

6
А-39

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ (ВНИИЯГГ)

На правах рукописи

А. А. АБДУЛЛАЕВ

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

(специальность 01.051—„Геофизика“)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА — 1971

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ (ВНИИЯГГ)

А. А. АБДУЛЛАЕВ

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

(специальность 01.051 „Геофизика“)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА — 1971

6
А 39

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В последние годы усилилось внимание к разработке новых высокочувствительных точных и более эффективных ядерно-физических методов изучения различных природных объектов и конструктивно-технических материалов. В числе указанных природных объектов подземные воды занимают особое место своей подвижностью и способностью растворять различные химические элементы, встречающиеся на пути их движения в подземной среде. Исследование ДИНАМИКИ и ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА подземных вод с помощью указанных высокочувствительных и точных методов дает возможность получить важные данные для решения практических задач гидрогеологии, гидротехники и поисковой гидрогеохимии.

Применение таких методов для изучения ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ подземных вод (скорость фильтрации, действительная скорость, направление потока, коэффициент фильтрации, пористость породы) дает возможность правильно оценить расход и баланс подземных вод, выявить наличие гидродинамической связи между водоносными пластами и отдельными источниками водоснабжения, определить картину фильтрации вод из гидротехнических сооружений и решить вопросы рационального использования водных ресурсов для нужд народного хозяйства.

Применение высокочувствительных и эффективных методов для изучения ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА подземных вод, окажет полезные услуги гидрогеохимикам в деле поиска полезных ископаемых глубокого (скрытого) залегания и изучения законов миграции элементов в земной коре.

Взаимосвязь между изучением элементного состава и исследованием динамики подземных вод обусловлена тем, что в

первом случае подземные воды играют роль информаторов о наличии (или отсутствии) полезных ископаемых в исследуемом районе, а во втором случае — роль разведчиков, уточняющих месторасположение указанных ископаемых. Кроме того, изучение подземных вод с этих двух позиций дает возможность оценить качество подземных вод и определить пути рационального их использования для питьевых, сельскохозяйственных, технических и лечебных нужд.

Основной целью исследования автора было создание комплексов высокочувствительных, точных и эффективных ядерно-физических методов изучения динамики и элементного состава подземных вод с последующим их применением на практике для решения различных задач гидрогеологии, гидротехники и поисковой гидрогеохимии в различных районах Ср. Азии (УзССР, Кирг.ССР).

ПЕРВЫЙ КОМПЛЕКС МЕТОДОВ, разработанный для исследования динамических параметров подземных вод, основан на применении радиоактивных и стабильных изотопов водорода (H^3 , H^2) и йода (J^{131} , J^{127}) в качестве индикаторов и создании соответствующей регистрирующей аппаратуры.

ВТОРОЙ КОМПЛЕКС МЕТОДОВ, разработанный для исследования элементного состава подземных вод, основан на активации водных образцов в потоке тепловых и резонансных (надтепловых) нейтронов с последующим гамма-спектрометрическим определением интересующих нас элементов. Разработка этого комплекса методов проводилась нами в инструментальном и радиохимическом вариантах нейтронно-активационного анализа. В первом случае образцы вод облучались в потоке тепловых или надтепловых (резонансных) нейтронов, а во втором случае применялось облучение в полном потоке нейтронов и способ концентрирования элементов (экстракция, ионообменная хроматография, соосаждение). Облучение образцов в потоке резонансных нейтронов позволило увеличить чувствительность инструментального (недеструктивного) метода активационного анализа на один-два порядка, а применение радиохимического (деструктив-

ного) варианта — на два-три порядка.

Основные показатели комплекса методов исследования динамики подземных вод приведены в таблице I, а комплекса методов анализа элементного состава вод — в таблицах 2 и 3. Из указанных таблиц следует, что разработанные нами ядерно-физические методы исследования подземных вод обладают достаточно высокой чувствительностью, точностью и повышенной производительностью.

В реферируемой работе описаны указанные методы, их физические, теоретические и экспериментальные основы, приведены (в виде таблиц и графиков) результаты применения методов в различных районах Средней Азии (УзССР, Кирг.ССР). Эти результаты показывают полезность разработанных методов при решении сложных задач гидрогеологии, гидротехники и поисковой гидрогеохимии.

В приложении к диссертации дается перечень результатов внедрения методов и их передачи производственным организациям, а также перечень авторских свидетельств и работ, зарегистрированных в Госкомитете по открытиям и изобретениям при СМ СССР.

В реферируемой работе обобщены результаты ряда законченных аппаратных и методических разработок, проведенных автором непосредственно и под его руководством (в возглавляемой им лаборатории ядерной гидрогеологии отдела активационного анализа ИЯФ АН УзССР) в течение последних 10 лет. Разработки велись на основе теоретических (расчетных) данных и экспериментальных показателей.

