрация радия, $\cdot 10^{-10}$ г/л
1	Дистиллированная вода	-	0,004
2	Допустимая концентрация в воде	1,8	0,054
3	Подземные воды вокруг урановых месторождений	3,0	0,1-1
4	Слабоминерализованные воды безрудных участков	-	0,05
5	Слабоминерализованных воды рудных участках	-	0,1
6	Минерализированные воды сульфатного типа (безрудная зона)	-	0,06
7	Пластовые воды	0,1	0,008-0,01

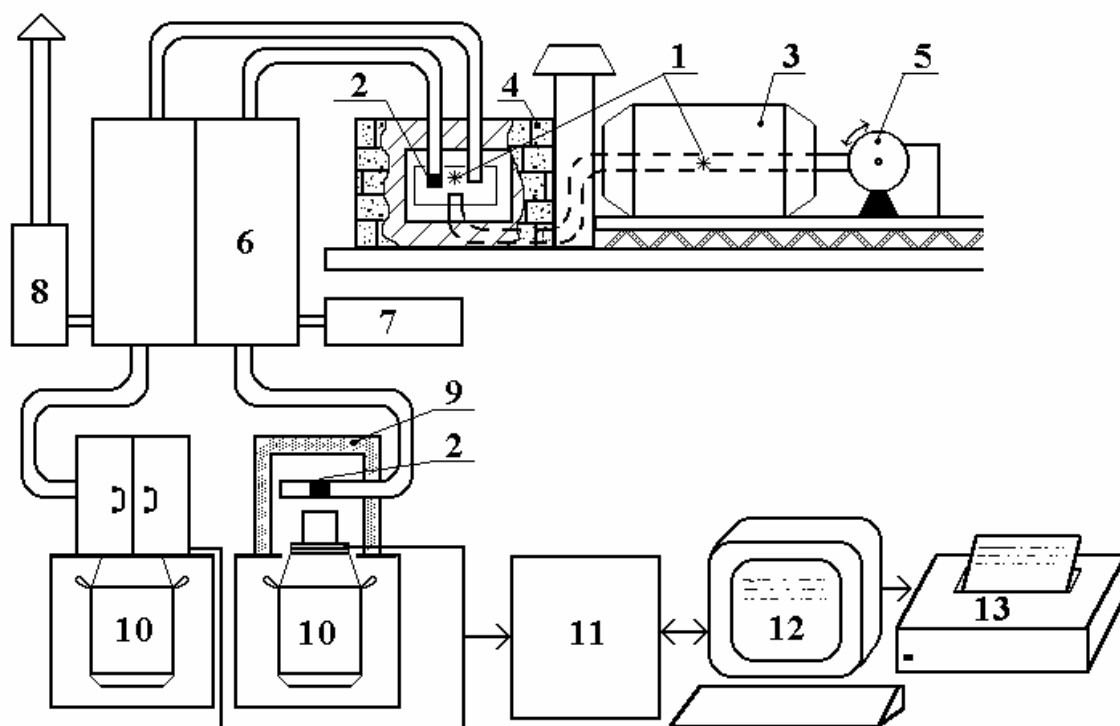
Это объясняется тем, что радий выщелачивается при контакте с подземными водами. Вероятность выщелачивания радия предопределяет разработки надежных методов определения его в природных водах.

§ 2.3 Анализ золотосодержащих технологических продуктов с использованием ^{252}Cf -источника нейтронов

Для анализа руд и технологических продуктов, и экспрессного контроля технологического процесса извлечения золота в НГМК, на основании проведенных исследований в совместной лаборатории ядерно-физических методов исследований ИЯФ АН РУз и НГМК по разработанному

нами техническому заданию была сконструирована и изготовлена во ВНИИРТ (Россия) нейтронно - активационная установка (НАУ-К).

Ампульный источник - ^{252}Cf с выходом $1 \cdot 10^9$ нейтр/с установлен в контейнере для хранения источника (см. рис.2.1). Источник при помощи электромотора, управляемого с пульта, устанавливается в блоке облучения. Метод измерения радиоактивности проб рассмотрен в нижеприведенных параграфах.



1- ^{252}Cf - источник нейтронов; 2-проба; 3-контейнер для хранения источника нейтронов; 4- блок облучения; 5-электромотор; 6-пневмотранспортная система; 7-компрессор; 8-фильтр; 9-свинцовый домик; 10-ППД находящийся в сосуде Дьюара с жидким азотом; 11-аналого - цифровой преобразователь; 12-РС типа Pentium – III и 13 - принтер.

Рис. 2.1. Блок-схема нейтронно-активационной установки с ^{252}Cf -источником нейтронов

2.3.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ по короткоживущим радионуклидам

Для экспрессного анализа по короткоживущим РН - ($^{46\text{m}}\text{Sc}$, $^{197\text{m}}\text{Au}$, ^{239}Np , $^{183\text{m}}\text{W}$ (периоды полураспада - 18,6с, 7,2с, 23,5мин, 5,3с соответственно) в блоке облучения установки имеется 2 канала. В режиме

анализа по короткоживущим РН подача проб осуществляется по пневмотранспортному каналу сжатым воздухом от компрессора, управляемого с пульта.

Таблица 2.3

Ядерно-физические характеристики аналитических радионуклидов

Элемент→Р	E_γ , кэВ	$T_{1/2}$	Кларк, %	$m_{обр}$, г	$t_{обл}, t_{охл}, t_{изм}; c$,	$N_{ц}$	LD, %
H							
F→ ²⁰ F	1633	11с	0,06	10	40-2-40	10	0,8
N→ ¹⁶ N	6130	7,14с	0,06	250	40-5-40	2	0,2
Mg→ ²⁷ Mg	844	9,46 м	2,0	100	600-120-600	1	1,0
Al→ ²⁸ Al	1778	2,3м	8,1	100	400-100-300	1	0,01
Sc→ ^{46m} Sc	142	18,6 с	0,002	10	40-2-40	3	0,003
Ca→ ⁴⁹ Ca	3084	8,7 м	3,2	10	600-2-500	2	5,2
Ti→ ⁵¹ Ti	320	5,8 м	0,6	10	360-2-360	1	0,2
V→ ⁵² V	1434	3,8 м	0,010	100	500-300-500	1	0,01
Cu→ ⁶⁶ Cu	1039	5,1м	0,005	10	360-120-360	1	0,03
Se→ ^{77m} Se	162	17 с	10^{-5}	10	40-2-40	10	0,003
Mo→ ¹⁰¹ Mo	191	14 м	10^{-4}	100	600-2-600	1	0,01
Ag→ ¹¹⁰ Ag	657	24с	$5 \cdot 10^{-6}$	10	60-2-60	10	0,005
Ba→ ¹³⁷ Ba	661	2,5м	0,06	10	200-2-200	2	0,7
Sm→ ¹⁵⁵ Sm	104	22м	0,0008	100	600-3-600	1	0,008
W→ ^{183m} W	107	5,3с	0,0001	10	10-3-10	10	0,01
Au→ ^{197m} Au	278	7,2с	0,0007	10-15	40-2-40	10	0,5
U→ ²³⁹ U	74	23,5м	$25 \cdot 10^{-5}$	10	25м-5м-20м	1	$5 \cdot 10^{-5}$

Схема установки показана на рисунке 2.1. Для увеличения отношения полезного сигнала к фону предусмотрен вариант циклического облучения проб.

Измельченную пробу всыпали в цилиндрический полиэтиленовый

контейнер многоразового использования диаметром 13 мм и высотой 40 мм, в зависимости от плотности в контейнер помещается 10-12 мл технологических растворов или 10-15 г твердых образцов.

При разработке методик анализа на конкретные элементы, исходя из периода полураспада аналитического РН и степени мешающего влияния других РН, подбирали значения временных параметров анализа. Для оптимизации значений длительности «остывания» в качестве основного критерия использовалось значение предела обнаружения, вычисляемое по формуле

$$LD = 2N_{\phi}/\eta \quad (2.4)$$

где η - значение измеряемого эффекта (счета импульсов) на единицу концентрации.

В таблице 2.3 приведены ядерно-физические характеристики аналитических радионуклидов и оптимальные временные режимы при анализе по короткоживущим РН, с использованием ^{252}Cf - источника нейтронов ($f=1 \cdot 10^9$ нейтр/с; $t_{\text{обл}}$, $t_{\text{охл}}$, $t_{\text{изм}}$ - время облучения, остывания и измерения, соответственно; $m_{\text{обр}}$ - масса навески; $N_{\text{ц}}$ - число циклов или повторности облучения; LD - предел определения).

2.3.2 Анализ по среднеживущим радионуклидам

Для проведения анализов по среднеживущим радионуклидам установлено 8 вертикальных каналов. В каждый канал размещаются в количестве 11 шт - плоские кассеты диаметром 80 мм и высотой 12 мм, куда помещаются по 100-120г твердых образцов. В средней кассете с пробами поток нейтронов, испускаемый ^{252}Cf - источником нейтронов, имел максимальное значение, то есть 95%, а в самых нижних кассетах с пробами поток нейтронов в два раза меньше, то есть 47,5%. Численное значение геометрических коэффициентов менялось в пределах 0,48-0,95.

2.3.3 Анализ по долгоживущим радионуклидам

Сечение активации золота надтепловыми нейтронами (в области энергии нейтронов с $E_n=4,9$ кэВ) составляет 1550 барн. С учетом возможных влияний конкурирующих реакций и непостоянства некоторых технических условий анализа, необходимо было провести аналитические исследования сложных по химическому составу образцов золотосодержащих руд. При этом, учитывали вклад (влияние) мышьяка, сурьмы, палладия, иридия, европия и т.д.

Исследовали режим анализа путем облучения проб, содержащих золото с концентрацией 1 г/т. Пробы также содержали мышьяк 7,5%, сурьму 0,6%. Результаты показали, что при облучении образца массой 100-120г потоком нейтронов в $1 \cdot 10^9$ нейтр/с в течение 24 часов и при 9-ти дневном времени "охлаждения" предел обнаружения по золоту достигал до 0,5 г/т.

После облучения и «остывания» пробы извлекали из кассеты и передавали на измерение, где устанавливали на детектор лицевой стороной, обращенный к источнику нейтронов. Длительность измерения составляла 3600 с.

Содержание золота в образцах руд (в г/т) находили по формуле:

$$C_{Au} = \frac{I_{np} * C_{эт} * P_{эт}}{I_{эт} * P_{np}} \quad (2.5)$$

где I_{np} - число импульсов для образца, имп/сек; $C_{эт}$ - содержание золота в эталоне, г/т; $P_{эт}$ - вес эталона и пробы, г; $I_{эт}$ - число импульсов для эталона, имп/сек, P_{np} - вес пробы, г.

Таким образом, были найдены оптимальные условия облучения золотосодержащих проб с учетом мешающего влияния мышьяка на определение золота. В этих условиях эксперимента порог определения золота составляла 0,3 - 0,5 г/т.

Таким образом, была разработана методика ИНАА золотосодержащих проб по долгоживущим радионуклидам. Эта методика успешно применяется в НГМК.

§ 2.4 Анализ ионообменной смолы

Анализ ионообменной смолы на золото необходим для контроля процессов сорбции и десорбции, а также для учета количества золота, в составе смолы, передаваемой между подразделениями комбината. Для определения золота в смоле на НГМК применяют пробирный и атомно-абсорбционный методы анализа. Экспрессность, точность и чувствительность этих методов не всегда соответствуют предъявляемым требованиям технологического контроля. Поэтому анализ ионообменной смолы на золото мы предлагаем проводить ИНАА по среднеживущему РН ^{198}Au , излучающую гамма - квант с энергией 412 кэВ. РН образуется при облучении смолы сплошным спектром нейтронов ^{252}Cf - источника.

Использован плоскопараллельный полиэтиленовый контейнер диаметром 80 мм и высотой 12 мм, куда помещается 70-75 г воздушно-сухой смолы. Для активации проб смолы использовали установки НАУ-К с потоком нейтронов $1 \cdot 10^9$ н/с. Исследовали факторы, влияющие на точность и нижнюю границу порога определения, такие как время облучения, остывания и измерения, навеска пробы, влажность, представительность анализируемой навески, присутствие побочных материалов (щепа, резина и др), геометрические условия облучения, измерения и другие.

Пределы обнаружения Au рассчитывали, используя следующие соотношения, соответственно:

$$C_{\min}^{\text{об}} = \frac{3\sqrt{2I_{\phi}}}{I_{\text{пол}}} * C_{\text{эт}} \quad (2.5)$$

$$C_{\min}^{\text{опр}} = \frac{3\sqrt{I_{\phi}}}{I_{\text{пол}}} * C_{\text{эт}} \quad (2.6)$$

где I_{ϕ} - количество импульсов фона, $I_{\text{пол}}$ - количество импульсов полезного сигнала; $C_{\text{эт}}$ - концентрация эталона, г/т.

Нижний предел погрешности анализов для абсолютного метода расчета концентраций оценивали посредством расчета статистической погрешности

площади пика с доверительной вероятностью P=95%.

$$\delta = 2 \sqrt{\frac{N + \frac{(n-2)}{2} - N_{\phi}}{N}} \quad (2.7)$$

где N_{ϕ} - площадь фона под пиком в пределах его границ,

N - площадь полезного сигнала под пиком в пределах его границ, n - число каналов, занимаемых пиком.

Найдены оптимальные режимы анализа. Предел обнаружения при анализе проб (с погрешностью не более 20% отн.) массой 7г, при времени облучения 3 часа, остывания 1 час, измерения 5-10 минут, составляет - 0,09 г/кг. Использование навески весом 75 г позволяет сократить время облучения вдвое и увеличить производительность до 50-60 проб за смену.

Исследовали возможность определения золота во влажных смолах и показали, что отклонение результатов между воздушно-сухой и набухшей смолами (коэффициент набухания $2,04 \pm 0,01$) составляет не более 5% отн. Остаточная активность смолы после 5-6 дневной выдержки составляла 20-25 мкР/ч, что на уровне естественного фона.

Влияние посторонних примесей (щепы, резины и др.) снижает точность в 1,5-2 раза. Поэтому целесообразна предварительная очистка смолы от присутствующих примесей, учитывать коэффициент засорения.

Анализ содержания золота методом пробирного анализа показал, что навеска массой 0,5г, используемая в пробирной плавке, явно недостаточна при анализе золота в смоле.

Сравнение результатов анализа смолы с различными методами, приведено в таблице 2.4.

При пробирном анализе смолы массой 6г (сумма из 12 анализов при использовании навески массой 0,5г) расхождение между результатами составляет $\pm 2\%$. На основании вышеизложенного можно сказать, что при пробирном анализе золота в смоле представительной навеской является 5-7г.

Таблица 2.4

Сравнение результатов, полученных с применением различных методов анализа смолы

№ Пробы	C _{Au} , г/кг.		Δ _с , %.
	Пробирный	НАА	
1.	0,5	0,48	4,1
2.	0,57	0,54	5,3
3.	0,94	0,91	3,2
4.	1,5	1,39	7,9
5.	2,1	2,01	4,3
6.	4,3	3,98	7,5
7.	8,1	6,95	14,2
8.	10,2	9,83	3,8
9.	12,4	13,6	-9,6

Сходимость результатов анализа смолы с пробирным анализом и ИНАА в интервале 0,5-4,5 г/кг составляет не более 8%. Воспроизводимость результатов с повторением 4 кратного анализа составляет не более 2%.

Одним из возможных вариантов экспрессного определения золота в смоле может быть метод, основанный на возбуждении изомерного состояния ядра золота $^{197}\text{Au}(n,n'\gamma)^{197m}\text{Au}$. При этом матрица из-за низких сечений активации нейтронами спектра деления практически не активизируется.

При больших энергиях ($E > 1\text{МэВ}$) падающих нейтронов становится возможным их неупругое рассеяние - (n,n') . Возбужденное ядро возвращается в основное энергетическое состояние, испуская γ -кванты. К таким радионуклидам относятся ^{197m}Au - ($T_{1/2}=7,2\text{с}$) и ^{183m}W - ($T_{1/2}=5,3\text{с}$).

Найдены оптимальные режимы НАА золота и сопутствующих элементов, которые приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

**Оптимальные условия НАА ионообменной смолы
(обозначение см. табл.2.3)**

Элемент→РН	T _{1/2}	m _{обр,Г.}	t _{обл} ,t _{охл} ,t _{изм} ; с.	N _п	LD, %
V→ ⁻⁵² V	3,75 м	70	300-100-300	1	0,05
Cu→ ⁻⁶⁶ Cu	5,1м	70	300-100-300	1	0,4
Se→ ^{77m} Se	17,5 с	7	60-2-60	10	0,03
Ag→ ¹¹⁰ Ag	24,4 с	7	60-2-60	10	0,06
W→ ^{183m} W	5,3 с	7	20-2-20	10	1,0
Au→ ^{197m} Au	7,2 с	250	40-5-40	5	0,4
Au→ ^{197m} Au	7,2 с	7	40-2-40	10	0,8

Поскольку НАА является относительным методом, погрешности аттестации содержания элементов в контрольной пробе входят составной частью в ошибку анализа. Наиболее надёжными являются стандартные образцы горных пород и руд прошедшие государственную аттестацию, но даже в них содержания установлены с определенной точностью, которая и определяет максимально достижимую точность ИНАА при их использовании.

Так как золото в горных породах распределено крайне неравномерно то, в смолах, гравикоцентрах и флотоцентрах его распределение также не равномерно.

Как показали эксперименты, в используемых каналах ²⁵²Cf - источника нейтронов плотность потока по высоте канала изменяется не сильно. Градиент потока составляет примерно 5% на 10 см. В этих условиях мы применяли способ мониторинга потока нейтронов с применением трёх эталонных или контрольных проб, расположенных в верхней, средней и нижней частях канала. Этот подход позволил контролировать неоднородность потока с точностью до 2%. При большем градиенте

плотности потока целесообразно использование большего количества контрольных проб. В активной зоне, где происходит облучение образцов, помимо тепловых нейтронов имеется некоторая доля быстрых нейтронов, вызывающих пороговые реакции типа (n, n') , (n, γ) и др. В данном случае мы измеряем радиоактивность РН - ^{198}Au , образующегося по реакции радиационного захвата $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$.

§ 2.5 Контроль процесса переработки промежуточных отходов

В ходе технологических процессов горно-металлургического производства часто возникают промежуточные технологические отходы, из которых возможно извлекать полезных компонентов. Для комплексного извлечения из рудных минералов экономически целесообразно и технологически возможно получать дополнительные ценные продукты. К таким объектам можно отнести магнитную фракцию шаровой мельницы, куда переходят в процессе втирания частицы свободного золота. В результате утилизации продуктов износа футеровки можно получать сульфата железа и т.д. В каждом случае требуется контроль данного процесса.

2.5.1 Контроль пирометаллургического процесса

В процессе измельчения золотосодержащих руд в шаровой мельнице образуется магнитная фракция - (МФ), основной составляющей которой является магнитное железо, поступающее в МФ за счет износа мельничных шаров и из руды. За счёт механических сил (нажима, втирания, вдавливания) частицы свободного золота и серебра переходят из руды в кристаллическую решетку металла железа. МФ представляет собой мелкодисперсное, в значительной степени, окисленное железо, являющейся продуктом износа футеровки (стали 110Г13Л), то при магнитной сепарации, они практически не выводятся, так как является немагнитным материалом.

Для переработки МФ предложен ряд методов: пирометаллургический,

гидрометаллургический и комплексный, а также методы, сочетающие эти процессы. Применение вторичного сырья (лома шаров мельниц ГМЗ-2 - МФ) для его использования в качестве добавок к стали, при изготовления шаров и футеровок для мельниц, является актуальной задачей литейного производства. В связи с этим изучено поведение золота в процессе плавки МФ и получения стали. Для определения концентрации золота в магнитной фракции, стали и шлаках плавки применяли НАА с использованием реактора и ^{252}Cf - источника нейтронов, расположенного в ядерно-физическом комплексе ЦНИЛ НГМК.

Вопросы переработки МФ пирометаллургическими методами были проработаны на ПО НМЗ и ГМЗ-2, для этого в печи ИСТ-016 были проведены плавки МФ. Из-за низкой электропроводимости переплавить МФ самостоятельно не представлялось возможным. Поэтому плавки проводили со сталью. МФ содержала 7,5 г/т золота. После плавки золото перешло в металл с неравномерным распределением. Содержание золота колебалось от 0,4 до 13 г/т. В шлаках распределение золота было равномерным при содержании 0,2-0,3 г/т.

МФ содержала железа 78%, золота- 26г/т, серы сульфидной – 1,8 %, мышьяка - 0,3%. Состав шихты на плавку: МФ - 81 кг, Fe - 78%, Au - 26 г/т, чугунный лом - 132 кг, раскислитель (FeMn, FeSi, известь) - 6,7 кг. После плавки получено 73,6% - чугуна, 96% - Fe, а золото в металле распределено неравномерно. Методом дробного анализа было найдено крайне неоднородное распределение золота в исходном материале (магнитной фракции) и сплавах. Сравнительно равномерное распределение наблюдается в шлаках плавки магнитной фракции. Установлено, что в основном (более 96%) золото находится в сплаве после плавки магнитной фракции, а, следовательно, в шлаках его концентрация составляет 0,06 - 0,3 г/т. Крайне неоднородное распределение золота в магнитной фракции и в стали требует создания особых условий при выборе представительных навесок для анализа и предварительного их измельчения. Содержание золота в стали, получаемой

из МФ составляет $6 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-3}\%$. Методика основана на определении содержания золота в пробах магнитной фракции массой 100-200г нейтронно-активационным анализом с использованием ^{252}Cf - источника нейтронов и гамма спектрометра LP-4900В с программируемым анализатором “Nokia”.

Эталон для сравнения изготовили следующим образом: методом квартования отбирали навески массой 3 кг из 4-х проб с различными содержаниями золота, найденными методом пробирного анализа. Учитывая, что, матричный состав МФ сильно не изменяется, то погрешность анализа составляет не более 10-15%.

Таблица 2.6

Изменение состава МФ - (1-FeS₂, 2-FeAsS, 3-FeO+Fe₃O₃, 4-Fe₃C, 5-FeSi, 6-Fe, 7-Mn, 8-S, 9-Au в %)

Пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Проба-1*	0,23	0,16	4,27	0,24	0,93	92,3	0,98	-	10,5
Проба-2	0,26	0,12	0,01	0,26	0,97	97,6	0,97	Н.о	11,1
А	0,46	0,13	-	-	Н.о	84,2	1,0	1,2	11,8
Б	-	-	-	-	-	79,0	0,8	0,97	11,8

Проба-1* - Крупнозернистая, бурая, пористая с красно-желтыми пятнами ржавчины (окисленная на воздухе): Проба-2 - Мелкозернистая бурая, без видимых разрушений ржавчиной (не окисленная на воздухе): А - Среднее от партии 100 г: Б - Среднее от партии 60 г.

Крупность материала пробы: от 0.074 до 2мм. $t_{\text{обл}}=72$ часа; $t_{\text{охл}}=66$ час, $t_{\text{изм}}=30-40$ мин. Производительность - 10-12 проб за смену. Предел обнаружения - 0,1 г/т. Предел определения Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, As, Ag в МФ составляет (г/кг): 0,004; 0,01; 0,08; 0,1; 0,02; 0,1; 0,1; 0,07 соответственно.

Расхождение с пробирным методом анализа 10%. Время одного анализа для одновременного определения 5-7 элементов 10 мин, производительность за 7 часов 25-30 проб.

2.5.2 Контроль гидрометаллургического процесса

Так как, золото является драгоценным металлом, то его учет в золотоизвлекаемых предприятиях является обязательным. По этой причине требуется разработка технологии его утилизации.

Разработанная методика определения золота и железа в МФ использована при технологии утилизации МФ с одновременным получением золотосодержащего кека и сульфата железа.

Наиболее эффективный способ утилизации МФ по действующей технологии ГМЗ-1, ГМЗ-2 и ГМЗ-3 является гидрометаллургическая технология переработки МФ. Способ включает в себе:

- сернокислотное выщелачивание МФ, содержащей 75-85% железа,
- фильтрации раствора для отделения золотосодержащего кека,
- отмывки золотосодержащего кека от серной кислоты и соли сульфата железа.

По технологической схеме из МФ весом в 1 тонна получают 2,7 т сернокислого закисного железа и кека с содержанием золота 60-120 г/т против 5-20 г/т в исходной МФ. Опытно - промышленный вариант способа реализован в цехе №1 ГМЗ-1. В настоящее время производительность установки по МФ составляет 460 т в год, то есть имеется возможность получения 1000 т сульфата железа (в твердом и жидком состоянии) за год. Золотосодержащий кек перерабатывается в технологической схеме ГМЗ-1 и ГМЗ-2. Сернокислое закисное железо (ГОСТ-6891-94) используется для обезвреживания цианистых стоков ГМЗ-1 и очистки питьевой воды на ОЭС НГМК.

Имеется обширная область применения сернокислого закисного железа: очистка промышленных сточных вод от цианидов.

Промышленная утилизация МФ с производительностью 8 000 т/год (столько же образуется промежуточных отходов в производстве НГМК) позволяет получить дополнительно 50 кг золота и сульфата железа (в твердом и жидком состоянии) в количестве 17 800 т/год.

Предлагается наладить производство и переработку МФ на ГМЗ-3 гидromеталлургическим способом с одновременным получением сульфата железа (в твердом и жидком состоянии) после проведения маркетинга сбыта продукции в Республике Узбекистан.

§ 2.6 Методика анализа почв с использованием атомного реактора

Для определения концентрации элементов в почве нами был использован реактор ВВР-СМ ИЯФ АН РУз с выходом нейтронов $5 \cdot 10^{13}$ нейтр/сек*см². Образцы почвы высушивали при температуре 105 °С до постоянного веса, навески проб (50 мг) упаковывали в полиэтиленовые пакеты и алюминиевую фольгу. Анализ проб почвы проводился в двух временных режимах облучения и измерения. Для анализа элементов (As, La, Sm, W, Au, U) по среднеживущим радионуклидам время облучения составляет - 1 час, а время «остывания» 3 дня. При анализе элементов (Sc, Fe, Co, Ni, Rb, Ag, Sb, Cs, Ce, Eu, Tb, Lu, Hf, Hg) по долгоживущим РН время облучения составляет 10 час, а время «остывания»-20 дней.

Метод ИНАА элементов в почве мы усовершенствовали и применили, для определения элементов в осадочных породах, подверженных влиянию техногенного фактора.

Методика определения содержания 25 химических элементов в пробах почв, отобранных из 580 точек в районе действия ГМЗ-2 для оценки техногенного влияния выполнено в следующей последовательности.

Значение коэффициента обогащения элементов определяли по формуле:

$$K_{об} = \frac{C_x * K_{оп}}{C_{оп} * K_x} \quad (2.9)$$

где C_x - содержание исследуемого элемента;

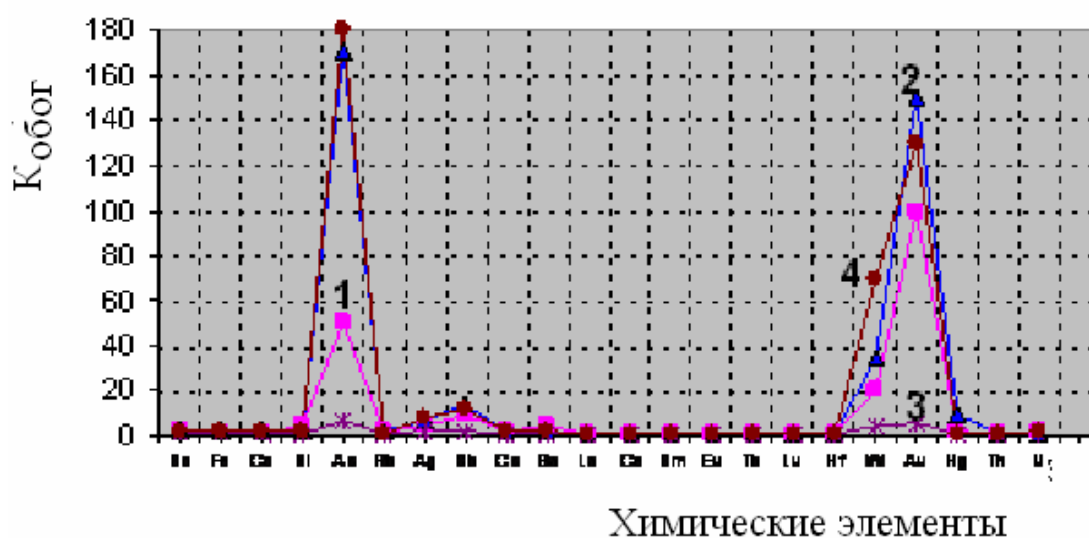
$C_{оп}$ - содержание опорного элемента, K_x - Кларк исследуемого элемента;

$K_{оп}$ - Кларк опорного элемента (скандия).

На рисунке 2.2 приведена зависимость от кларкового содержания

(среднее значение) коэффициента обогащения определенных элементов в почвах, отобранных в районе хвостохранилища ГМЗ-2.

Анализ состояния почв в районе деятельности ГМЗ-2 показывает, что частичное обогащение почв техногенными элементами образовалось в начале деятельности ГМЗ-2 (период 1974-1986 годы, когда глубина карьера составляла до 200м. Когда проводились взрывные работы, твердые дисперсные частицы с поверхности карьера разносились вокруг карьера в зависимости от розы ветров.



1-хвостохранилища №1; 2-хвостохранилища №2; 3- прилегающая зона; 4-карьер.

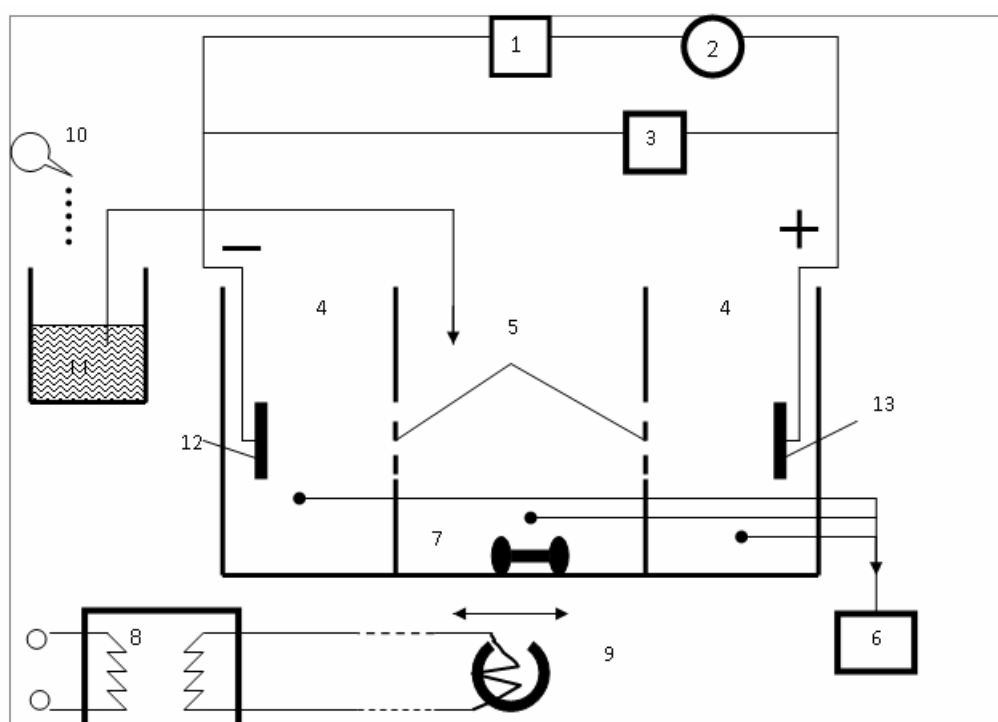
Рис. 2.2. Изменение $K_{обог}$ - в различных объектах

В дальнейшем за счет углубления карьера эффект загрязнения уменьшался и в настоящий момент (в 2015г когда глубина карьера составляет более 600 м), рудные частицы, поднятые во время взрыва в воздух, выпадают обратно в карьер. В результате, загрязнение почв, грунта вокруг карьера техногенными соединениями практически отсутствует

§ 2.7 Определение форм нахождения элементов в водах

Для определения форм нахождения элементов в водах применяются сорбционные и электродиализные методы исследования, основанные на

использовании ионообменных мембранных фильтров. Ядерные фильтры мы применили для изучения форм нахождения элементов в сточных и подземных водах. Для этого исследуемый раствор разбавляли дистиллированной водой до суммарного содержания солей ~ 1 г/л, вносили в него радиоактивный изотоп исследуемого элемента. Раствор с «меткой» контактирует 24 часа для достижения изотопного равновесия. Четырехканальным радиометром измеряли удельную активность исходного раствора (в импульсах за единицу времени) и заливали его в среднюю камеру трехкамерного электродиализатора, показанного на рисунке 2.3.



1-универсальный источник питания; 2-амперметр постоянного тока; 3-вольтметр; 4-камеры диализатора; 5-ядерный фильтр; 6-радиометр; 7-металлический собиратель; 8-трансформатор; 9-электромагнит; 10-радиоиндикатор; 11-раствор; 12-катод из нержавеющей стали; 13-анод из платины.

Рис. 2.3. Блок-схема трехкамерного электродиализатора

В боковые камеры наливали 0,001М раствор NaCl. В качестве анода использовали электроды из платины и в качестве катода - нержавеющей сталь. Раствор средней камеры от раствора боковых камер отгорожен с помощью ядерных фильтров с диаметрами пор 0,16 - 0,2 мкм. Время электродиализа составило 24 часа. В процессе электродиализа происходит

разделение ионов, величины которых определяют путем радиометрического определения удельной активности растворов.

Таблица 2.7

Вероятные формы нахождения элементов в подземных водах

№ п/п	Элемент	Формы нахождения			Преимущественная форма нахождения элементов
		катионная	анионная	нейтральная	
1.	Скандий	Sc(OH)^{2+} ; Sc(OH)_2^+		Sc(OH)_3^0	Sc(OH)^{2+} ; Sc(OH)_2^+
2.	Хром	Cr(OH)_2^+	CrO_4^{2-}	Na_2CrO_4	Cr(OH)_2^+ ; CrO_4^{2-}
3.	Железо	Fe^{3+}			Fe^{3+}
4.	Кобальт	Co^{2+}		CoSO_4	Co^{2+}
5.	Цинк	Zn^{2+}		ZnSO_4	Zn^{2+}
6.	Селен		SeO_3^{2-}	Na_2SeO_3	Na_2SeO_3
7.	Серебро		Ag(CN)_2^-	$\text{Na(Ag(CN)}_2)$	$\text{Na(Ag(CN)}_2)$
8.	Сурьма		Sb(OH)_6^-	$\text{Na(Sb(OH)}_6)$	$\text{Na(Sb(OH)}_6)$
9.	Церий	Ce^{3+}			Ce^{3+}
10.	Европий	Eu^{3+}			Eu^{3+}
11.	Золото		Au(CN)_2^-	$\text{Na(Au(CN)}_2)$	Au(CN)_2^- ; $\text{Na[Au(CN)}_2]$

Для оценки миграции элементов в подземных водах в районе хвостохранилища изучили анионную, катионную, нейтральную и коллоидную формы нахождения элементов.