Разработка указанных ядерно-физических методов исследования подземных вод вызвана тем, что существующие традиционные методы изучения динамики подземных вод трудоемки и малопродуктивны, в виду чего они менее эффективны и не всегда применимы. Известные традиционные методы изучения подземных вод с помощью обычных индикаторов (солей и красителей) оказались малочувствительными и неточными. Эти индикаторы обладают свойством сорбционных потерь в

подземной среде и перемещение фронта их частиц отстает от движения частиц подземных вод.

Радиоиндикаторные методы, широко применяемые в последние годы обладают повышенной чувствительностью. Тем не менее обычно применяемые в настоящее время радиоиндикаторы обладают тем же недостатком сорбционных потерь. Это, наряду с требованиями правил радиационной безопасности, в ряде случаев ограничивают их применение. К таким случаям относятся, например, изучение процессов фильтрации вод в глинистых средах и наличие источников водоснабжения в исследуемых районах.

Разработанный нами комплекс методов изучения динамики подземных вод с применением указанных выше радиоактивных и стабильных изотопов, в сочетании с радиозондовыми методами, позволяет исключить недостатки существующих методов и проводить изучение динамики подземных вод в любых гидрогеологических и гидротехнических условиях изучаемого района.

Существующие методы анализа элементного состава природных вод недостаточно точны, обладают также невысокой чувствительностью и малой производительностью, ввиду чего они не в полной мере удовлетворяют требованиям современной поисковой гидрогеохимии.

В последние годы ЦК КПСС и Совет Министров СССР обращают большое внимание на улучшение водоснабжения, дальнейшее развитие техники мелиорации и усиление поиска полезных ископаемых. В решениях Третьей Всесоюзной конференции по гидрогеохимическим поискам месторождений полезных ископаемых, созванной в феврале 1971 года (г. Томск), отмечается, что в настоящее время недостаточно изучены микрокомпонентный состав подземных вод (в том числе вод глубоких горизонтов), а применяемые методы анализа несовершенны. Указывается на необходимость усиления разработки высокочувствительных и экспрессных методов анализа подземных вод на микрокомпоненты.

В свете вышеуказанного, разработка высокочувствительных и эффективных ядерно-физических методов исследования подземных вод приобретает большое значение. Этому вопросу уделялось большое внимание также на международных конференциях и симпозиумах, созванных в последние годы Международным агентством по применению атомной энергии в мирных целях (МАГАТЭ).

Диссертационная работа состоит из двух разделов, 6 глав, 275 страниц машинописного текста, включая оглавление, введение, заключение, цитированную литературу (550 названий), 82 рисунка, 31 таблицу.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В диссертации рассмотрены основы и содержание существующих традиционных методов: опытные откачки, поплавковый метод, метод гидрозолигов, химические, калориметрические и геофизические методы. В химических и геофизических методах индикаторами служат соли, а в калориметрических — красители. Показано, что метод откачки, применяемый для определения коэффициента фильтрации и производительности откачки, сложен и обходится дорого; поплавковый метод определения направления потока примитивен, а метод гидрозолигов является не экспрессным. Геофизические методы (как и химические) страдают наличием сорбционных потерь используемых индикаторов и непригодны для исследования подземных вод с повышенной минерализацией.

Тем не менее эти методы, в развитии которых огромную роль сыграли Д.И. Кочерин, Н.А. Огильви, С.А. Коль, И.И. Гримбаум, Б.К. Матвеев, Д.И. Федорович, В.Н. Дахнов и

др., имеют большое значение при решении многих вопросов гидрогеологии и гидротехники. Калориметрический метод обладает несколько меньшей сорбцией красителя, позволяет анализировать сравнительно малые количества индикатора, но он страдает сильной зависимостью флуоресценции от рН среды.

Наиболее современными и более выгодными являются методы радиоактивных индикаторов, с использованием высокочувствительной радиометрической счетной аппаратуры. Это дает возможность применить относительно меньшее количество радиоиндикаторов, что исключает влияние осмотической циркуляции, позволяет относительно лучше исследовать подземные воды с повышенной минерализацией.

Ввиду этого методы радиоактивных индикаторов широко применялись в последние годы во всех странах мира. В частности, в развитии этих методов большую роль сыграли работы советских ученых: Н.В. Чураева, Н.И. Ильина, Н.А. Флексера, В.И. Ферронского, В.А. Емельянова и других, а также и зарубежных ученых И. Майрхофера, М. Боровчука, Н. Мозера, А. Зубера, В. Туркова, И. Немчиновича и др.