Из результатов проведенных исследований, приведенных в таблице 2.7, видно, что преимущественно в катионной форме находится Fe, Ce, Eu, в анион - катионной форме - Cr, анион - нейтральной форме - Cr, Se, Ag, Sb, Au катион - нейтральной форме Sc, Cr, Co, Zn.

Исследование форм нахождения элементов позволили сделать заключению о том, что золото, сурьма, хром могут служить индикаторами-мигрантами при изучении техногенного влияния хвостохранилища ГМЗ-2 на

окружающую среду.

Выводы по главе 2

В этой главе дано описание техники эксперимента, объектов и методов исследования, а также рассмотрены вопросы разработки и применение различных ЯФМА для решения разнопрофильных технологических задач. Резюмируя выполненных работ, можно сделать следующие выводы:

1. Определены концентрации ЕРН - продуктов распада урана и тория, а именно, ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , а также ^{40}K в почвах хвостохранилища ГМЗ-1 и наблюдательных зонах, на территории уранодобывающих подразделений НГМК радиометрическим методом.

2. Дано описание эманационной методики определения содержания радия в сточных и подземных водах на приборе «Камера».

3. Исследован процесс отбора представительной навески смолы для НАА и пробирного анализов. Найдено, что вес представительной пробы воздушно-сухой смолы должен быть не менее 5-6 г, для определения концентрации золота в интервале содержаний 0,008-10г/кг в набухшей (отрегенизированной или насыщенной) смоле.

4. Показана возможность разработки методики экспрессного определения золота с применением ^{252}Cf - источника и процесса не упругого рассеяния нейтронов – $^{197}\text{Au}(n,n'\gamma)^{197\text{m}}\text{Au}$. Методика позволяет анализировать образцы непосредственно в производственной лаборатории и достигать порог определения золота 0,4 г/кг при навеске 250 г, 0,8 г/кг при навеске 70 г в смолах. Время анализа составляет не более 5 минут на образец. Методика, основанная на применении ^{252}Cf - источника нейтронов использована:

-для оперативного определения содержания золота в промежуточных технологических продуктах;

-для контроля процесса утилизации золотосодержащей МФ с одновременным получением золота, сернокислого железа и металлического лома.

5. Исследовано пространственное распределение 25 элементов в 580 пробах почв, отобранных из территории 1000 кв. км в районе деятельности ГМЗ-2.

6. Разработана методика определения форм нахождения элементов в подземных и сточных водах с использованием ядерных фильтров (диаметрами пор 0,16 - 0,20 мкм) в процессе электродиализа в сочетании с методом «меченных атомов». Найдено, что преимущественно в катионной форме находится Fe, Ce, Eu, в анион - катионной форме - Cr, в анион - нейтральной форме - Cr, Se, Ag, Sb, Au и в катион - нейтральной форме Sc, Cr, Co, Zn.

ГЛАВА 3. ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УРАНА В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ И ПРОДУКТАХ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

§ 3.1 Методика определения содержания и активности урана методом спектрометрии альфа - излучения

Методика основана на измерении активности урана по альфа-излучению изотопов. Предварительная подготовка проб включает в себя перевод исследуемой пробы в раствор и приготовление счетного образца (препарат на подложке из коррозионно-стойкой нержавеющей стали) электролитическим способом. Изотопы ^{238}U , ^{235}U и ^{234}U в процессе подготовки проб к измерению ведут себя одинаково и выделяются одновременно. Для повышения точности определения содержания урана целесообразно проводить радиохимическое концентрирование урана.

3.1.1. Радиохимическое концентрирование урана

Навеску закиси-окиси урана U_3O_8 массой 100 мг помещали в стакан вместимостью 50-100 см^3 и вливали туда 5 мл концентрированной азотной кислоты. Стакан закрывали часовым стеклом и нагревали до полного растворения пробы.

Полученный раствор кипятили в течение 5 минут, прибавляли 50 мл дистиллированной воды, закрывали часовым стеклом и снова нагревали до кипения. После охлаждения раствор переносили в мерную колбу вместимостью 100 мл. Стакан промывали 2-3 раза 5 мл дистиллированной водой, собирали промывные воды в мерную колбу. Затем добавляли дистиллированную воду до метки, закрывали пробкой и хорошо перемешивали. Аликвоту раствора объемом 0,5 мл выпаривали досуха на водяной бане. После этого к сухому остатку приливали 5 мл 1-% раствора трилона Б, закрывали стакан часовым стеклом и нагревали до кипения. К раствору, содержащему изотопы урана, прибавляли 1 мл 25-% раствора хлористого аммония, 2 мл насыщенного раствора щавелевокислого аммония,

2 капли HNO_3 (1:4) и переводили в электролизер. стакан обмывали 10 мл дистиллированной водой, и содержимое прибавляли к основному раствору в электролитическую ячейку. Проверяли рН с помощью универсальной индикаторной бумаги - если рН меньше 5, то добавляли по каплям аммиак до рН=5-7. Электроосаждение изотопов урана проводили на установке, показанной на рис 3.1.



Рис. 3.1. Схема электролитической установки для осаждения изотопов урана

Осаждение осуществляли на подложку (диск из нержавеющей стали) диаметром 34 мм в течение 15 минут при постоянном токе 2 А. Диск непосредственно перед использованием очищали мелкой наждачной бумагой и протирали ацетоном или спиртом. Расстояние между анодом и катодом равно 10 мм.

Непосредственно перед окончанием электролиза прибавляли аммиак до рН=7. затем отключали ток и разбирали ячейку. Диск обмывали ДВ, сушили на воздухе и тщательно протирали ватой, смоченной спиртом. Полученный препарат (счетный образец) устанавливали на альфа-спектрометре для измерения активности.

Повторное использование дисков возможно после проведения следующих процедур. Диски кипятили в течение 1 часа в 0,5М HNO_3 ,

промывали проточной водой, очищали с двух сторон содой (Na_2CO_3) и снова промывали водой. Скорость счета альфа частиц не должна превышать фоновых значений (1-2 имп/ч), в противном случае обработку (очистку) нужно повторять.

В результате радиохимической обработки проб получали препараты урана в радиохимически чистом виде для определения изотопов состава урана.

3.1.2 Анализ проб с применением альфа - спектрометрии

Сущность метода заключается в измерении альфа - спектра счетного образца, содержащего изотопы урана, подготовленного способом, изложенным в п.3.1.1.

Импульсы радиоактивного излучения препарата вылетают в результате радиоактивного распада с испусканием альфа-частиц строго определенных энергий, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Основные характеристики изотопов урана

U	$T_{1/2}$	$\theta, \%$	$E_\alpha, \text{кэВ}, I_\alpha (\%)$
^{238}U	$4,468 \times 10^9$ лет	$99,2745 \pm 0,006$	4195 (0,77); 4150 (0,23); 4035 (0,0008)
^{234}U	$2,445 \times 10^5$ лет	$0,0055 \pm 0,0005$	4770 (0,72); 4720 (0,28); 4603 (0,002)
^{235}U	$7,038 \times 10^8$ лет	$0,7200 \pm 0,0012$	4400 (0,55); 4365 (0,18); 4214 (0,06); 4596 (0,05); 4556 (0,04); 4414 (0,02); 4502 (0,02); 4219 (0,009); 4150 (0,009)

Изотопы урана идентифицировали по энергиям и по интенсивности излучения, а по числу зарегистрированных импульсов (активностей в исследуемой пробе) определял их изотопное отношение.

Для проведения альфа-спектрометрии использовали стандартный альфа-спектрометр с полупроводниковым PIPS-детектором α -ANALYST («CANBERRA», США). После прогрева и стабилизации режимов аппаратуры

определили значения основных характеристик спектрометра с помощью контрольного спектрометрического источника - контрольный спектрометрический источник с аттестованной активностью альфа-излучающих РН в диапазоне энергий 4 - 6 МэВ, погрешность аттестации не хуже 3 % при (P=0,95).

Альфа-спектрометр α -ANALYST («CANBERRA», США) имеет следующие технические и аналитические параметры:

- фон в энергетическом диапазоне 4 - 6 МэВ - не более 10 имп/ч;
- эффективность регистрации альфа - излучения (по ^{210}Po , линия 5305 кэВ) - не менее 30%;
- энергетическое разрешение по линии 5305 кэВ - не хуже 30 кэВ.

Время измерения должно обеспечивать набор не менее $2 \cdot 10^3$ импульсов в площади каждого из пиков.

Для достижения заданной статистической погрешности 1,5% набор отсчетов в каждом из аналитических пиков ^{234}U и ^{238}U должен составлять не менее $3,5 \cdot 10^4$.

При проведении исследований и разработок были использованы следующие стандарты и контрольные образцы: ГСОН №2681-89 (закись-окись урана) и «ИКС №2-Ро» - контрольный спектрометрический источник $^{242,239+240,238}\text{Pu}$.

На рисунке 3.2 приведен характерный альфа-спектр окиси урана. Результатом измерения является отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и относительное массовое содержание ^{234}U (кг/г) в пробе закиси-окиси урана с учетом неопределенности измерений.

Отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в исследуемых пробах составляет:

$$\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}} = \frac{S_{U-234}}{S_{U-238}} \quad (3.1)$$

где S_{U-234} - площадь пика ^{234}U на канале - 200 (соответствующей энергии - 200 ± 20 кэВ);

S_{U-238} – площадь пика ^{238}U на канале - 180 (соответствующей энергии - 200 ± 20 кэВ).

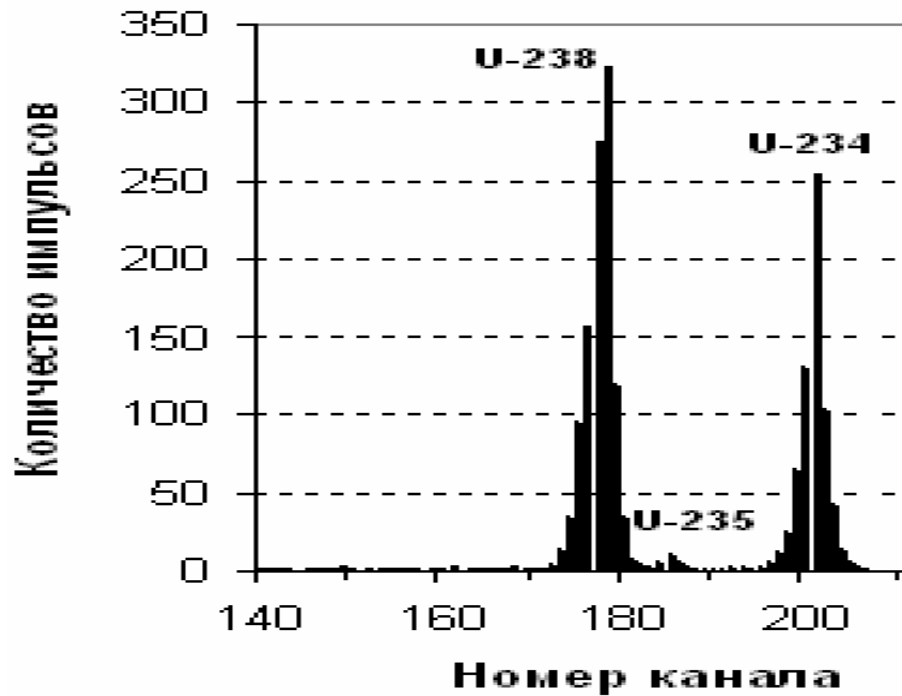


Рис. 3.2. Альфа - спектр закиси-оксида урана (время измерения – 3 часа)

Массовое содержание ^{234}U -(мкг/г природного урана) в исследуемой пробе составляет:

$$M_{U-234} = K * \frac{S_{U-234}}{S_{U-238}} \quad (3.2)$$

где K -пересчетный коэффициент, равный 53,41 (мкг/г природного урана).

Массовое содержание - ^{234}U представляют, как

$$M_{U-234} \pm \Delta_M \quad (3.3)$$

где Δ_M - суммарная (абсолютная) неопределенность результата измерений, получаемая согласно формуле:

$$\Delta_M = 53,4 \frac{S_{U-234}}{S_{U-238}} \cdot \delta_M \quad (3.4)$$

где δ_M - суммарная относительная неопределенность

$$\delta_M = \sqrt{(\delta_{U-234})^2 + (\delta_{U-238})^2 + (\delta_{sys})^2} \quad (3.5)$$

где δ_{U-234} , δ_{U-238} - статистические погрешности измерения площадей соответствующих пиков изотопов урана; $\delta_{sys}=0,003$ - погрешность определения коэффициента - K .

Так как современные альфа-спектрометры с PIPS-детекторами характеризуются очень низким и стабильным фоном (единичные импульсы за 1 час набора в аналитических областях спектра), и в большинстве случаев при измерениях скорость счета от образца намного превышает скорости счета фона (в 10^2 - 10^3 и более раз), то δ_{U-234} , δ_{U-238} определяются как:

$$\delta_{U-234} = \frac{2\sqrt{S_{U-234}}}{S_{U-234}}, \quad \delta_{U-238} = \frac{2\sqrt{S_{U-238}}}{S_{U-238}} \quad (3.6)$$

Относительная статистическая неопределенность δ_{st} -результата измерения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ рассчитывается по формуле:

$$\delta_{st} = \sqrt{(\delta_{U-234})^2 + (\delta_{U-238})^2} \quad (3.7)$$

В нашем случае суммарная неопределенность Δ_M - результатов измерений составляет не более $\pm 2,5\%$. Относительная статистическая неопределенность результатов измерений δ_{st} составляет не более $\pm 2,0\%$.

§ 3.2 Изотопный анализ урана в природных водах

Как известно, для оценки воздействия излучений радиоактивных веществ на здоровье населения требуется систематический контроль РН в окружающей среде (атмосферном воздухе, водоемах и почвах и т.д.). Поскольку производство урана связано с переработкой радиоактивных материалов, это является наиболее важным и определяющим фактором.

В рудах содержится более 40 РН, 12 химических элементов. С точки зрения охраны окружающей среды в урановых рудах представляют интерес в основном 6 долгоживущие изотопы ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{222}Rn и

четыре короткоживущие изотопы урановой цепочки. РН ряда актиноурана - (^{235}U) вследствие их небольшого содержания (0,71%) в радиоактивных рудах не представляют интерес.

Характеристики и определенные концентрации РН рядов урана, актиноурана и тория в природных водах показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Концентрации и активности радиоизотопов в природных водах

Радиоизотоп	Удельная активность, Бк/г	Определенные концентрации, мг/л
^{238}U	$1,24 \times 10^4$	1,70
^{235}U	$7,92 \times 10^4$	-
^{234}U	$2,30 \times 10^8$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
Смесь $^{238+235+234}\text{U}$	$2,51 \times 10^4$	1,72
^{232}Th	$4,11 \times 10^3$	-
^{230}Th	$6,92 \times 10^8$	-
^{228}Th	$3,07 \times 10^{13}$	-
^{228}Th	$8,22 \times 10^3$	0,12
^{228}Ra	$8,69 \times 10^{12}$	-
^{226}Ra	$3,7 \times 10^{10}$	$0,042 \cdot 10^{-7}$

Для определения изотопного состава урана в природных водах брали пробу профильтрованной воды объемом 250-500 мл, которую выпаривали в фарфоровой чашке до постоянной массы. Выпаривание вели в водяной бане с дистиллированной водой. Затем чашку с сухим остатком помещали в термостат при 110 °С и сушили до постоянной массы. Сухой остаток (x) в мг/л вычисляли по формуле:

$$x = \frac{(m - m_1) \times 1000}{V} \quad (3.8)$$

где m – масса чашки с сухим остатком, мг; m_1 – масса пустой чашки, мг; V – объем воды, взятый для определения, мл.

Предварительная оценка допустимости использования воды для

питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа (A_α) - и бета (A_β) - активности, которая не должна превышать 0,2 и 2,0 Бк/л, соответственно.

Пробы, отбирали ежеквартально 2006-2015 годах из наблюдательных точек, расположенных на соответствующих промышленных площадках НГМК и прилегающих территориях населенных пунктов - в городах Навои, Учкудук, Зарафшан, Зафарабад, Кетменчи, Нурабад. Пробы анализировали с использованием радиохимической подготовки на малофонном приборе УМФ-2000. Основные его преимущества заключается в следующем:

- возможность одновременного измерения и альфа и бета- излучения счѐтного образца:

- низкий фон (0,001 имп/с и менее по альфа-каналу, 0,03 имп/с по бета-каналу) и высокая эффективность регистрации (до 90-95% по альфа-излучению Pu-239, до 70-80% по бета-излучению Sr-90+Y-90)

- высокая эффективность регистрации мягкого (до 100 кэВ) бета-излучения:

- отсутствие мешающего воздействия радона, выделяемого пробой.

Нами получены следующие результаты:

- в пробах г. Навои, Учкудук, Зарафшан, Зафарабад, Кетменчи и Нурабад удельная суммарная альфа (A_α) - активность колеблется от 0,11 Бк/кг до 0,19 Бк/кг а бета (A_β) - активность колеблется от 0,16 Бк/кг до 1,74 Бк/кг, т.е. не превышает значений 0,2 и 2,0 Бк/кг для альфа и бета - активности по, установленных по нормам НРБ, соответственно.

Кроме вышеприведенных наблюдательных населенных пунктов ежемесячно оценивали уровень радиоактивности в питьевой воде реки Зарафшан, подаваемой для населения г.Навои. Полученные результаты показывают, что удельная суммарная альфа (A_α) - активность колеблется от в пределах 0,11 - 0,20 Бк/кг, а бета (A_β) - активность 0,23 - 1,92 Бк/кг, что удовлетворяют требованиям НРБ, то есть не превышает норм по удельной

суммарной альфа и бета - активности.

Проведение изотопного анализа показывает, что из изотопов - ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra и ^{210}Po только активность изотопа - ^{234}U превышает установленную норму (5,8 Бк/л - УВ) в единичных случаях, что объясняется возможным нарушением радиоактивного равновесия между изотопами урана. Это объясняется тем, что регион является ураноносным и изотоп - ^{234}U имеет большой миграционный коэффициент.