В обзоре приведены основы теории индикаторных методов для одиночных (пусковых) и группы (наблюдательных) скважин, рассмотрены случаи наличия однородных и неоднородных сред, приведены формулы для расчета динамических параметров подземных вод. Дается также краткое описание метода изучения подземных вод с помощью контроля естественного содержания трития, в основе чего лежит закон радиоактивного распада трития и постоянство его образования в атмосфере с последующим попаданием в подземные воды. Этим методом многие авторы пользовались для решения некоторых общих вопросов гидрогеологии, какими являются генезис, возраст и режим питания вод. Однако оперативное решение многих практических вопросов гидрогеологии и гидротехники путем изучения естественного содержания трития трудно осуществимо. К тому же определение естественного содер-

жания трития связано с длительным и многократным обогащением больших объемов водных проб с последующей их очисткой от радиоактивных примесей путем перегонки. Это объясняется незначительной концентрацией естественного содержания трития в природных водах: отношение числа атомов трития к числу атомов протия в природных водах составляет лишь величину $1 \cdot 10^{-18}$.

В литературе известны также методы определения естественного содержания дейтерия в природных водах: поплавковый и массспектрометрический методы, метод показателя преломления и фото-нейтронный метод. В основе последнего метода лежит фото-ядерная реакция на ядрах дейтерия. Как показывают опыты, фото-нейтронный метод обладает достаточной чувствительностью, точностью и, в отличие от других методов, не требует предварительной очистки проб от мешающих примесей.

Из работ советских ученых Ф.А. Алексеева и В.Н. Сойфера известно, что этот метод определения дейтерия в подземных водах был успешно использован для решения ряда общих и важных вопросов гидрогеологии. В частности, изучая дейтерий совместно с радиоэлементами, они весьма удачно рассмотрели вопросы формирования и истории развития подземных вод Амударьинского нефтегазоносного бассейна и пластовых вод различных районов СССР; в результате этого получены интересные сведения о формировании подземных вод, условиях водообмена и механизме формирования изотопного состава вод в открытых гидрогеологических системах.

В работе приведен также обзор существующих односкважинных радиозондовых методов с указанием их достоинств и недостатков. Отличительной чертой этих методов является то, что с их помощью возможно определять скорость фильтрации и направление потока в одиночных скважинах без отбора проб.

Зондовые методы исследования подземных и грунтовых вод весьма перспективны, в виду чего на их применение обраще-

но в последние годы особое внимание исследователей. В существующих в настоящее время зондах детектор радиоактивного излучения расположен внутри свинцового экрана цилиндрической формы с узкой коллимационной щелью сбоку. Такой зонд регистрирует активность индикатора в скважине лишь в одном направлении со стороны щели. Поэтому зонд такой конструкции приходится вращать внутри скважины (после запуска радиоиндикатора), разыскивая направление потока по максимальной интенсивности индикатора, выносимого потоком из скважины в грунт. При этом определение скорости фильтрации проводится путем закрепления зонда в положении указанного максимума интенсивности и прижатия его к стенке скважины так, чтобы щель зонда совпала с направлением потока. Зонд такой конструкции, где детектором излучения служит газоразрядный счетчик типа СТС-5, был предложен советским ученым Н.В. Чураевым и несколько позднее — австрийским ученым И. Майрхофером, который применил сцинтилляционный детектор $NaJ(Tl)$. Недостатком этих зондов является необходимость розыска направления потока путем указанного выше вращения зонда, что может вызвать (при определенных условиях) нарушение естественного гидродинамического режима в скважине и перераспределение радиоиндикатора. Кроме того, при работе с указанными зондами требуется выдержка во времени (после запуска индикатора до начала измерений), что необходимо для полного выноса индикатора из скважины в грунт. При этом время выдержки может оказаться достаточно большим при малых скоростях потока подземных вод. Несмотря на эти недостатки, указанные выше зонды представляют большой научный и практический интерес для изучения подземных и грунтовых потоков. Они широко применяются в последние годы советскими и зарубежными исследователями. Советские ученые (Н.В. Чураев, Н.И. Ильин и др.) применяют зондовые методы в сочетании с координатным методом исследования грунтовых потоков. Зарубежные ученые (И. Майрхофер, М. Боровчук, И. Грабзик, А. Зубер, В. Туркова и др.) применяют эту методи-

ку с различными техническими приспособлениями к зонду — в виде прижимного устройства, дополнительного неподвижного внешнего корпуса, внутри которого вращают зонд и т.д. Как будет видно из последующего изложения, с учетом недостатков существующих зондов, автору этих строк удалось создать зонды несколько новой конструкции.

2. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОД

Приведен обзор существующих аналитических методов (калориметрический, полярографический, спектральный и др.), в которых широко применяются различные способы концентрирования элементов (выпаривание, осаждение, ионообменная хроматография, экстракция и т.д.). Дается краткая характеристика этих методов с указанием их достоинств и недостатков. Основным недостатком этих методов является малая чувствительность, невысокая производительность и в ряде случаев неточность получаемых результатов.

Несмотря на эти недостатки, указанные методы широко применяются на практике и призваны сыграть большую роль в гидрогеохимических исследованиях подземных вод, а в их развитии огромное значение имели труды ряда ученых различных научно-исследовательских центров (ВСЕГИНГЕО, ТПИ, ВСЕГЕИ, ЛТИ и др.). Основы и сущность указанных методов изложены в работах И.Ю. Соколова, А.А. Бродского, П.А. Удодова, А.А. Резникова, Г.А. Голевой, Г.Н. Моррисона и других ученых.

Современными высокочувствительными аналитическими методами, как известно, являются методы нейтронного активационного анализа, которые широко применяются в последние годы для исследования различных природных сред. Эти методы разрабатывались в различных научно-исследовательских центрах (ГЕОХИ АН СССР, ОИЯИ, ИЯФ АН УзССР, ВНИИЯГТ, Институт геофизики Уральского филиала АН СССР и др.). В развитии методов активационного анализа большую роль сыграли

научно-исследовательские коллективы, руководимые И.П.Али-
мариним и Ю.В. Яковлевым, Г.Н. Флеровым, Е.М. Лобановым,
Д.И. Лейпунской, А.С. Штанем, И.Н. Плаксиным и Л.П. Стар-
чиковым, Ю.С. Шимелевичем, А.К. Березиным, Л.Л. Пелеки -
сом, И.А. Масловым, Г.В. Суховым, Ю.П. Булашевичем, К.И.
Якубсоном и другими учеными.

В числе современных аналитических методов достойное
место занимают такие ядерно-физические методы, какими
являются рентгено-радиометрический и нейтронно-абсорбци-
онный, разработанные Всесоюзным институтом минерального
сырья под руководством А.Л. Якубовича. Эти методы, пред-
назначенные для анализа элементного состава минерального
сырья, вполне удовлетворяют требованиям производства ми-
нерального сырья. Известны также работы В.В. Сулина и
сотрудников по разработке способов γ -активационного
элементного анализа проб горных пород, руд и других
веществ (ВНИИЯГГ).

Для того, чтобы анализировать ультрамалые concentra-
ции широкого круга элементов в природных водах, требует-
ся разработать более высокочувствительные аналитические
методы, какими являются методы нейтронно-активационного
анализа. Разработке таких методов для исследования эле-
ментного состава природных вод было уделено слишком мало
внимания. Между тем вопрос этот ждет своего решения и
имеет большое научное и практическое значение.

В реферируемой работе, на основе критического анализа
литературного материала, делается вывод о необходимости
разработки высокочувствительных, точных и производитель-
ных ядерно-физических методов исследования динамики и
элементного состава подземных вод-для решения назревших
задач водоснабжения и поисковой гидрогеохимии.

РАЗДЕЛ I

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Г Л А В А I

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНЫХ И СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ1. МЕТОД ИНДИКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
РАДИОАКТИВНЫМ ИЗОТОПОМ ВОДОРОДА - ТРИТИЕМ

Как указывалось выше, решение разнообразных вопросов
гидрогеологии и гидротехники путем изучения естественного
содержания тритерия водах, затруднительно. Эти труд-
ности могут быть обойдены, используя окись трития в ка-
честве индикатора подземных вод.

Исходя из этих соображений, тритий как индикатор впер-
вые в 1956 г. был использован группой советских ученых
(ВНИИЯГГ, ГрозНИИнефти) под руководством академика Г.Н.
Флёрова и профессора Ф.А. Алексеева для определения зон
перетока вод, нагнетаемых в нефтеносные пласты. Резуль-
таты этих работ показали актуальность применения трития в
качестве индикатора для решения разнообразных вопросов
гидрогеологии и гидротехники.

На основе сказанного и учитывая растущие запросы гид-
рогеологов и гидротехников, нами, в тесном сотрудничест-
ве с ВНИИЯГГ, проводились работы по упрощению существую-
щей тритиевой методики и созданию малогабаритной и высо-
копроизводительной установки, которая могла бы работать
без обогатительной системы и системы разложения проб, с
меньшим числом компонент газонаполнителя, с малым объемом
анализируемых проб (1-2 мл.) и со строгим учетом необхо-
димой для опыта начальной активности индикатора.

Преимущества трития, по отношению к другим индикато -

рам, было подтверждено нашими лабораторными (и полигонными) опытами по прохождению различных индикаторов (в том числе трития) через песок, глинистый песок и глины. Кривые поступления этих индикаторов в наблюдательную скважину показали, что фронт движения йода и фенолфталеина отстает в глинистой (особенно в чисто глинистой) среде от фронта движения трития. Это означает, что тритий является более идеальным индикатором подземных вод, лишенным сорбционных свойств. Для проверки этого положения мы сравнили результаты наших экспериментов с выводами теории, согласно которой идеальный индикатор, не обладающий сорбцией, должен подчиняться закону диффузии в потоке:

$$C(x, y, z) = C_0 (2\sqrt{\pi Dt})^{-3} \exp \left[-\frac{x^2 + y^2 + (z - \vec{W}t)^2}{4Dt} \right] \cos \theta, \quad (1)$$

где: C_0 - начальная концентрация индикатора в момент его запуска в наблюдательную скважину;

$C(x, y, z)$ - концентрация индикатора в момент времени t ;

\vec{W} - средняя скорость движения частиц идеального индикатора, введенного в бесконечно малый объем, помещенный в начале координат;

$2\sqrt{\pi Dt}$ - средне-квадратичное расстояние от центра тяжести некоторого объема, занимаемого частицами индикатора в момент времени t в процессе разбавления и перемещения по направлению потока;

D - коэффициент диффузии;

θ - угол между направлением потока и прямой, соединяющей пусковую скважину с наблюдательной.