§ 3.3 Анализ изотопного состава урана в химконцентраатах

Радиохимическая подготовка образцов химконцентратов для альфа - спектрометрического анализа немного отличается от радиохимической методики подготовки проб для изотопного анализа.

Аликвоту пробы химконцентрата ПВ, содержащую приблизительно 100 мг урана, помещали в стакан, прибавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и 1 мл перекиси водорода, закрывали часовым стеклом и кипятили до разложения перекиси водорода. Обработку перекисью повторяли до полного осветления раствора. Прозрачный раствор переводили в мерную колбу вместимостью 100 мл, доводили до метки дистиллированной водой, закрывали пробкой и раствор хорошо перемешивали.

Аликвоту раствора $0,5\text{ см}^3$ выпаривали досуха на водяной бане. Сухой остаток растворяли в 5 мл 1-% раствор трилона Б. К раствору, содержащему изотопы урана, прибавляли 1 мл 25-% раствор хлористого аммония, 2 мл насыщенного раствора щавелевокислого аммония, 2 капли HNO_3 (1:4) и переводили в электролизер. С помощью универсальной индикаторной бумаги проверяли рН, и если рН меньше 5, то добавляли аммиак по каплям до достижения рН=5-7. стакан обмывали 10 мл дистиллированной водой и содержимое прибавляли к основному раствору в электролитическую ячейку.

Результаты определения средней концентрации ^{234}U (мг/г) в химконцентраатах, отобранных по кварталам в течение 2010 года, приведены в таблице 3.3. Графики зависимости отн. коэффициентов радиоактивного

равновесия между изотопами урана приводиться на рис.3.3.

Таблица 3.3

Результаты определения средней концентрации - ^{234}U в химконцентрахах (мг/г) в течение 2016 года.

Место отбора	I Квартал	II Квартал	III Квартал	IV Квартал
P-3	50,1	49,9	50,8	48,5
P-2	50,4	49,5	51,1	49,4
P-1	51,1	49,3	47,1	50,1
Сй	53,1	51,7	51,9	53,0
Ки	57,8	56,7	56,2	56,0
К	69,9	67,5	73,1	68,7

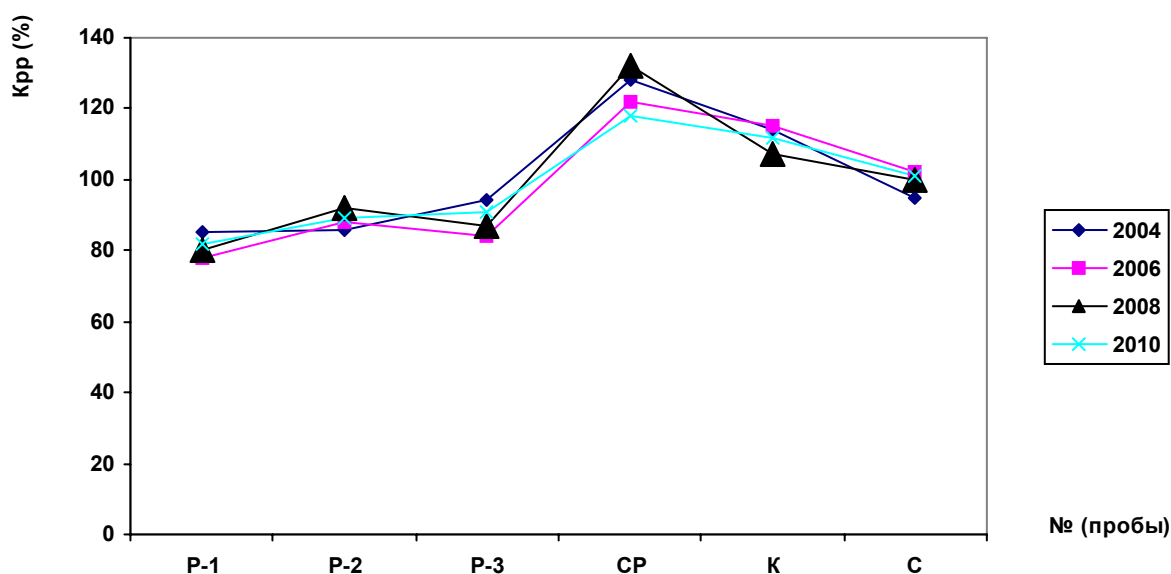


Рис. 3.3. Коэффициент радиоактивного равновесия между изотопами урана в химических концентратах, отобранных в течение 2006-2016 годах

Получены графические зависимости относительных коэффициентов радиоактивного равновесия между изотопами урана в химконцентрахах, полученные из продуктивных растворов шести месторождений - из трех участков месторождения P-5: - (P-1, P-2, P-3), среднесмещенная проба из месторождения – CP, из двух участков (Ки и Сй) месторождения ЮР –

отобранных в течении 2006-2016 годов (см. рис.- 3.3) Р-1, Р-2, Р-3 - кислотное выщелачивание, СР - гипохлоридное и миниреагентное выщелачивания, Ки - миниреагентное и кислотное выщелачивание).

Видно, что значение относительных коэффициентов радиоактивного равновесия между изотопами урана для каждого месторождения различается между собой не более 10 %.

§ 3.4 Анализ изотопного состава урана в товарной продукции

После того, как были выбраны оптимальные варианты приготовления счетных образцов и условия измерений, мы провели испытание методики путём анализа реальных образцов, полученных из производственных цехов. Для этого выполнили анализы проб химконцентратов ПВ НГМК. Результаты анализов, полученных по методике, изложенной в пп. 3.1 и 3.2, представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Концентрация ^{234}U в различных химконцентратах НГМК

Место отбора	Количество импульсов, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	Концентрация- ^{234}U , (мкг/г)
Р-1	10211/12049	$45,3 \pm 1,4$
Р-2	14555/16357	$47,5 \pm 1,1$
Р-3	12924/13639	$50,6 \pm 1,2$
Ки	13308/12426	$57,2 \pm 1,2$
Сй	14931/15242	$52,3 \pm 1,1$
К	12718/10002	$69,9 \pm 1,3$

Как вычислялось по формуле 3.9, равновесное содержание ^{234}U составляет 53,41 мкг/г. И видно из таблиц 3.3 и 3.4, что концентрация - ^{234}U в пробах Р-5 находится в интервале 45,2 - 51,5 мкг/г, что ниже его равновесного содержания. В химических концентратах - Сй мы определили,

что его содержание находится на уровне 50,0 - 53,5 мкг/г, что соответствует уровню равновесного содержания. А в концентратах участка – Ки концентрация ^{234}U находится в пределах - 55,0 - 58,0 мкг/г, что немного выше его равновесного содержания. Аномальное содержание наблюдается и в химконцентратах СР - 67,0 - 70,0 мкг/г.

Полученные результаты показали, что использование альфа - спектрометрического метода с радиохимической подготовкой образцов к анализу позволяет определять изотопный состав урана и относительное содержание ^{234}U в пробах химконцентратов ПВ и закиси-оксида урана с суммарной неопределенностью результата не более 2,5% при доверительной вероятности $P=95\%$.

Данные таблиц свидетельствуют о сходимости значений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ по всем циклам анализа имеющихся проб, достаточной точности определения, а также дают представление о длительности измерений, которые требуются для достижения заданной погрешности.

Определение соотношения концентрата природного урана спецификации С787 предполагает, что процент относительного содержания ^{234}U (мкг/г природного урана) соответствует природному соотношению. При таких расчетах нами использовались данные, представленные в таблице.3.1. Принято, что соотношение активностей изотопов урана $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ в природном уране является постоянным и с учетом массовых долей составляет $0,0468 \pm 0,0002$. В 1г природного урана активность ^{238}U с учетом его массовой доли в смеси изотопов урана составит (Бк/г природного урана):

$$A_{U-238} = \frac{0,992745 * \ln 2 * 6,022136 * 10^{23}}{T_{U-238} * 238} = 1,2347 * 10^4 \text{ Бк} \quad (3.8)$$

где 0,992745-относительная массовая доля изотопа ^{238}U , г;

$6,022136 * 10^{23}$ -постоянная Авогадро;

T_{U-238} -период полураспада ^{238}U , с;

^{238}U -атомная масса - ^{238}U .

Такую же активность в 1г природного равновесного урана имеет ^{234}U , что соответствует его массе (г)

$$M_{U-234} = \frac{1,2347 * 10^4 * T_{U-234} * 234}{\ln 2 * 6,02213 * 10^{23}} = 53,41 * 10^{-6} \text{ г} \quad (3.9)$$

где T_{U-234} – период полураспада ^{234}U , с; 234-атомная масса ^{234}U в исследуемых образцах природного урана будет составлять (мкг/г природного урана):

$$M_{U-234} = \left[\frac{A_{U-234}}{A_{U-238}} \right] * K \quad (3.10)$$

где A_{U-234} - измеренная активность - ^{234}U (Бк);

A_{U-238} - измеренная активность - ^{238}U (Бк);

K - пересчетный коэффициент равный 53,41 (мкг/г природного урана).

Погрешность определения коэффициента $K=53,41$ составляет примерно 0,3% ($P=0,95$), что обусловлено в основном неточностью определения периодов полураспада ^{238}U и ^{234}U . В нашем случае массовое содержания - ^{234}U (мкг/г природного урана) равно:

$$M_{U-234} = 53,41 * \left[\frac{S_{u-234}}{S_{u-238}} \right] \quad (3.11)$$

В связи с различными значениями содержания - ^{234}U в промпродуктах, поставляемых зарубеж, следовало привести изотопный состав в соответствие с международными требованиями. С целью получения готовой продукции урана с предельной удельной активностью, соответствующей требованиям нормативных документов, проводили работы по шихтовке химконцентратов.

Нами был проведен цикл целенаправленных работ по изучению механизма нарушения радиоактивного равновесия в технологических

продуктах в зависимости от геохимических особенностей месторождений, характера технологических процессов добычи и концентрирования урана.

Для определения достоверности результатов анализа с использованием альфа - спектрометрического метода их сравнивали с данными масс-спектрометрического (МС) анализа. Проводили анализы международных (NBSU010St США) и Российских стандартных образцов (КОУ-нитрата уранила, соли природного равновесного урана, изготовленной в ФГУП ВИМС), приведенных в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Результаты анализа изотопного состава урана, полученные альфа-спектрометрическими и масс-спектрометрическим методами (МС)

Стандарты	Альфа – спектрометры					МС “Самеса”	
	“Ortec”	“Analyst”		“Прогресс-Альфа”			
NBSU010St	52,5 ± 1,1	-	-	-	-	54 ± 2	+2,8
КОУ	53,5 ± 0,8	-	-	-	-	55 ± 2	-2,8
К-449(62Н)	43,3 ± 0,6	43,0 ± 1,0	- 0,7	43,1 ± 1,1	- 0,47	-	-
К-451(63Н)	48,8 ± 0,6	48,4 ± 1,0	- 0,8	49,8 ± 1,0	+ 2,1	-	-
К-348(73Н)	49,1 ± 0,6	48,9 ± 1,0	- 0,4	51,0 ± 0,9	+ 3,8	49,6± 2	+1,0
Р-450(71Н)	49,9 ± 0,7	50,4 ± 1,1	+ 1,0	51,4 ± 1,1	+ 3,1	-	-
К-444(75Н)	50,0 ± 0,7	51,3 ± 1,2	+ 2,6	52,0 ± 1,1	+4,0	48,7± 2	- 2,6
К-444 (3 Н)	51,4 ± 0,7	51,1 ± 1,0	- 0,6	51,77 ± 1,1	+ 0,7	-	-
К-447(72Н)	51,4 ± 0,7	52,1 ± 1,2	+ 1,2	52,6 ± 1,1	+ 2,4	-	-
Р-436(12Н)	56,0 ± 0,7	56,6 ± 1,1	+ 1,1	56,69 ± 1,2	+ 1,2	-	-
К-445(68Н)	57,0 ± 0,7	56,9 ± 1,0	- 0,2	57,16 ± 1,1	+ 0,28	-	-
Р-436(69Н)	58,9 ± 0,8	57,8 ± 1,1	- 1,9	55,9 ± 1,4	- 5,1	-	-
Р-438(70Н)	66,1 ± 0,8	67,4 ± 1,2	+ 2,0	68,4± 1,3	+ 3,5	-	-
К-446(74Н)	66,6 ± 0,8	66,5 ± 1,1	+ 0,8	67,22 ± 1,1	+0,93	-	-
Средняя			1,1		2,3		2,3

Сопоставление результатов анализа изотопного состава урана в закиси-оксида урана альфа-спектрометрическим (с радиохимической подготовкой) и масс-спектрометрическим изотопными методами приведено в таблице 3.5. Видно, что расхождения между результатами анализа незначительные, что допустимо при определении изотопного состава альфа-спектрометрическим методом.

Для получения товарного продукта урана, соответствующего требованиям потребителя по содержанию ^{234}U , равного или менее - 56,5 мкг/г, проводили шихтовку химконцентратов рудоуправлений Р-5, СР с химконцентратами ЮР в необходимых пропорциях. Измерение содержания ^{234}U в товарной продукции комбината проводилось в течение 2006-2016 годов. Результаты приведены на рисунке 3.5.

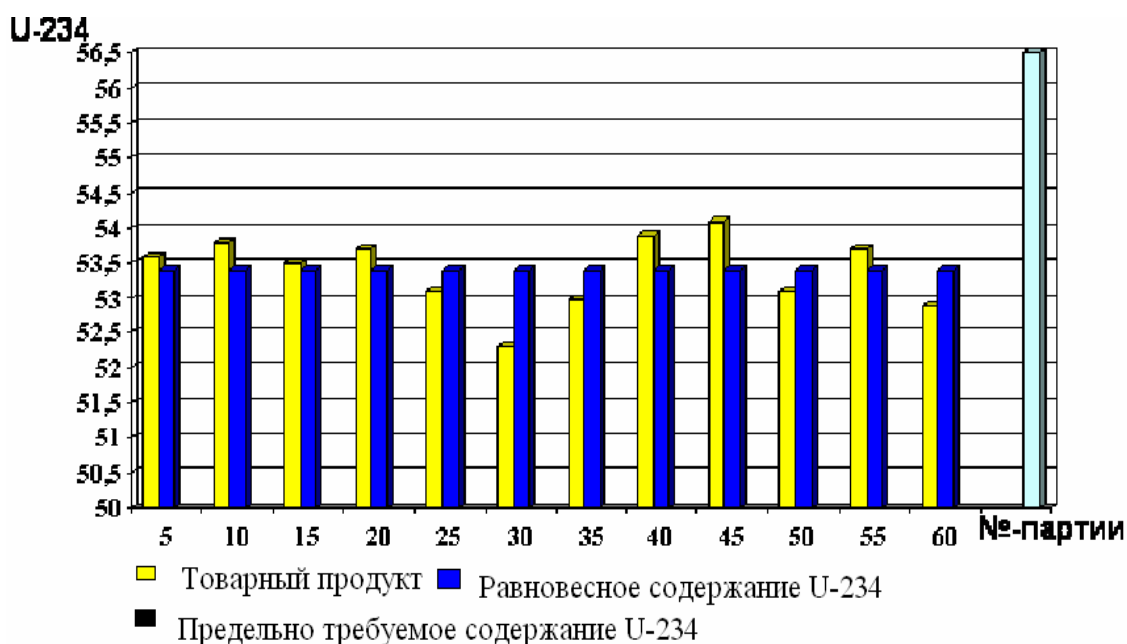


Рис. 3.5. Изменение концентрации - ^{234}U в товарной продукции урана в течение 2006-2016 годов

Видно, что методом шихтовки получали товарный продукт с концентрацией ^{234}U ниже порогового, т.е. требуемого значения.

§ 3.5 Исследование механизма нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана

Как изложено выше, зная соотношение активности изотопов $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ можно определить относительное содержание ^{234}U в мкг/г в естественном уране. С использованием формул 3.8-3.11 и данных таблицы 3.1 можно найти концентрацию ^{234}U при радиоактивном равновесном состоянии.

Степень смещения радиоактивного равновесия между изотопами урана выражается в % и определяется соотношением:

$$K_{pp} = \frac{\alpha}{\alpha_0} * 100\% \quad (3.12)$$

где α - отношение ^{234}U к ^{238}U в исследуемом образце, а α_0 - равновесное соотношение между изотопами урана (53,41 мкг/г)

Среднемесячную пробу объёмом (3,0-3,5л) формировали путем ежедневного отбора по 100 мл химконцентратов, поступающих из ПВ участков НГМК.

Как показывают экспериментальные данные, концентрация изотопа ^{234}U на различных месторождениях различаются. Расстояние между месторождениями, где добывает уран составляет от 30 до 400 км. Месторождения имеют различные геохимические особенности. Несмотря на разницу в расстояниях, в отобранных химконцентратах концентрация ^{234}U в Р-1,2,3 Р-5 почти одинаковы (от 48 мкг/г до 50 мкг/г), а в химконцентратах Сй и Ки также не отмечаются существенные различия (от 51 до 56 мкг/г). В продуктивных растворах участков СР, где осуществляется миниреагентная и гипохлоридная технологии выщелачивания, наблюдается нарушение коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана, и концентрация изотопа ^{234}U достигает значений до 70 мкг/г.

Для объяснения этого явления нами исследованы влияния следующих факторов:

-особенности ядерных превращений изотопов урана и их

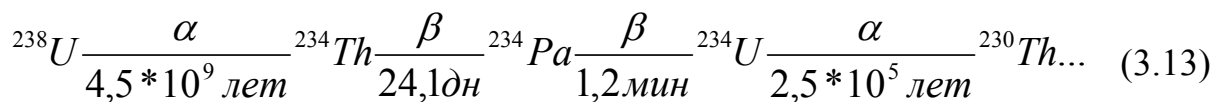
фракционирования;

-геохимии урановых минералов, особенности образования вмещающих пород и возраста минералов;

-особенности растворения минералов в различных условиях - кислотного, миниреагентного и гипохлоридного выщелачивания.