Величина D полученная в наших опытах (с учетом дисперсии частиц индикатора), составляет $2 \cdot 10^{-3}$ см²/сек, тогда как в других работах она принималась равной коэффициенту диффузии несмешивающихся жидкостей $(1-5) \cdot 10^{-5}$ см²/сек.

Теоретическая кривая зависимости активности индикатора от времени его прохождения через наблюдательную скважину, рассчитанная по уровню (1), находится в хорошем согласии

с опытными кривыми, полученными для трития. Это значит, что окись трития, по сравнению с другими индикаторами, является идеальным индикатором, фронт движения которого весьма близко совпадает с фронтом движения подземных вод.

Одним из важных условий опыта с применением любого радиоиндикатора является то, что удельная активность проб, отбираемых из наблюдательных скважин, должна быть мала (в пределах допустимой дозы). Это приводит к тому, что применяемая измерительная аппаратура должна быть высокочувствительной, а начальная активность радиоиндикатора строго рассчитанной. Такой расчет следует проводить с помощью формулы, получаемой с учетом параметров измерительной аппаратуры, гидрогеологических параметров исследуемого района, физико-химических свойств и ядерных характеристик индикатора:

$$A_n = 4,7(n - n_{\phi}) (S \omega K f d_{1/2} \eta \mu) \left[\pi z^2 h + \pi (2\sqrt{\pi Dt})^2 \cdot H \rho \right] e^{-\lambda t} \cdot 10^{-4} \text{ мкюри/г} \quad (2)$$

где: A_n - начальная активность индикатора;

n - число импульсов пробы и фона;

n_{ϕ} - число импульсов фона;

δ - поправка на разрешающую способность счетной аппаратуры;

S - площадь поверхности образца, см²;

ω - поправка на телесный угол;

K - поправка на схему распада;

f - поправка на поглощение излучения в слое воздуха и окне счетчика;

$d_{1/2}$ - величина слоя полуослабления;

η - коэффициент, учитывающий анизотропность излучения;

μ - поправочный коэффициент, связанный с адсорбцией индикатора;

$e^{-\lambda t}$ - поправочный коэффициент, учитывающий радиоактивный распад индикатора;

r - радиус скважины;

- h - высота меченого столба воды в скважине;
 H - мощность водоносного пласта;
 P - пористость породы.

Из приведенной, общей для любого индикатора, формулы (2) видно, что применение индикаторов, обладающих сорбционными свойствами, связано с рядом поправочных коэффициентов, трудно учитываемых на практике. В случае же применения трития надобность в учете этих факторов отпадает, так как проба (в виде водородно-третиевого газа) вводится в рабочий (или активный) объем счетчика внутреннего наполнения.

В случае применения трития формула (2) принимает вид:

$$A_n = 4,7(n) - n_{\phi} \left[\pi r^2 h + \pi (2\sqrt{\pi D t})^2 H P \right] \delta \cdot L \cdot 10^{-4} \text{ мкюри/}_2, \quad (3)$$

где δ - поправочный коэффициент, равный отношению объема вакуумной части установки к объему счетчика внутреннего наполнения;

L - поправочный коэффициент, учитывающий переход трития в пленочную (твердую) воду в парах породы, меняющийся (в зависимости от рода породы) в пределах 1-1,23.

Выражение, стоящее в квадратных скобках приведенных равенств, представляет некоторый общий объем, занимаемый индикатором в подземном потоке в момент времени t . Этот объем равен суммарному объему, занимаемому меченой водой в скважине ($\pi r^2 h$) и за ее пределами, в процессе движения, ($\pi (2\sqrt{\pi D t})^2 H P$).

Это показывает, что начальная активность индикатора должна быть тем больше, чем больше расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами.

Формула (3) дает возможность рассчитать кривые зависимости начальной активности трития от времени опыта для различных значений пористости среды. Пользуясь этими кривыми и скоростью фильтрации, определяемой с помощью оди-

ночных скважин, можно (при известной пористости среды) определить действительную скорость потока, а следовательно, и оценить время, необходимой для опытов с группой наблюдательных скважин.