Первоначально изучали ядерные процессы, происходящие на ядрах урана и их связи с геохимическими процессами - миграцией, сорбцией, изотопным обменом, выщелачиванием и временем перераспределения изотопов урана в рудах.

Как известно, схема распада ^{238}U представляется как:



При вылете альфа - частицы из ядра, оно испытывает отдачу с энергией,

$$E_{U-234} = \frac{M_{\alpha}}{M_{U-234}} * E_{\alpha} \quad (3.14)$$

где M_{α} - атомная масса α -частицы: M_{U-234} – атомная масса изотопа ^{234}U : E_{α} - энергия α - частицы ^{234}U , при вылете которой приобретает кинетическую энергию $\sim 0,1\text{МэВ}$.

Энергия отдачи достаточна для нарушения связи дочернего ядра с материнским в кристаллической решетке и преодоление поля энергетической связи. Изотоп ^{238}U остается в узлах кристаллических решетках, а изотоп ^{234}U , покидая кристаллические решетки, будет находиться в межузловых промежутках кристалла и легко попадает в поры, трещины и другие нарушения кристалла. Этим же процессом объясняется обогащение изотопом ^{234}U поровых вод около урановых рудников. Поэтому изотоп ^{234}U в геохимическом отношении оказывается более подвижным по сравнению с материнским изотопом ^{238}U . Другими словами, энергия α -частиц ^{234}U , равная

4770 кэВ, больше чем энергия α -частиц ^{238}U , которая равна 4195 кэВ.

Проведенные исследования и полученные данные показывают, что, уран в месторождениях (более 90% из общего количества урана) находится в основном в виде окиси минералов (настуран, уранинит), а 10-15% урана встречается в виде силиката (коффинит, надкевит), остальная же часть в виде сложных минералов (браннерит, давидит, титанит и фосфаты).

В таб. 3.6. приведены зависимости концентрации изотопа ^{234}U от режима технологии выщелачивания, рН среды, от общей концентрации урана в продуктивных концентратах и от общей концентрации урана в химконцентратах различных месторождений.

При бикарбонатном, миниреагентном и гипохлоритном выщелачивании урана разрушаются только более молодые минералы урана (коффинит, надкевит) с повышенным содержанием изотопа - ^{234}U . Учитывая, что его концентрация в руде составляет не более 10%, содержание урана в продуктивных растворах находится в интервале 1-2 мг/л, а в химконцентратах 10-30 мг/л. При этом содержание ^{234}U в химконцентратах доходит до 70 мкг/г.

Таблица 3.6

Зависимость между концентрацией ^{234}U и других физико-химических параметров технологии выщелачивания

Технология выщелачивания	рН	$C_{\text{Уобщ}}$ в прод. растворах г/л	$C_{\text{Уобщ}}$ в хим. конц-рах г/л.	$C^{234}\text{U}$ урана, мкг/г.
Миниреагентный	5,74	0,036	39	65,5±1,4
Миниреагентный	6,10	0,026	34	68,4±1,2
Бикорбанатный	6,95	0,010	21	69,5±1,3
Миниреагентный	6,31	0,009	22	68,9±1,4
Миниреагентный	6,80	0,010	12	69,3±1,4

При кислотном выщелачивании растворяются все (ранние и более поздние образование) минералы, содержащие все изотопы урана - ^{234}U , ^{235}U и

^{238}U в радиоактивно-равновесных количествах. Содержание общего урана в продуктивных растворах составляет 100-150 мг/л. Если учесть, что количество минералов более раннего образования составляет более 90%, то в продуктивных растворах и химконцентратах ^{234}U находится в равновесном количестве (53,41 мкг/г).

Выводы по главе 3

Таким образом, в этой главе дано описание разработанной автором альфа - спектрометрической методики определения изотопов урана и применения для анализа разнообразных образцов, полученных в связи с производством экспортной продукции, отвечающей всем требованиям по качеству. По результатам исследований и разработок можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика радиохимической очистки урана от сопутствующих радиоактивных изотопов и приготовления так называемого «счетного образца». Методика позволяет проводить идентификацию изотопов урана по их излучению и определять малые концентрации ^{234}U в природных водах различного происхождения, в продуктивных растворах и химконцентратах урана.

2. Изотоп урана ^{234}U , образующийся в результате альфа - распада, в валовом природном уране находится в равновесном количестве 0,0053% (аллогенный фактор). Однако, он в молодых минералах дополнительно образуется за счет неравновесного радиоактивного распада изотопа ^{238}U (аутогенный). При появлении в образце аутогенного процесса доля изотопа ^{234}U увеличивается, что приводит к изменению изотопного отношения - $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

3. Разработанная методика применена для определения содержания ^{234}U в химконцентратах различных участков с различными режимами технологий ПВ, и по полученным результатам найден механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана. Оно происходит:

-при бикарбонатном, минереагентном, гипохлоритном выщелачивании уран переходит в раствор, за счет как более поздно образованных минералов (коффинит, надкевит, браннерит, давидит, титанит и фосфаты), где наблюдается повышенное содержание ^{234}U , так и за счет минералов, где ^{234}U находится в равновесии с ^{238}U ;

-при кислотном выщелачивании, сохраняется радиоактивное равновесие между изотопами урана так как кроме «молодых минералов» растворяются и минералы более раннего образования (настуран, уранинит), где в основном содержится более 90% всех изотопов урана.

4. Предложен метод для подготовки кондиционной экспортной продукции путём шихтования продукции, полученной из равновесных и не равновесных минерализованных руд. Предложение принято на НГМК к внедрению и в настоящее время используется. Полученные результаты показывают, что концентрация ^{234}U в течении 2006-2016гг. колебалась в пределах 51-53 мкг/г со среднеквадратичной ошибкой не более $\pm 1,5\%$. Это соответствует требованиям, предъявляемым к максимальной концентрации изотопа ^{234}U в готовой продукции урана (56,5 мкг/г) и к получению товарной продукции с регламентируемой удельной активностью 0,68 мКи/кг или 25,2 МБк/кг.

ГЛАВА 4. ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА

§ 4.1 Распределение радия в технологической цепочке в производстве урана и его радиэкологическое влияние

При развитии метода сернокислотного ПВ урана поведение радия в технологической цепочке изучалось недостаточно. Считалось, что при выщелачивании урановых руд радий переходит в раствор, его миграция мало вероятна, так как при избытке в растворе сульфат - ионов и ионов кальция будут происходить процессы сокристаллизации и соосаждения радия с сульфатом кальция (гипсом).

На начальном этапе изучения бикарбонатного метода ПВ урана изучение поведения радия не представляло интерес, так как предполагалось, что в виду его малой реакционной способности перевести радий в раствор нельзя. Еще труднее удержать радий в растворе из-за его подвижного состояния.

Однако, измерение радиоактивности различных продуктов, выполненных на участке ПВ, показали, что кристаллы карбоната кальция, отлагающиеся в трубопроводах, имеют значительную активность. Это и послужило одной из основных причин привлечения нашего внимания к поведению радия при проведении ПВ урана, в том числе бикарбонатного выщелачивания.

4.1.1 Методика исследования поведения радия

Принимая во внимание последовательности технологических операций, для определения содержания радия и урана по разработанной

- методике, прежде всего, проводили отбор: жидких и твердых проб, а именно,
- продуктивных и «хвостовых» растворов из отдельных откачных скважин;
 - подземных вод из наблюдательных скважин;
 - пластовых вод вокруг участков полигонов ПВ;
 - из насыщенной и отрегенированной смолы;
 - донных отложений и илов технологических карт-отстойников.

Для увеличения достоверности результатов анализировали пробы из нескольких участках ПВ различных месторождений, работающих бикарбонатном, кислотном и гипохлоридном режимах выщелачивания.

Анализировали отобранные жидкие и твердые пробы (см.табл.4.1). Количественное определение ^{226}Ra в жидких пробах проводили эманационным методом (см. п.2.3). Анализ твердых проб производили гамма - спектрометрическим методом на установке «CANBERRA».

Таблица 4.1

**Результаты выщелачивания урана в статистических условиях
(A_{Ra} -активность радия, C_{U} -концентрация урана в руде после
выщелачивания, $\Delta_{\text{изв}}$ - процент извлечения)**

Выщелачивающий реагент	A_{Ra}		$\Delta_{\text{изв}}$, Ra %	C_{U} , %	$\Delta_{\text{изв}}$, U, % отн.
	жидкая фаза, Ку/л	твердая фаза, Ку/к г			
Исходная руда	-	$1,5 \cdot 10^{-9}$	-	0,590	-
ДВ	$38 \cdot 10^{-10}$	$1187 \cdot 10^{-12}$	20,7	0,548	7,12
ДВ + CO_2	$42 \cdot 10^{-10}$	$1,348 \cdot 10^{-9}$	9,95	0,49	16,95
H_2SO_4 0,5 н	$21 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	15,63	0,048	91,87
HCl 0,5 н	$33 \cdot 10^{-8}$	$0,496 \cdot 10^{-9}$	73,5	0,135	77,12

Для определения растворимости радия в различных «реагентных» режимах проводили опыты по выщелачиванию руд в статических условиях.

Исходная руда была обработана на площадке рудоподготовки ГМЗ-1. Содержание урана в ней составляет 0,1%, а радия - $1,5 \cdot 10^{-9}$ Ки/г. Время выщелачивания руды составило 6 часов при Т:Ж=1:2. Выщелачиванию подвергали руду естественной крупности.

Как видно из данных таблицы 4.1, при бикарбонатном (реагент CO_2 +вода, что можно считать аналогичным со миниреагентным ПВ) и сернокислотном выщелачивании имеет место незначительное извлечение радия.

Извлечение радия более низкое, чем при прямом контакте руды с дистиллированной водой (ДВ). Это свидетельствует о том, что в процессе бикарбонатного выщелачивания часть радия осаждается - с кальцитом, а в случае (H_2SO_4) кислотного выщелачивания - с гипсом. Извлечение урана и радия при выщелачивании соляной кислотой сопоставимо. Следовательно, при обоих способах выщелачивания, полное осаждение радия практически не происходит.

Анализ проб растворов из участка СК-85 месторождения РУ-5 продолжалось почти в течение года, результаты которого приведены в таблице 4.2.

Видно, что данные значительно отличаются друг от друга. Например, сравнивая данные активности, отобранные 1 и 3 пробах в всего периода наблюдения (практически с начала её эксплуатации), активность растворов по радю заметно увеличилась.

Если в начале ввода в эксплуатацию скважины объёмная активность радия в растворах была стабильной - $(5-6) \cdot 10^{-10}$ Ки/л, то в конце наблюдения она возросла до $31,6 \cdot 10^{-10}$ Ки/л. Другими словами, тенденция к возрастанию наблюдалась на протяжении всего периода наблюдения и возросла в среднем почти 5-6 раз.

Несмотря на относительно большое количество анализов растворов из нескольких участков на содержание радия, до и после сорбции, окончательный вывод о поведении радия делать нельзя.

Дело в том, что для участков кислотного ПВ характерно снижение концентрации радия в растворах после сорбции, а для участков с карбонатным ПВ – повышение. Для исключения возможных ошибок анализы растворов повторялись многократно. По результатам этих исследований мы пришли к выводу о необходимости составления полного баланса металлов путём проведения полного изучения ситуации на всех сорбционных колонках, всех типов продукции, включая - химконцентраты урана, смолы до и после десорбции.

Таблица 4.2

Результаты анализа технологических растворов различных участков ПВ

Место отбора проб*	Концентрация (активность) ^{226}Ra ($n \cdot 10^{-10}$ Ку/л)										
	февраль	март	апрель	Май	июнь	Июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1	6,1	-	6,1	4,7	-	12,36	16,6	-	11,6	18,6	28,3
2							36,2		31,6	5,8	10,1
3	6,0	5,0	5,4					8,3	12,7	10,7	17,0
4			5,0							2,9	
5					0,4	-	11,6		40,0	5,8	8,3
6							21,8				13,7
7					9,8			1,5			

*1 - Участок СК-85 до сорбции; 2 - Участок СК-85 после сорбции; 3 - Участок СК-85 скважина 2; 4 - Участок СК-85 скважина 3; 5 - Участок СК-86 до сорбции; 6 - Участок СК-86 после сорбции; 7 - СК-86,1 откачная скважина

Результаты этих экспериментов по определению концентрации урана, радия и тория приведены в таблице 4.3.

Проводили лабораторные исследования по отмывке радия из донных отложений растворами 0,5 н соляной кислоты в течение 1 часа при

соотношении Т:Ж=1:3. При этом извлечение радия в раствор составило более 50%. Стало понятно, что, для полного удаления радия из донных отложений следует увеличить повторности отмывки или концентрацию соляной кислоты, или же время контакта донных отложений с раствором соляной кислоты.

Накопленный радий в донных отложениях технологических карт (отстойников) можно выщелачивать с промыванием водой, а затем промывные воды с повышенными содержаниями радия можно закачать в консервируемые скважины. Процесс десорбции радия основано на увеличении растворимости соединений радия в нейтральных средах. Процесс продолжается до фонового значения мощности эквивалентной дозы гамма излучения в донных осадках.

Таблица 4.3

Результаты определения концентрации урана, радия и тория в технологических продуктах

Наименование продукта	C_U , г/л	C_{Ra} , пг/л	C_{Th} , мкг/л
Продуктивные растворы ПВ	0,05-0,3	0,62-0,82	-
Химконцентрат урана	30-180	1,15-7,67	-
Ионит АМП, насыщенная	210	31,0	6,5
Ионит АМП, отрегенированная	1,7	1,30	0,18
Ионит АФИ-22, насыщенная	130	22,7	3,8
Ионит АФИ-22, отрегенированная	0,5	0,3	0,005
Илы и донные отложение из карт-отстойников ПВ участков	-	1782-6761 Бк/кг	-

Таким образом, проведенные исследования могут являться основанием для проведения работ по рекультивации отработанных участков ПВ и оценки радиоэкологического состояния в подразделениях ПВ урана.

§ 4.2 Оценка условий безопасной работы в производстве урана

Объем выбрасываемого в атмосферу воздуха из вентиляционных систем цехов гидрометаллургических заводов, перерабатывающих золотое и урановое сырье, может достигать 700 м³/мин. Особенно велика опасность загрязнения воздуха в отделениях дробления в случае добычи золота, а также затаривания готовой продукции - в случае урана. Это требует применения самых эффективных инженерных и организационных решений для максимального предотвращения пылеобразования в рабочей атмосфере цехов и тем более во внешней среде.

Среди общих экологических проблем, связанных с процессами развития горнорудной промышленности, актуальным является оценка значений естественного радиационного гамма фона на территориях, действующих уран перерабатывающих заводов.

Основными техногенными источниками загрязнения окружающей среды в этих объектах являются отвалы балансовых руд; перерабатываемые урановые руды; технологические растворы; химконцентраты готовой продукции; упаковки, содержащие закись-окись урана и оборудование заводов, перерабатывающих радиоактивные руды.

Основная цель γ -спектрометрических методов, в том числе метода определения значения естественного гамма фона - оперативно оценить участки загрязненных промышленных площадей, и источников радиоактивного загрязнения, РН состав выброса, а также охарактеризовать уровни загрязнения РН атмосферного воздуха, местности, поверхностных вод, сельскохозяйственных растений, продуктов питания, и т.п. Все это необходимо в первую очередь для принятия оперативных решений по обеспечению населения безопасными условиями обитания и прогнозу распространения РН по природным средам на большие расстояния.

Возможности гамма-спектрометрии наиболее полно могут быть проиллюстрированы результатами, полученными непрерывно в течение

многих лет.

Для изучения загрязнения атмосферного воздуха выбросами РН мы использовали методы дистанционной γ -спектрометрии со сцинтилляционными детекторами.

Результаты измерения и радиационного контроля, выполняемых службой охраны окружающей среды, недостаточно характеризуют влияние на окружающую среду этих объектов. Поэтому, актуальной задачей является определение содержания РН в атмосферном воздухе и оценка их вкладов в естественный гамма фон.

Нами осуществлена разработка методики определения естественного гамма фона атмосферы в непрерывном режиме вокруг уранодобывающих предприятий НГМК.

Энергетический спектр гамма-квантов, характерный для всех измерений, проведенных в течение пяти лет (2011-2015 гг.), приведен на рисунке 4.1.

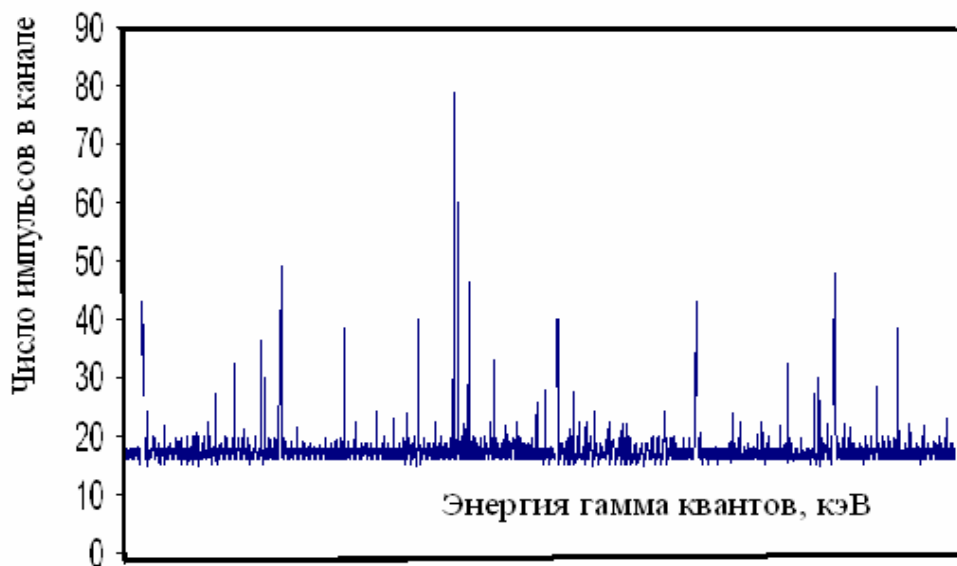


Рис. 4.1. Изменения энергетического спектра естественного гамма фона в течение времени проведения мониторинга

Для определения значения фона естественного гамма-излучения использовали установку автоматического непрерывного радиационного контроля, состоящую из блока детектирования типа БДЭГ-22-2,

соединительного кабеля, персонального компьютера типа Р-III/700, спектрометрического амплитудно - цифрового преобразователя АЦП-8К и лазерного принтера.