В случае изучения параметров потока подземных вод путем отбора проб из одиночных (пусковых) скважин с величиной L и дополнительным объемом, определяемым вторым членом в квадратных скобках формул (2) и (3), можно не считаться. Тогда приведенные формулы (с учетом расхода воды q и коэффициента дренирующего влияния скважин ε) примут вид для любого индикатора и трития, соответственно:

$$A_n = 4,7(n) - n_{\phi} (s w k \frac{1}{2} d \eta \mu)^{-1} V e^{(\frac{q}{V} \varepsilon + 0,693/T) t} 10^{-4} \text{ мкюри/}_2, \quad (4)$$

$$A_n = 4,7(n) - n_{\phi} V \delta e^{\frac{q}{V} \varepsilon t} \cdot 10^{-4} \text{ мкюри/}_2, \quad (5)$$

где V - объем воды в скважине.

Из этих формул вытекает, что величина начальной активности, необходимая для опыта с одиночной скважиной, прямо пропорциональна объему меченой воды в скважине, времени опыта и расходу воды.

В диссертации показаны пути получения приведенных расчетных формул и отмечается, что в работах других авторов не учтены полностью все необходимые поправочные коэффициенты.

Описанная методика индикации подземных вод с помощью трития обладает чувствительностью $\sim 10^{-10} - 10^{-12}$ Си/мл., точностью $\pm 5\%$ и производительностью 20-25 проб в день - в расчете на одного лаборанта. Как видно, производительность этого метода гораздо выше, чем производительность метода определения естественного содержания трития, где приходится применять обогатительную систему электролизеров и перегонку водных проб.

2. МЕТОД ИНДИКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СТАБИЛЬНЫМ ИЗОТОПОМ ВОДОРОДА - ДЕЙТЕРИЕМ

Литературный обзор показывает, что путем определения естественного содержания дейтерия в природных вода изучаются некоторые общие вопросы гидрогеологии, о которых шла речь выше. Данных по применению дейтерия в качестве индикатора подземных вод для решения практических вопросов гидрогеологии и гидротехники в литературе нами не обнаружено. Между тем применение дейтерия, не связанного с радиационной опасностью, в качестве индикатора подземных вод должно занимать достойное место в изучении фильтрационных потоков подземных вод. С этой целью нами создана фото-нейтронная установка, для которой, путем снятия кривой зависимости скорости счета фото-нейтронов от количества анализируемой пробы, установлен оптимальный объем пробы цилиндрической формы, равный 250 см^3 .

В основе этого метода лежит фото-ядерная (γ, n) - реакция на ядрах дейтерия, получаемая при облучении водных проб γ -квантами Na^{24} с энергией большей порога реакции. При этом регистрация фото-нейтронов проводится с помощью обычных нейтронных газоразрядных счетчиков.

Точность метода $\pm 3\%$, производительность 20 проб в день, начальная активность γ -источника 150 мкюри.

3. МЕТОД ИНДИКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СТАБИЛЬНЫМ ИЗОТОПОМ ЙОДА - J^{127}

Физической основой этого метода является активация водных образцов, отобранных из пусковых и наблюдательных скважин (после запуска индикаторов) с последующим γ -спектрометрическим анализом количественного содержания радиоизотопа J^{128} , образующегося при активации проб нейтронами, согласно реакции $J^{127}(n, \gamma) J^{128}$ ($T_{1/2} = 25 \text{ мин}$; $E_{\gamma} = 0,45$

мэв; $\sigma = 7 \cdot 10^{-3}$). Время облучения 10-15 минут, поток нейтронов $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, чувствительность метода $\sim 10^{-9} \text{ г/мл}$, точность 10-15%, производительность - более 70 проб в день. Метод предусматривает радиохимическое концентрирование йода, проводимое после облучения проб, с помощью экстракции хлороформом и осаждения азотной кислотой. Эта методика, помимо своей радиационной безопасности, весьма полезна для исследования подземных и грунтовых вод, связанных с источниками питьевых вод с недостаточным содержанием йода - что особенно характерно для природных вод Средней Азии. Метод стабильного йода, как и метод дейтерия, обладает высокой чувствительностью, он незаменим не только по своей радиационной безопасности, но и при исследовании подземных вод с повышенной минерализацией, где геофизические методы неприменимы.

4. МЕТОД РАДИОИЗОТОПНЫХ ЗОНДОВ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Из литературного обзора, приведенного в реферируемой работе, видно, что одна группа существующих зондов может быть использована лишь для определения скорости фильтрации, а другая - для определения скорости и направления потока путем вращения зонда в скважине, что приводит к некоторым недостаткам, связанным с нарушением гидродинамического режима в скважине, перераспределением индикатора и выдержкой во времени, необходимой после запуска индикатора до начала измерений.

Автором предложены радиоизотопные зонды новой конструкции (РЗА-1 и РЗА-2), с помощью которых (без вращения зондов в скважине и без указанной выдержки во времени) можно одновременно определить скорость фильтрации, направление потока и расход подземных вод с относительно высокой эффективностью.