Ниже приводятся описание методики непрерывного определения естественного γ -фона (значения мощности гамма-излучений приведены в мкр/час) с помощью используемого прибора. Результаты измерений, проведённых в течение пяти лет, представлены в виде гистограммы.

-полного улавливание выбросов, определение валового содержания урана и сравнение их на соответствие нормам ПДК и ПДВ;

-выбор оптимального участка технологического цикла (продукта) при её прокатке;

-разработка мер по снижению потерь полезных металлов;

-разработка экспрессной методики оптимизации режима для прокатки готовой продукции.

Известно, что ПДК урана в воздухе рабочего помещения составляет $0,088 \text{ мг/м}^3$, в промышленных газовых выбросах ПДВ - $6,0 \text{ мг/с}$. Оценочный коэффициент качества - К определяется соотношением содержания урана в воздухе и концентрации элементов по значению ПДК. В таблице 4.4 приведены данные, показывающие изменение концентрации урана в выбросных газах и в атмосфере помещений (фильтр АФА-ХА).

Таблица 4.4

Кинетика изменения содержания урана в выбросных газах и атмосфере помещений прокатки готовой продукции

Выбросы		Вентиляционная камера	
С, мг/с	К	С, мг/м ³	К
0,22	0,03	0,015	0,17
6,89	1,20	0,00	0,00
0,014	0,002	0,014	0,17
0,007	0,001	0,00	0,00
0,00	0,00	0,045	0,57
0,00	0,00	0,04	0,51
0,03	0,005	0,10	1,21
0,17	0,03	0,00	0,00

Видно, что наблюдается изменение значения K в широком интервале - от 0,001 до 1,2. Эксперименты показали, что не всегда наблюдается линейная корреляция между содержаниями урана в выбросных газах и в атмосфере печного помещения ГМЗ-1.

Отбор проб воздуха проводили в разное время из выбросных газов, вентиляционных камер и помещений проковки готовой продукции (в трех точках). Пробы отбирали трижды в каждой точке и усредняли результаты анализов. Определение концентрация урана в воздухе и выбросах проводили калориметрическим методом.

Для определения содержания урана в дисперсных фракциях использовали метод ИНАА с использованием атомного реактора и химические методы анализа. Результаты приведены в таблицах 4.5 и 4.6.

Результаты исследований показывают, что оптимальными является использование фильтров в следующей последовательности - АФА-ХА, ядерные фильтры (по порядку крупности пор) и активированный уголь. При этом наблюдается максимальное улавливание крупно и мелкодисперсных фракций из газовой фазы.

В таблице 4.6 приведены данные по кинетике распределения урана в различных фракциях. В первом варианте фильтры в пробоотборниках расположены в следующей последовательности: АФА-ХА, ядерный фильтр с крупностью пор 2 мкм. Во втором варианте в пробоотборниках помещали последовательно ядерные (с крупностью пор 1 мкм) и АФА-ХА фильтры. Видно, что использование ядерного фильтра позволяет улавливать частицы урана повышенной дисперсности. При значениях K более или равных 0,5 с использованием фильтра АФА-ХА или ядерного фильтра достигается практически полное улавливание урана первым фильтром.

Таблица 4.5

**Содержание урана в атмосфере помещений прокалки готовой
продукции урана**

Последовательность операций	Наименование фильтров	Уран, 10^{-3} мкг/м ³	К
Трех ярусный фильтр с активированным углем	Актив. уголь	0,6	0,01
	Актив. уголь	0,3	
	Актив. уголь	0,2	
	СУММА:	1,2	
Трех ярусный фильтр	АФА-ХА	68	0,8
	Актив. уголь	0,5	
	Актив. уголь	0,3	
	СУММА:	68,8	
Четырех ярусный фильтр	Я.Ф.-2,0 мкм	1,6	0,07
	Я.Ф.-1,0 мкм	0,2	
	Я.Ф.-0,76 мкм	4,6	
	АФА-ХА	-	
	СУММА:	6,4	
Четырех ярусный фильтр	Актив. уголь	0,0	0,05
	Я.Ф.-0,76 мкм	2,0	
	Я.Ф.-1,0 мкм	1,0	
	Я.Ф.-2,0 мкм	1,5	
	СУММА:	4,5	
Четырех ярусный фильтр	Я.Ф.-2,0 мкм	133,3	1,74
	Я.Ф.-1,0 мкм	0,7	
	Я.Ф.-0,76 мкм	1,7	
	АФА-ХА	17,5	
	СУММА:	153,2	
Четырех ярусный фильтр	Актив. уголь	0,1	0,009
	АФА-ХА	0,3	
	Актив. уголь	0,1	
	Актив. уголь	0,3	
	СУММА:	0,8	
Четырех ярусный фильтр	Актив. уголь	1,2	0,85
	Я.Ф.- 1,0 мкм	2,1	
	Я.Ф.-0,76 мкм	2,4	
	АФА-ХА	69	
	СУММА:	74,8	
Четырех ярусный фильтр	Я.Ф.-1,0 мкм	0,7	0,06
	Я.Ф.-0,76 мкм	0,8	
	АФА-ХА	3,2	
	Я.Ф.-2,0 мкм	0,7	
	СУММА:	5,4	

Этот факт объясняется тем, что совокупность дисперсных частиц, улавливаемых в фильтре, склонна к образованию пленок, вследствие чего повышается сопротивление проходящего через фильтр воздуха.

При значениях K менее 0,5 фильтр АФА-ХА не полностью улавливает частицы из газовой фазы, и в этих случаях представляет интерес использование ядерных фильтров или активированного угля в сочетании с фильтром типа АФА-ХА.

Таблица 4.6

Кинетика распределения урана по фракциям по результатам химического анализа (1-АФА-ХА, 2-ядерный фильтр, $K=C_{\text{факт}}/C_{\text{н}}$, \varnothing - диаметр пор ядерного фильтра)

Место отбора	Тип фильтра	$C_{\text{Уг}}$ мг/м ³	Доля U, %	K	\varnothing , мкм
0,00	1	0,13	88,4	1,67	2
	2	0,017	11,6		
0,00	1	0,11	99,0	1,33	2
	2	0,00	0		
	2	0,001	2,4		
5,20	1	0,023	95,8	0,27	2
	2	0,001	4,2		
0,00	1	0,007	58,3	0,14	1
	2	0,005	41,7		
5,20	1	0,013	43,3	0,34	1
	2	0,017	56,7		

Методом «введено-найдено» было показано, что с использованием

ядерного фильтра, практически полностью улавливается уран, молибден и рений из газовой фазы при температурах от 500 до 2000°C. В связи с этим представляет интерес оценка целесообразности использования этих фильтров для определения валовых содержаний урана в выбросных газах и атмосфере.

Проведенные выборочные эксперименты по использованию различных фильтров показывают исключительные актуальные аспекты их использования.

§ 4.3. Уменьшение радиозэкологического воздействия уранового производства на экосистему

При добыче урана образуется три разновидности в радиационном отношении опасных объектов, влияющих на окружающую среду:

- отвалы, образованные при переработке урансодержащих руд горным способом;
- участки ПВ урана уранодобывающих предприятий;
- хвостохранилище урановых отходов.

При добыче урана горным способом образовались отвалы, содержащие вредные РН, отрицательно влияющие на экологическую обстановку региона. В течение более 40 лет при воздействии солнечных лучей, дождей, снегов и ветров эти отвалы приобрели твердый слой (корку) поверхностной части. Как подтверждают наши многолетние (более 15 лет) радиационно-дозиметрические исследования, вся пустая порода и забалансовые отвалы не имеют заметной радиационной опасности, так как имеющиеся в них РН по большей части растворились и перешли в нижние слои кучи.

При разработке урановых месторождений горным способом в окружающую среду поступают радиоизотопы всех трех радиоактивных семейств - ^{235}U , ^{238}U и ^{232}Th , но радиоактивность в основном обусловлена семейством - ^{238}U . Из этого семейства наиболее активными являются ^{230}Th ,

^{226}Ra , ^{222}Rn . Уровень радиоактивности поступающих в окружающую среду отходов различных месторождений различен, и он в целом зависит от исходного содержания урана в руде и активности геохимических процессов, протекающих на месторождении до его разработки. Процесс природного выщелачивания обуславливает образование различных соотношений урана с продуктами его распада.

Продуктивные растворы, добываемые геотехнологическим способом, и полученные химконцентраты урана представляют значительную опасность для окружающей среды вследствие содержания в них ряда химических веществ с достаточно высокой концентрацией РН. Это серная кислота, соли аммония, кальция, натрия и др. Среди катионов могут быть железо, медь, ванадий, молибден, мышьяк, свинец. Серьезную опасность в случае их сброса представляют растворы после жидкостной экстракции, в которых возможно присутствие алкиламинов, алкилфосфатов, спиртов, керосина и т.д, хотя при правильно организованном экстракционном процессе объем таких сбросов не велик.

Однако, особую опасность представляет присутствие в урановых отходах ГМЗ-1 радиоактивных продуктов распада урана. Радиоактивность отходов ГМЗ-1 в день составляет от 2 до 3 Ки нестабильных долгоживущих РН. Количество и активность основных - РН, образующихся при переработке химконцентратов урана 1 т урана, приводится в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Количество и активность основных РН, образующихся при переработке химконцентратов урана 1 т урана (равновесное состояние)

РН	m, г	A, Ки	РН	m, г	A, Ки
Th-230	18,5	0,349	Ra-228	$4,80 \cdot 10^{-4}$	0,113
Pa-234	0,31	0,014	Th-228	$1,37 \cdot 10^{-4}$	0,114
Ra-226	0,35	0,35	Po-216	$8,52 \cdot 10^{-5}$	0,387
Ac-228	$2,6 \cdot 10^{-4}$	0,015	Ra-224	$7,17 \cdot 10^{-7}$	0,116
Pb-210	$4,85 \cdot 10^{-3}$	0,382			

При кислотном ПВ подавляющая часть радия (99,3-99,6%) не растворяется и остается с твердым рудным остатком в недрах земли. Несколько больше радия растворяется в процессе карбонатного выщелачивания (до 1,5-2,2 %). В этом случае концентрация ^{226}Ra и ^{230}Th в сбросных растворах достигает следующих значений: ^{226}Ra - $35 \cdot 10^{-6}$ мкКи/мл; ^{230}Th - $22 \cdot 10^{-6}$ мкКи/мл, что в 10 раз превышает максимально допустимые нормы для сброса в открытые водоемы.

Поскольку уран выщелачивается на участках ПВ НГМК в кислотном, карбонатном и гипохлоритном режимах, то попадание радия в продуктивные растворы урана, химконцентраты, хвостовые воды и в хвостохранилища неизбежно.

В свою очередь радий распадается на радон, который выделяется из почвенных поверхностей хвостохранилищ. По этой причине в настоящее время наиболее распространенным способом обезвреживания жидких отходов уранового производства является глубокая нейтрализация их с помощью извести («известкование») до $\text{pH} > 8$, с добавлением небольших количеств солей бария.

Известкование резко снижает содержание сульфатов, связывая их в гипс. При этом существенно снижается концентрация многих растворенных загрязнений. Так, количество радия, изоморфно связываемого в осадок сульфатов бария кальция, снижается не менее чем в 10-30 раз, а содержание РН тория до незначительного уровня. Нейтрализация способствует осаждению других химических элементов, содержащихся в высоких концентрациях, например, железа, свинца (в том числе радиосвинца-210), меди, мышьяка, марганца и магния.

Длительное хранение отвальных твердых хвостов представляет важную и сложную проблему, поскольку в них сконцентрировано до 70% содержащихся в руде радиоактивных продуктов (не считая урана), в основном долгоживущего - ^{226}Ra , чрезвычайно опасного и потенциального

источника радиоактивного заражения окружающей среды. Обезвреживание долгоживущего - ^{226}Ra из илов карты отстойников участков урановой переработки продуктивных растворов приведено в п.2.4.

С точки зрения охраны окружающей среды наиболее приемлем способ ПВ урана. При этом способе практически все опасные радиоактивные вещества, сопутствующие урану, остаются на месте своего первоначального залегания - в недрах Земли.

§ 4.4 Радиометрические исследования техногенных объектов

Одним из методов изучения проблем радиоэкологии является проведение радиометрических исследований техногенных объектов - закономерности пространственного распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, геохимическое поведение радиоизотопов при совместном хранении отходов различного состава и оценки радиационного вклада техногенных объектов на окружающую среду.

Одним из оперативных ядерно-физических методов обследования техногенных объектов является радиометрический метод, в котором при проведении радиометрического исследования в техногенных объектах по выявлению факторов попадания и по изучению геохимического поведения радиоизотопов в подземных водах появляется возможности разработки методик по уменьшению радиационного влияния техногенных объектов горно-металлургических предприятий на окружающую среду.

Проведенные исследования, показывают, что месторасположения отработанных производственных горно-металлургических отходов являются одним из техногенных объектов, имеющих влияние на окружающую среду.

Действующие нормативные документы СанПиН-0193-06 и ОСПОРБ-2006 в Республике Узбекистан обязывают проводить систематическое обследование любых техногенных объектов горно-металлургических предприятий, вследствие чего, разрабатывать и внедрять способы снижения

экологического влияния от этого объекта на окружающую среду.

Ниже приведены результаты проведенных исследований по изучению факторов миграции, геохимического поведения радиоизотопов в подземных водах при совместном хранении различного состава отходов, а также оценки уровня радиационного влияния техногенных объектов на окружающую среду. Разработана методика радиометрических исследований, определения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) техногенных объектов и методики радиометрического определения концентраций радиоизотопов и их геохимического поведения в подземных водных пробах;

На основе полученных результатов разработано мероприятия по уменьшению радиационного фактора техногенных объектов горно-металлургических предприятий на окружающую среду.

В техногенных объектах определены значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучений (МЭД) и детализировано их пространственное распределение.

Также определены концентрации различных радиоизотопов в водных пробах и изучено геохимическое поведение радиоизотопов при совместном хранении различного состава отходов горно-металлургических производств.

Для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) техногенных объектов использовали дозиметр типа ДКС-96 с блоком детектирования БДПГ-96. Полученные результаты (более 20 тысяч инструментальных замеров) по пространственному распределению МЭД сопоставлены с нормативными значениями.

Концентрация радиоизотопов в водных пробах определена инструментальным методом на приборе «Камера», позволяющим проводить экспресс измерения быстрее, чем традиционным эманационным методом. Определенное значение концентрации радиоизотопов позволяет предположить возможность геохимического поведения радиоизотопов при совместном хранении различного состава отходов.

Для обеспечения требований санитарных норм необходима

организация радиометрического контроля выбранного техногенного объекта и анализ полученных результатов на соответствие предъявленным нормам.

Техногенный объект, имеющий определенное количество отходов горно-металлургического производства, имеет удельную альфа-активность твердой фазы 8-10 кБк/кг. По периметру этого объекта пробурено определенное количество наблюдательных скважин для ведения работ по определению концентрации радиоактивных элементов в водной фазе.

За период наблюдения с 2012-2013гг. содержание радиоизотопов в подземных водах не превышало допустимой концентрации- D_K для категории «Б» (ограниченная часть населения).

Полученные величины радиационных факторов показывают, что их значения в техногенных объектах в несколько раз меньше чем допустимые величины для категории «А» (персонал).

Мощность эквивалентной дозы - (МЭД) гамма-излучения в прилегающих территориях техногенных объектах составляет в среднем - 0,17 - 0,25 мкЗв/час, при значении естественной мощности эквивалентной дозы - 0,11 - 0,15 мкЗв/час.

Линейные зависимости МЭД гамма-излучения от исходной точки замера на территориях техногенного объекта приведены на рис 4.2. Значения фона и МЭД гамма-излучения в стыкующих точках по периметру техногенного объекта в среднем не превышают 0,25 мкЗв/час.

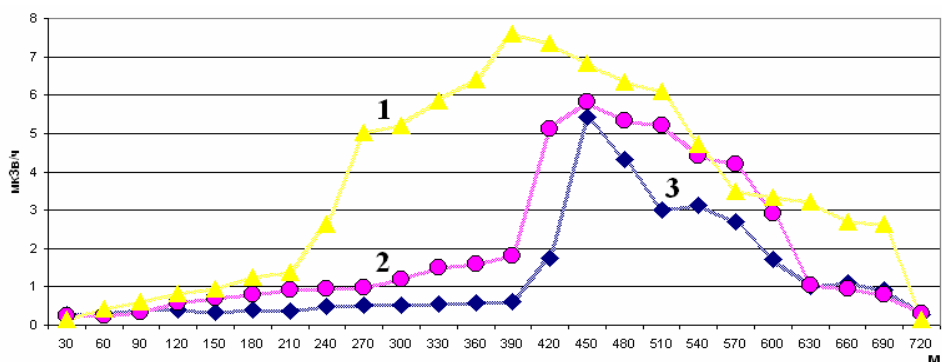


Рис 4.2 Линейные зависимости МЭД гамма-излучения от точки замера

Как видно из рис.4.2 в техногенных объектах пространственное распределение значения МЭД гамма-излучений распределено нелинейно. Как видно из кривых 1, 2, 3 рис.4.2 значения МЭД гамма-излучений колебаться от 0,30 мкЗв/час до 7,80 мкЗв/час, от 0,40 мкЗв/час до 5,90 мкЗв/час и от 0,28 мкЗв/час до 5,30 мкЗв/час соответственно. Это свидетельствует, что отходы различного состава имеют различный радиоизотопный состав и различную толщину слоя.