Эти качества обеспечиваются конструктивными особенностями

тями зондов с одновременной информацией от группы детекторов на наземную радиотехническую аппаратуру. Первый зонд рассчитан на обычные скорости потока с предварительной меткой столба воды в скважине, а второй - на относительно большие скорости с локальной "точечной" инъекцией воды в скважине при включенном в работу зонде. При этом в качестве радиоиндикатора применен γ^{131} в малых дозах.

Особенностью зондов является их высокая чувствительность $\sim 10^{-10}$ Си/мл, точность $\pm 5\%$ и быстрота получения результатов. В зондах с такой чувствительностью достаточно применить малую безопасную дозу радиоизотопа. Диаметр зондов (6-7 см) рассчитан на размеры скважин, обычно применяемых в гидрогеологии и гидротехнике.

Основные показатели описанного комплекса методов исследования динамики подземных вод приведены в таблице 1.

Г Л А В А II

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОГО КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

В диссертации приведены результаты практического применения описанного выше комплекса разработанных методов изучения параметров движения подземных вод в различных районах УзССР и КиргССР.

С помощью тритиевого метода изучены различные динамические параметры подземных вод отдельных районов Ташкентской и Бухарской областей и Каракалпакской АССР. Исследования проводились с целью нахождения рациональных путей водоснабжения городов Бухары, Кагана, Ходжейли и изучении режима подземных вод исследуемых районов. При этом определялись скорости фильтрации, действительные скорости, коэффициенты фильтрации, пористости пород, направление потока, расход воды, а также наличие гидравлических связей между отдельными водоносными горизонтами.

Т а б л и ц а I

Показатели комплекса методов изучения динамики подземных вод с помощью радиоактивных и стабильных изотопов.

Индикатор	Период полу-распада	Чувствительность метода	Точность метода (%)	Производительность: за 6 час. : за 1 день : (пробы)	Реакция активации: : тивации : стабильного : изотопа	Аппаратура
T	12,3 л.	10^{-10} - 10^{-12} Си/мл	± 5	20-25	-	Тритиевая установка
D	-	$10^{-2}\%$ по H ₂ O	± 3	15-20	H ² (γ, n)H ¹	Фотонейтронная установка
γ^{131}	8 дн.	10^{-10} Си/мл	± 5	Высокая	-	P3A-1 и P3A-2
γ^{127}	-	10^{-9} г/мл	± 10 - 15	60-70	$\gamma^{127}(n, \gamma)\gamma^{127m}$ (T _{1/2} =25 мин.)	γ - спектрометр с AM-100-1

Приводятся также результаты применения ВСЕГО КОМПЛЕКСА РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ на плотине Орто-Токойского водохранилища Кирг.ССР. С помощью зондов сняты карты скоростей и направлений фильтрационных потоков через тело плотины и прилегающие к плотине участки, определены расходы указанных фильтрационных вод. С помощью метода стабильного йода изучены гидравлические связи между достаточно удаленными выработками изучаемых участков плотины где применение радиоактивных индикаторов (в больших количествах) было запрещено. Стабильные и радиоактивные изотопы водорода (H^2 , H^3) применялись частично при решении отдельных вопросов фильтрации, а также для контроля точности новых зондовых методов и метода стабильного изотопа йода. Сопоставлены результаты, полученные с применением описанного комплекса методов, которые показали хорошее согласие.

Целью исследования Орто-Токойской плотины Кирг.ССР была ликвидация аварийной ситуации плотины путем изучения вредных фильтрационных потоков, возникающих в теле и прилегающих участках водохранилища.

В работе приведены также данные применения зондов при изучении фильтрационных потоков в окрестности канала им. Кирова Сырдарьинской области и при исследовании подземных вод в Чиланзарском районе г. Ташкента. В первом случае исследования проводились с целью изучения степени фильтрации вод из канала на участках с лесным насаждением и без него, а во втором случае с целью определения возможности строительства станции метрополитена.

Изложенный в этом (первом) разделе материал позволяет сделать вывод о том, что разработан весьма эффективный комплекс высокочувствительных, точных и производительных ядерно-физических методов изучения различных задач динамики подземных вод (см. табл. I). Приведенные в этом разделе данные практического применения комплекса методов (в виде таблиц, графиков, карт скоростей и расходов подземных вод)

показывают, что методы эти призваны сыграть весьма полезную роль в решении проблемы водоснабжения путем использования подземных водных ресурсов и нормализации эксплуатации гидротехнических сооружений.

РАЗДЕЛ II

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В этом разделе реферируемой работы описывается комплекс разработанных высокочувствительных методов нейтронно-активационного анализа $Au, Ag, W, As, Sb, Cu, La, Dy, Eu$ и Sm в природных водах, приводятся результаты применения этих методов при исследовании подземных вод различных районов Средней Азии.