В исследованном техногенном объекте среднее значение МЭД гамма-излучений рис.4.2 на порядок ниже, чем установленная норма, то есть от 10 до 40 раз меньше. Полученные результаты показывают, что все требования нормативных документов по размещению отходов производств выполняются на этом объекте в полном объеме.

Главным природоохранным мероприятием является максимальное снижение фильтрационных потерь радиоизотопов из техногенных объектов, созданием комбинированных условий хранения жидкой фазы отходов. Одной из причин потери жидкой фазы является естественное испарение.

Известно, что коэффициент растворимости некоторых радиоизотопов в нейтральных средах высокий по сравнению с сернокислотной средой, потому возможно растворение некоторых радиоизотопов в жидкой фазе отходов различного состава, направляемой для получения толстого слоя, уменьшающего радиационное воздействие на окружающую среду.

При покрытии толстым слоем отходов, содержащих радиоизотопы, появляется вероятность просачивания техногенного раствора в подземный водоносный горизонт, а также вероятность растворения соединений радиоизотопов из ранее размещенных отходов горно-металлургических производств и перехода их в подземные воды. В целях изучения вероятности инфильтрации этих растворов проведено исследование по определению двух радиоизотопов в отобранных пробах из наблюдательных скважин, пробуренных по периметру техногенного объекта. Полученные результаты приведены в табл. 4.8.

Из полученных экспериментальных данных табл. 4.8 видно, что средняя концентрация радиоизотопов P_1 и P_2 в водах, отобранных ежеквартально в 2012-2013 годах из наблюдательных скважин пробуренных по периметру техногенного объекта, не превышает регламентируемых значений радиоизотопов в воде для P_1 (45 Бк/л) и P_1 (2,0 Бк/л).

Таблица 4.8

**Результаты исследования по определению двух радиоизотопов
в отобранных пробах из наблюдательных скважин**

Номер пробы	P_1 , Бк/л	Отношение активности P_1 к ПДК	P_2 , Бк/л	Отношение активности P_1 к ПДК
1	20,1	0,44	0,061	0,03
2	3,82	0,08	0,027	0,014
3	7,56	0,17	0,032	0,016
4	0,14	0,003	0,006	0,003
5	0,36	0,008	0,003	0,001
6	0,22	0,005	0,019	0,009
7	2,26	0,05	0,046	0,023
8	0,26	0,006	0,006	0,003
9	10,1	0,22	0,029	0,014
10	1,64	0,04	0,041	0,020
11	16,6	0,40	0,039	0,020
12	2,36	0,05	0,015	0,007
13	0,34	0,008	0,007	0,003
14	0,73	0,02	0,011	0,005
15	0,10	0,002	0,032	0,016
16	0,11	0,002	0,033	0,016

Из результатов видно что, природоохранные работы в этом

техногенном объекте организованы в соответствии с установленными требованиями и полностью соответствует вышеперечисленным нормам, установленным в Республики Узбекистан.

В настоящее время продолжают исследования по систематизации ранее полученных данных (за 20 лет), для более достоверного уяснения механизма геохимического поведения радиоизотопов в техногенных объектах размещенных отходов различного состава и растворимости радиоизотопов под влиянием различного состава жидких фаз. Выявление главного фактора растворимости радиоизотопов в водных пробах дает возможность оперативно решать вопросы оценки величин воздействия техногенного объекта на окружающую среду.

Таким образом, на основании проведенных радиометрических исследований техногенных объектов, определены закономерности пространственного распределения МЭД гамма-излучения и концентрации радиоизотопов P_1 и P_1 в пробах воды. Из полученных результатов видно, что в обоих случаях отсутствует превышение показателей над регламентируемыми значениями.

Выводы по главе 4

Таким образом, исследовано воздействие уранового хозяйства, включающее изучение поведения и распределения радия в технологии добычи и переработки урановых руд, степень воздействия и уменьшения влияния аэрозольных частиц на окружающую среду, и наконец, оценен уровень радиационного фона, обусловленного отходами уранового производства и дана рекомендация по его уменьшению.

1. По части изучения экологического поведения радия и по полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- радий присутствует в продуктивных растворах и других промпродуктах как кислотного, так и бикарбонатного ПВ.

- концентрация радия по наблюдаемой откачной скважине в процессе выщелачивания возросла с $6,2 \cdot 10^{-4}$ до $8,2 \cdot 10^{-4}$ мкг/л;

- при бикарбонатном и сернокислотном ПВ концентрация радия в продуктивных растворах меньше, чем при прямом контакте руды с ДВ, что свидетельствует о том, что в случае процесса бикарбонатного ПВ часть радия соосаждается с кальцитом, а в случае кислотного ПВ с гипсом;

- имеется значительное количество данных по поведению радия, свидетельствующих о сорбции радия на смоле марки АМП, но примерно такое же количество результатов указывает на то, что в процессе сорбции урана происходит десорбция радия со смолы;

- анализ практически всех исследуемых насыщенных смол показал, что в процессе их регенерации совместно с десорбцией урана происходит десорбция радия;

- на участке карбонатного и бикарбонатного ПВ месторождения Северный Канимех накопление радия в донных отложениях происходит интенсивнее, чем на сернокислотных, это связано с тем, что растворимость карбонатов радия и кальция значительно меньше, чем сульфатов этих солей.

- накопление радия в донных отложениях технологических карт происходит за счет процессов соосаждения, сокристаллизации и адсорбции.

2. По результатам изучения поведения аэрозольных частиц можно сделать следующие выводы:

- для определения фракционного состава радиоактивной пыли в атмосфере и выбросных газах целесообразно использовать ядерные фильтры в сочетании с АФА фильтрами и активированным углем;

- для полного улавливания и определения валового содержания урана в заводских выбросах, атмосфере, а также для сравнения их на соответствие нормам ПДК и ПДВ необходимо использовать эти же фильтры;

- кроме того, это необходимо также для разработки мер по снижению потерь полезных металлов, а также для разработки экспрессной методики, оптимизация режима прокалики готовой продукции.

3. По результатам исследования факторов, загрязняющих окружающую среду, установлено:

- основным загрязняющим участком Кызылкумского региона являются забалансовые руды, находящегося на обширной территории Учкудукского региона, участки ПВ урана и хвостохранилища ГМЗ-1 для хранения отработанных урановых отходов;

- для улучшения радиоэкологического состояния региона рекомендуется переработка забалансовых урановых руд геотехнологическими способами (чановое или кучное выщелачивание), проведение рекультивационных работ и покрытие мест залегания отработанных урановых отходов - отходами переработки золотосодержащих руд на ГМЗ-1 или организацией посевов непитательных растений.

4. На основании проведенных радиометрических исследований техногенных объектов, определены закономерности пространственного распределения МЭД гамма-излучения и концентрации радиоизотопов P_1 и P_1 в пробах воды. Из полученных результатов видно, что в обоих случаях отсутствует превышение показателей над регламентируемыми значениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации рассмотрены: разработка и внедрение нейтронно-активационных методик определения состава почв с использованием атомного реактора; технологических продуктов с использованием калифорниевого источника нейтронов; определение изотопного состава естественно радиоактивных элементов с использованием альфа и гамма-спектрометрии; определение форм нахождения элементов в подземных и сточных водах с использованием ядерных фильтров и «меченных атомов»; определение фракционного состава урансодержащих твердых взвесей в сбросных газах для решения актуальных аналитических, технологических, экологических и радиэкологических задач.

Разработанные методики использовались для: оперативного контроля технологического процесса извлечения золота, урана и процесса утилизации магнитной фракции; определения механизма нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между ^{238}U - ^{226}Ra и ^{238}U - ^{234}U в различных технологических процессах и продуктах; определение условий уменьшения выброса радиоактивных веществ в атмосферу; оценки техногенного влияния предприятий по добычи урана и золота на окружающую среду; прогнозирования техногенного влияния хвостохранилищ промышленных предприятий на подземные воды, выдачи рекомендации по уменьшению удельной активности выпускаемого товарного продукта природного урана (закиси-окиси) и рекультивации отработанных участков подземного выщелачивания урана.

Основные научные результаты, практические выводы и рекомендации диссертации заключаются в следующем:

1. Разработана и внедрена нейтронно-активационная методика определения золота и сопутствующих элементов по короткоживущим и среднеживущим радионуклидам с использованием калифорниевого источника нейтронов непосредственно в производственных условиях, с чувствительностью 0,4 г/кг - при навеске 250г, 0,8 г/кг - при навеске 70г в

смолах.

2. Для решения радиозэкологических задач методом радиометрии и гамма-спектрометрии определены концентрации радиоактивных элементов и активности естественных радионуклидов (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K) в почвах, отобранных из хвостохранилища ГМЗ-1 и наблюдательных зон, на территории уранодобывающих подразделений комбината. Найдены закономерности миграции радия в технологическом процессе извлечения урана, на основании которого предложен способ рекультивации отработанных участков подземного выщелачивания урана.

3. Проведено непрерывное измерение γ -фона на территории ГМЗ-1 в течение 5 лет. Резкое увеличение активности от фонового значения может образоваться за счет природных и техногенных процессов. На основании результатов исследований по определению концентрации урана и фракционного состава урансодержащих частиц, выбрасываемых в атмосферу при прокатке готовой продукции урана, основанных на последовательном использовании ядерных фильтров различной крупности, найдена зависимость, по которой можно выбрать режим работы, цеха готовой продукции прокатки урана.

4. Разработана методика радиохимической очистки урана от сопутствующих радиоактивных изотопов и приготовления, так называемого, «счетного образца». Методика позволяет проводить идентификацию изотопов урана по их излучению и определять малые концентрации ^{234}U в природных водах различного происхождения, в продуктивных растворах и химконцентратах урана.

5. Изотоп урана ^{234}U , образующийся в результате альфа - распада, в валовом природном уране находится в равновесном количестве 0,0053% (аллогенный фактор). Однако, он в молодых минералах дополнительно образуется за счет неравновесного радиоактивного распада изотопа ^{238}U (аутогенный). При появлении в образце аутогенного процесса доля изотопа ^{234}U увеличивается, что приводит к изменению изотопного отношения -

$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

6. Разработанная методика применена для определения содержания ^{234}U в химконцентраатах различных участков с различными режимами технологий ПВ, и по полученным результатам найден механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана. Оно происходит:

- при бикарбонатном, минерреагентном, гипохлоритном выщелачивании уран переходит в раствор, за счет, как более поздно образованных минералов (коффинит, надкевит, браннерит, давидит, титанит и фосфаты), где наблюдается повышенное содержание ^{234}U , так и за счет минералов, где ^{234}U находится в равновесии с ^{238}U ;

- при кислотном выщелачивании, так как кроме «молодых минералов» растворяются и минералы более раннего образования (настуран, уранинит), где в основном содержится более 90 % всех изотопов урана. За счет чего сохраняется радиоактивное равновесия между изотопами урана.

7. Предложен метод для подготовки кондиционной экспортной продукции путём шихтования продукции, полученной из равновесных и не равновесных минерализованных руд. Предложение принято на НГМК к внедрению и в настоящее время используется к получению товарной продукции с регламентируемой удельной активностью 0,68 мКи/кг или 25,2 МБк/кг.

8. Впервые разработана методика определения форм нахождения элементов в подземных и сточных водах с использованием ядерных фильтров (диаметр пор 0,16 - 0,20 мкм) в процессе электродиализа и в сочетании с методами “меченных атомов”. Найдено, что преимущественно в катионной форме находится Fe, Ce, Eu, в анион - катионной форме - Cr, в анион - нейтральной форме - Cr, Se, Ag, Sb, Au и в катион - нейтральной форме - Sc, Cr, Co, Zn.

9. По результатам исследования факторов, загрязняющих окружающую среду, установлено:

- основным загрязняющим участком Кызылкумского региона являются

забалансовые руды, находящегося на обширной территории Учкудукского региона, участки ПВ урана и хвостохранилища ГМЗ-1 для хранения отработанных урановых отходов;

- для улучшения радиоэкологического состояния региона рекомендуется переработка забалансовых урановых руд геотехнологическими способами (чановое или кучное выщелачивание), проведение рекультивационных работ и покрытие мест залегания отработанных урановых отходов - отходами переработки золотосодержащих руд на ГМЗ-1 или организацией посевов не питательных растений.

Благодарность

Автор выражает благодарность профессорам Кисту А.А., Бакиеву С.А. и Саттарову Г.С., за полезные консультации, за оказанную неоценимую помощь при подготовке диссертационной работы, а также коллективу лаборатории активационного анализа ИЯФ АН РУз и коллективу ЦНИЛ НГМК за оказанную научно - методическую помощь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению. – Ташкент.: Узбекистан, 2009. – 48 с.
2. Санакулов К.С., Саломов Ф.И., Хасанов А.С. Все о золоте. – Ташкент.: Turon zamin ziyo, 2017. – 456 с.
3. Толстов Е.А., Толстов Д.Е. Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызылкумском регионе. – М.: Геоинформцентр, 2002. – 284 с.
4. Санакулов К.С., Сытенков В.Н., Шеметов П.А. Кучное выщелачивание золота из многоярусных штаблей. – Ташкент.: Фан, 2010. – 304 с.
5. Толстов Е.А., Мазуркевич А.П., Иноземцев С.Б., Латышев В.Е., Саттаров Г.С. Состояние, проблемы и перспективы использования ядерно-физических методов анализа, опробования и сортировки в Навоийском горно-металлургическом комбинате. //Сборник научно-технических статей. Теория и практика разработки месторождения Мурунтау открытым способом. - Т.: ФАН, 1997. - С. 40-47.
6. Меретуков М.А., Санакулов К.С., Зимин А.В., Арустамян М.А. Золото: химия для металлургов и обогатителей. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2014. – 412 с.
7. Бучаченко А. Л. // Успехи химии. 2003. – Т. 72, № 5. – С. 419-437.
8. Меретуков М.А. Золото: химия, минералогия, металлургия. – М.: Руда и металлы, 2008. – 528 с.
9. Колотов В.П., Андриянов А.Ю., Догадкин Н.Н., Шилобреева С.Н., Чапыжников Б.А., Ципенюк Ю.М., Коробков В.И. Определение элементов платиновой группы и золота в силикатах методами гамма-активационной автордиографии и инструментального гамма-активационного анализа //ЖАХ. 2003. Т.58. №9. – С. 987-991.
10. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия

благородных металлов: учебник. В 2 кн. Кн. 1. – М.: МИСиС, Руда и Металлы, 2005. – 432 с.

11. Жерин И.И., Амелина Г.Н. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов. – Томск.: Томский политехнический университет, 2009. - 196 с.

12. Петухов О.Ф., Истомин В.П., Руднев С.В., Хасанов А.С. Уран. – Ташкент.: Изд-во «Турон замин-зиё», 2015. – 700 с.

13. Алов Н.В., Василенко И.А., Гольдштрах М.А. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа. - М.: Academia, Т2. 2010.- 410 с.

14. Применение анализаторов МАЭС в промышленности //VII международный симпозиум. – Новосибирск.: Академгород, 15-18 август. 2006. - 90 с.

15. Жебентяев А.И., Жерносек А.К., Талуть И.Е. Аналитическая химия. Химические методы анализа. Уч.пос.2-е изд. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 542 с.

16. Баранова В.Ю. Изотопы. – М.: ИздАТ, 2009. – 704 с.

17. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика. – М.: Изд-во МФТИ, 2002. – 784 с.

18. Руководства анализаторов многоканальный атомно-эмиссионных спектров “МАЭС”. - Новосибирск.: 2001. - 31 с.

19. Образцов А.И., Беленко А.П. Особенности геологического строения и методов оценки запасов месторождения Мурунтау //Сборник научно-технических статей. Теория и практика разработки месторождения Мурунтау открытым способом. - Ташкент.: ФАН, 1997. - С. 18-25.

20. Ахмедов Н.А., Парамонов Ю.И. О металлах платиновой группы в золоторудных и золотосереброрудных месторождениях Узбекистана. //Горный вестник Узбекистана. 2005. -№2. (21). - С. 8-13.

21. Харитонов Ю.Я., Григорьева В.Ю. Аналитическая химия. Количественный анализ. Физико-химические методы анализа. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. - 386 с.

22. Кислов А.Н. Атомная и ядерная физика. – Екатеринбург.:

Издательство Уральского университета, 2017. – 371 с.

23. Kolotov V.P., Andriyanov A.Yu., Shilobreeva S.N., Korobkov V.I., Dogadkin N.N., Chapyzhnikov B.A., Tsipenyuk Yu.M.. Development of digital gamma-activation autoradiography for determination of platinum group elements inclusions in geological samples //J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007. V.271. №3. - p.671-678.

24. Жуков А.Ф. и др. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. - М.: Химия, 2001. – 496 с.

25. Бондаренко А.П. Основы радиоэкологии. – Павлодар.: Павлодарский государственный университет им С. Торайгырова, 2006. – 124 с.

26. Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика. Учебное пособие для ВУЗов. – Екатеринбург.: Изд-во университета, 2006. – 418 с.

27. Меретуков М.А., Рудаков В.В., Злобин М.Н. Геотехнологические исследования для извлечения золота из минерального и техногенного сырья. – М.: Горная книга, 2011. – 438 с.

28. Виноградов Ю.А. Ионизирующая радиация. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 224 с.

29. Сахаров В.К. Радиоэкология. – ЛАНЬ.: 2006. – 320 с.

30. Гутько В.И. Активационный анализ. – Минск.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. – 74 с.

31. Стогов Ю.В. Основы нейтронной физики. – М.: МИФИ, 2008. – 204 с.

32. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии. – Томск.: STT, 2009. – 430 с.

33. Сергеев Г.Б. Нанохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 287 с.

34. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.

35. Гальперин М.В. Экологические основы природопользования. – М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2003. – 256 с.

36. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и

методы их очистки. - Днепропетровск.: Наука, 2000. – 61 с.

37. Языков Е.Г., Шатилов А.Ю. Геоэкологический мониторинг. – Томск.: Изд-во Textbook, 2003. – 336 с.

38. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. Учебное пособие. - М.: МГГУ, 2001, – 656 с.

39. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск.: Изд-во ТПУ, 1997. – 297 с.

40. Азарова С.В. Отходы горно-добывающих предприятий и комплексная оценка и опасности для окружающей среды / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Томск.: 2005. – 21 с.

41. Гутько В.И., Хильманович А.М. Методы нейтронно-активационного анализа // Экологический вестник, Минск, 2009, № 2(8), с. 34-43.

42. Kungsi J. Radioisotope neutron activation analyses for process control analysis in the metallurgical industry. Nucl. Appl. Technol, 1987.- v.8. - p. 465-473.

43 Zhuk L. I., Kist A.A. Human hair neutron activation analysis: Analysis on population level, mapping // Czech. J. Phys., 1999, V. 49, № 1, - p. 339-346.

44. Хатамов Ш., Жумамуратов А., Ибрагимов Б., Тиллаев Т. Нейтронный активационный анализ почв и его использование в экологических исследованиях // Атомная Энергия, 2000, т.89(2), - С. 167-170.

45. Aripov G.A., Kurbanov B.I., Allamuratova G. Device for study of thermal neutron capture gamma-ray spectra. Uzbek journal of Physics. -Vol.6. (3). 2004. - p. 227-229.

46. Курбанов Б.И., Арипов Г.А., Барсукова Е.Г., Умаралиев М., Курбанов З.Б. Нейтронно-радиационный метод определения технологически важных элементов при переработки сульфидных руд //Горный вестник Узбекистана. 2007. №2. (29). - С. 96-99.

47. Бекман И. Радиоактивность, радионуклиды и радиация. – М.: PALMARIUM, 2014. – 498 с.

48. Колотов В.П., Атрашкевич В.В. Организация обработки информации при массовом нейтронно-активационном анализе на основе СУБД //ЖАХ. 1994. Т.49. №1. - С. 103-107.

49. Кондратенко С.Г. Нейтронные измерения /Учебное пособие. - М.: АСМС, 2004. - 44 с.

50. Савельев И.В. Физика атомного ядра и элементарных частиц". – М.: Астрель, 2006. – 368 с.

51. Андрушечко С. А., Афров А. М., Васильев Б. Ю., Генералов В. Н. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта. - Санкт-Петербург.: - Логос, 2010. - 628 с.

52. Корбут Т.Н., Корнеев С.В., Марцынкевич Б.А., Фоков А.Ю., Хильманович А.М. Использование новых резонансных интегралов при определении характеристик спектрального распределения нейтронов // ПТЭ, 2009. № 3, с. 26 – 29.

53. Kolotov V.P, Sadykov LI. arid Nekrasova N.N. / Radiochemical neutron activation determination of phosphorus in high pure germanium. //Book of abstracts 8-th Intern. Conference. "Modern Trends in Activation analysis", Vienna, 1991, - p.81.

54. Крупный Г.И., Пелешко В.Н., Расцветалов Я.Н., Савицкая Е.Н., Санников А.В. К вопросу создания высокоэнергетического опорного поля нейтронного излучения. Препринт ИФВЭ 2009-5, - Протвино.: 2009. - 17 с.

55. Das N.R. Determination of gold by neutron activation analysis in some selected Precambrian rocks from eastern India // J. Radioanal. Chem. 1986. -V. 34. -N 2. -p. 246-259.

56. Атомная и ядерная физика. Учебная пособия. / Под редакцией Ландсберга Г.С. – Санкт-Петербург.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 656 с.

57. Osek F. Possibility of determination of gold using ^{197}Au ($T=7,2$ s) isomer and fast neutrons. Radiochemical and radioanalytical letters, 1978. -v 35, -n 4, -p 233-240.

58. Чекмарев А.М., Тарасова Н.П., Сметанников Ю.В. Химия, ядерная

энергетика и устойчивое развитие. – Санкт-Петербург.: "Академкнига", 2006. – 288 с.

59. Мейер В.А., Ваганов П.А., Пшеничный Г.А. Методы ядерной физики. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1998. - 376 с.

60. Кирьяков Г.И. Генераторы быстрых нейтронов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 224 с.

61. Веренчикова М.С., Гутько В.И., Хильманович А.М. Определение валового содержания химических элементов в почве // Экологический вестник, Минск, 2010, № 2(12), - С. 155-152.

62. Вандекастле К. Активационный анализ с использованием заряженных частиц / Пер. с англ. под ред. Г.М. Колосева. - М.: Мир, 1991. – 203 с.

63. Равшанов Р.М., Саттаров Г., Кист А.А., Тиллаев Т. Исследование возможности применения $^{124}\text{Sb-Be}$ источника нейтронов для определения содержания урана в рудных образцах методом регистрации запаздывающих нейтронов - Ташкент: 1986. Препринт ИЯФ АН РУз Р-3-209. – 10 с.

64. Исследования по теоретической и экспериментальной физике //Под редакцией Пардаева А.П. Сборник научных статей. – Самарканд.: СамГУ, 1997. - 212 с.

65. Саттаров Г., Скерджев Ю.М., Кист А.А. и др. Опыт применения радиоактивных индикаторов при разработке схем попутного извлечения полезных металлов. Препринт ИЯФ АН РУз. № Р-3-530 ДСП. 1991. – 16 с.

66. Основы аналитической химии. В 2-х книгах. /Под ред. Золотова Ю.А. – М.: Академия, 2010. – 683 с.

67. Дворкин В.И. Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа. М.: Химия, 2001. – 421 с.

68. Бахур А.Е. и др. Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа и бета активности. Методические рекомендации. - М.: НПП «Доза», 1997. – 24 с.

69. Бахур А.Е. и др. Методика выполнения измерений объемной

активности изотопов урана (234, 235) в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическими выделениями. Свидетельство ЦМИИ ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта РФ №49090. ЗН628; Свидетельство НСАМ №381-ЯФ. - М.: ВИИМС. 1999. – 18 с.

70. Бахур А.Е. и др. Альфа-спектрометрический метод при исследованиях изотопного состава урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$) в технологических пробах горно-металлургического производства //АНРИ 2004. т.38, -№3. – С. 43-50.

71. Соловьев Г.С., Сапрыгин А.В., Израилевич И.С., Макаров А.А. Определение содержания - ^{234}U в уране разных месторождений //Атомная энергия, 2002. Т.92. -вып.4. – С. 278-291.

72. Бахур А.Е. и др. Методика выполнения измерений удельной активности изотопов урана (234,238) в почвах, грунтах, горных породах и строительных материалах на их основе альфа-спектрометрическим методом с радиохимическими выделениями. Свидетельства ЦМИИ ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарт РФ №49090, ЗН627; Свидетельство НСАМ №433-ЯФ – Москва.: ВИМС. 1999. – 24 с.

73. Бахур А.Е. Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. – М.: 2008. – 45 с.

74. Муранов В.Г. Методика расчета толщины покрытия для захоронения радиоактивных отходов //Горный вестник Узбекистана. 2006. -№24. – С. 78-83.

75. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. Учебник. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 584 с.

76. Установка нейтронно-активационного анализа НАУ-К с ^{124}Sb -Be источником нейтронов //Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Москва: ВНИИРТ. 1985. – 48 с.

77. Lyon W.S. Current status of neutron activation and applied nuclear chemistry //J. Radioanal. Nucl. Chem. Art. 1990. -v. 140. №1. – p. 205-214.

78. Бакиев С.А., Рахмонов Ж., Кист А.А. и др. Элементный анализ на нейтронных источниках в условиях геологоразведочных экспедиций //В кн: Активационный анализ. Метрология и применение. –Т.: Фан, 1990. – С.71-78.

79. Рахманов Ж. Исследование и разработка методик элементного анализа руд и технологических продуктов на базе мощных - ^{252}Cf и $^{124}\text{Sb-Be}$ источников нейтронов: Диссертация на соискание ученой степени канд. физ. мат. наук (ДСП). – Ташкент.: 1990. – 183 с.

80. Карелин Е.А. и др. Конструкция, условия эксплуатации и области применения ^{252}Cf -источников нейтронов //В кн: Активационный анализ. Метрология и применение. – Ташкент.: Фан, 1990. – С. 66-71.

81. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. – М.: Атомиздат, 2008. – 432 с.

82. Бакиев С.А. Теоретические и методологические вопросы использования радионуклидных источников нейтронов в ядерной аналитике. Часть I. Узбекский физический журнал. 1997. №1, – С. 69-79.

83. Бакиев С.А. Теоретические и методологические вопросы использования радионуклидных источников нейтронов в ядерной аналитике. Часть II. Узбекский физический журнал. 1997. №2, – С. 57-63.

84. Бакиев С.А. Теоретические и методологические вопросы использования радионуклидных источников нейтронов в ядерной аналитике. Часть III. Узбекский физический журнал. 1997. №4, – С. 70-77.

85. Бакиев С.А. и др. О возможности создания полевых и заводских лабораторий нейтронно-активационного анализа на базе калифорниевого и сурьмяно-бериллиевого источников нейтронов. Препринт ИЯФ АН РУз.Р-3-62. - Ташкент.: 1981. – 21 с.

86. Арипов Г.А., Курбанов Б.И., Саттаров Г.С. Метод контроля элементного состава золотосодержащих руд и продуктов их переработки //Горный вестник Узбекистана. 2004. -№17. – С. 37-39.

87. Хатамов Ш. Нейтронно-активационный анализ биогеохимических объектов при поисках золоторудных месторождений и оценке

биогеохимической ситуации в Среднеазиатском регионе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: ВНИИХТ. 1991. – 55 с.

88. Ен З. Активационный анализ по неупругому рассеянию нейтронов с возбуждением изомерных состояний ядер на радиальном канале реактора ВВР-СМ.: Автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. тех. наук. – Ташкент.: ИЯФ АН РУз. 1991. – 22 с.

89. Иванов И.Н., Бурмистенко Ю.Н. Нейтронно-активационный анализ с использованием короткоживущих радионуклидов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 160 с.

90. Зиновьев В.Г. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ташкент.: ИЯФ АН РУз. 2003. – 18 с.

91. Rastegas E., Hadj-Bousaad D.E., Heimbürger R. et. Al. Determination des tarries rarest a let at de traces et limits de la fluorescence X a dispersion energy //Analysis -1990. -v. 18. -№: 8. – p. 497-501.

92. Burgess D. D. Optimization of multielement instrumental neutron activation analysis // J. Anal. Chem. 1985. -v. 57. -№: 7. – p.135-150.

93. Санников А.В., Савицкая Е.Н., Обобщенная каскадная модель ядерных реакций. IX Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» //Тезисы докладов. - Обнинск.: 2006. – С. 276-281.

94. Ветров А.Г. О псевдомиграции радия при формировании молодых урановых руд // Сб. статей. Методы рудной геофизики. – Л.: 1987. – С. 59-63.

95. Кулматов Р.А., Кист А.А. и др. Нейтронно-активационная оценка распределения элементов в водах //ЖАХ. 1980. т.35. №2. – С. 254-259.

96. Исаматов Э.Е. Исследование по разработке ядерно-физических методов определения форм нахождения микроэлементов в природных водах аридной зоны: Диссер. на соиск. уч. степени. канд. физ-мат. наук. – Т.: 1988. – 152 с.

97. Кулматов Р.А. Закономерности распределения и миграции токсичных элементов в окружающей среде аридной зоны СССР: Диссер. на

соиск. уч. степени. док. хим. наук. - Т.: ДСП, 1988. – 420 с.

98. Петухов О.Ф., Санакулов К., Хасанов А.С., Мустакимов О.М. Окислительно-восстановительные процессы в металлургии. – Т.: Истиколол нури, 2013. – 416 с.

99. Алексеенко В.А., Алексеенко Л.П. Геохимические барьеры. – М.: Издательство Логос, 2003. – 144 с.

100. Kist A.A., Danilova E.A., Khusniddinova S.Kh., Mukhina A.V. Activation determination of the form of chlorine in water //Atomic Energy, 2010, v. 109(6), – p. 428-430.

101. Акинфиев Н.Н., Баронецкая Л.Д., Осмоловский И.С., Швец В. М. Физико-химическая модель формирования состава вод отвалов горнодобывающих предприятий // Геоэкология. – М.: 2001. -№5. – С. 411-419.

102. Yuldashev B. S., Passell H. D., Salikhbaev U. S., Radyuk R. I., et al. Study of Transborder Contamination of the Syr-Darya and Amu-Darya Rivers and Their Inflows // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 2008, Nuclear Risks in Central Asia, – p. 181-189.

103. Кист А.А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. – Т.: Фан, 1987. – 236 с.

104. Исаматов Э.Е., Кулматов Р.А, Кист А.А. Изучение закономерностей миграции микроэлементов в природных водах аридной зоны радиоаналитическими методами //Водные ресурсы. 1988. -№4. – С. 103-109

105. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. –М.: Логос, 2000. – 320 с.

106. Строительство водовода технической воды и опреснительной установки на ГМЗ-3 (Проектная документация). Инв. №56394 ПТ-78091, 78092, 78095-ПЗ. 2010. – 178 с.

107. Кочетов А.В., Давронбеков Р.У. Вероятность экологического влияния хвостохранилища ГМЗ-2 на близлежащие водоисточники //Горный вестник Узбекистана. 2001. -№2. – С. 94-97.

108. Собакин П.И., Молчанова И.В. Миграция тяжелых естественных

радионуклидов в почвенно-растительном покрове в условиях техногенного загрязнения // Экология. – Москва.: -№2. 1998. – С. 98-101.

109. Рыбковский В.Д., Узлов В.С., Крымов Л.П. Опыт эксплуатации, проблемы и пути развития хвостохранилищ ГМЗ-2 //Горный журнал. – Москва.: 2008. -№4 – С. 113-116.

110. Экологические основы природопользования: Учебное пособие / Под ред. проф. Арустамова Э.А. – М.: Издательский Дом «ДашКо», 2002. – 236 с.

111. Крымов Л.Р., Узлов В.С. О возможности возведения дамб хвостохранилищ Навоийского ГМК способом намыва //Горный вестник Узбекистана. 2007. -№2. (29). – С. 61-63.

112. Кузнецов В.И. и др. //В сборнике научных статей. Ядерные микрофильтры. – Дубна.: 1982. – С. 129-137.

113. Петухов О.Ф., Хасанов А.С. Металлургия радиоактивных металлов. – Ташкент.: Muharrir, 2011. – 224 с.

114. Петров Ю.В. и др. ^{234}U в высокообогащенном топливе /Атомная Энергия, – Т.83. -вып.4. 1997. – С. 234-236.

115. Урановая геология и урановорудная база Республики Узбекистан //Сборник тезисов докладов Республиканской научно-технической конференции. – Ташкент.: 14-16 май. 1996. – 134 с.

116. Живов В.Л., Бойцов А.В., Шумилин М.В. Уран - геология, добыча, экономика. – М.: «Атомредметзолото», 2012. – 304 с.

117. Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан // Под редакцией Шоякубова Т.Ш. – Ташкент.: Фан, 1996. – 335 с.

118. Павлов И.В., Покровский С.С., Камнев Е.Н. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.

119. Толстов Е.А., Першин М.Г., Ганджумян Р.А., Филиппов С.А. Охрана окружающей среды при разработке гидрогенных месторождений урана подземным выщелачиванием. –М.: ООО Геоинформцентр, 2003. – 44 с.

120. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные

санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). – Ташкент.: 2006. – 136 с.

121. Рекомендация МИ 2453-2000. Методики радиационного контроля. Общие требования. – Москва.: ВНИИФТРИ, 2000. – 24 с.

122. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиозэкологии. – Томск.: Издательство ТПУ, 1997. – 384 с.

123. Образцов А.М., Голищенко Г.Н., Беленко А.П. О характере изменения радиоактивного равновесия в пласте фосфорита и его влияние на рудосортировка // Горный вестник Узбекистана. 2001. -№2. – С. 7-8.

124. Филиппов С.А. Метод оценки и выбора параметров открытой разработки рудных месторождений при рациональном использовании ресурсов // Горный вестник Узбекистана. 1998. №2. – С. 46-52.

125. Азарова С.В. Отходы горнодобывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. - Томск, 2005. – 19 с.

126. Соколов В.В. Ретроспективная оценка доз при облучении населения на территориях, загрязненных радионуклидами Чернобыльской АЭС. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - Тула.: 2003. – 36 с.

127. Бортникова С.Б. и др. Техногенные озера. Формирование, развитие и влияние на окружающую среду. - Новосибирск.: Изд-во СО РАН, 2003. – 120 с.

128. Санакулов К. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. - Ташкент.: Фан, 2009. – 432 с.

129. Иноземцев С.Б. Геофизические аспекты разведки и разработки рудных месторождений // Горный журнал. 1998. -№8. – С. 27-29.

130. Тухтаев А.К., Холопов О.Е. Эффективные методы захоронения полигонов с радиоактивными отходами // Горный вестник Узбекистана. 2003. -№1. – С. 59-63.