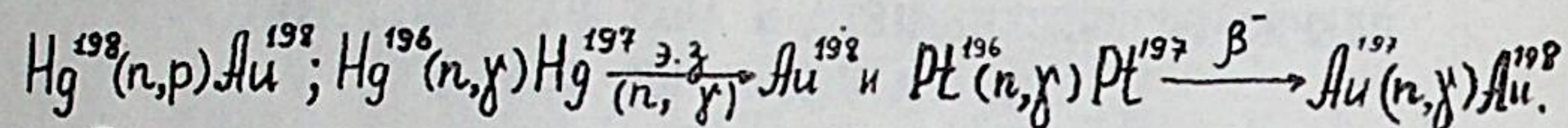
ГЛАВА I

РАЗРАБОТКА НЕЙТРОННОАКТИВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА Au, Ag, W, Sb, As и Cu В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Разработка методов нейтронного активационного анализа этих элементов в природных водах проводилась нами в различных вариантах путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных. При этом активация водных образцов проводилась путем их облучения в потоке тепловых и резонансных нейтронов, а анализ содержания элементов - путем интерпретации γ -спектров образовавшихся радиоизотопов. Указанное облучение образцов проводилось в вертикальных каналах ядерного реактора с величиной потока $\Phi = 1,8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Учет факторов, влияющих на точность анализа (время активации и "охлаждения", статистические флуктуации скорости счета, самоэкранирование нейтронного потока, интерфе-

рирующие ядерные реакции, подготовка образцов к облучению и т.д.), проводился для каждого анализируемого элемента, о чем подробно изложено в диссертации. Например, при разработке метода анализа золота по изотопу Au^{198} учитывалась возможность его образования из соседних элементов Hg и Pt в результате побочных ядерных реакций на быстрых нейтронах:



Показано, что влияние таких реакций мало, так как содержание ртути и платины в природных водах, сечения их активации и доля быстрых нейтронов в канале реактора незначительны.

Подобным же способом учитывалось влияние других побочных и вторичных реакций, могущих мешать определению остальных анализируемых элементов.

Описана аппаратура и физические факторы, определяющие условия измерений (учет комптоновского распределения, геометрии опыта, рассеянного излучения, разрешающей способности аппаратуры, эффективности спектрометра и т.д.).

Кратко изложены основы расчета количественного определения элементов, способы оценки чувствительности и возможные пути повышения селективности активационного анализа. В частности, расчетные данные, на основе чего были сняты кривые зависимости селективности метода от времени активации и "охлаждения", показали, что в инструментальном варианте анализа золота время активации и "охлаждения" следует выбрать равными 10 ч и 8 дн - соответственно.

Эти данные, как показали опыты, оказались оптимальными при анализе золота в природных водах.

При разработке инструментального варианта активационного анализа микроэлементов образцы облучались также в потоке резонансных (надтепловых) нейтронов с применением кадмиевого экрана. В этом случае эффективность метода оценивалась, исходя из величины кадмиевой селективности:

$$\xi_{cd} = \frac{R_{cd}^j}{R_{cd}^i} = \frac{S_{oj} \cdot S_{cd}^i}{S_{cd}^j \cdot S_{oi}}, \quad (6)$$

где S_{oi} и S_{oj} - площади под фотопиками определяемого и мешающего элементов, облученных полным потоком нейтронов;
 S_{cd}^i и S_{cd}^j - площади под фотопиками определяемого и мешающего элементов, облученных резонансными нейтронами.

В частности, показано, что при определении Au и Sb мешающие элементы активируются в кадмиевом экране гораздо слабее, чем указанные определяемые элементы. При таком способе сокращается время активации и "охлаждения", а чувствительность увеличивается на один-два порядка.

Помимо указанных двух видов инструментального (недеструктивного) варианта анализа нами разработаны радиохимические (деструктивные) варианты активационного анализа, позволяющие при необходимости еще больше повысить чувствительность метода. При этом применялись наиболее простые способы концентрирования определяемых элементов (ионообменная хроматография, экстракция, осаждение).

В этой главе описаны инструментальные варианты нейтронного активационного анализа, разработанные для элементов Au, Ag, As и Sb и радиохимические - для элементов Au, Ag, W и Cu .

Данные инструментального варианта активационного анализа контролировались путем сравнения данных радиохимического варианта активационного анализа, что показало хорошую сходимость результатов. Кроме того, каждый вариант тщательно проверялся (многократными контрольными измерениями) на воспроизводимость и точность.

Разработана также система последовательных операций по парному определению Ag и Au , W и Au , Au и Sb , As и Sb в одной облученной пробе, что приводит к повышению эффективности методов и более точному установлению корреляционной связи изучаемых элементов в природных водах.

Основные показатели разработанных методов ($f = 1,8 \cdot 10^{13}$)

Метод	Радиоизотопы	Пер. полураспада	Энергия γ -излучения, Мэв	Время облучения	Время "охладения"
Инструментальный вариант нейтронно-активационного анализа	Au ¹⁹⁸	2,7 дн	0,41; 0,69; 0,9	10 ч	8-10 дн
	Ag ^{110m}	253 дн	0,66; 0,88; 0,44	5 ч (P)	2 дн (P)
	As ⁷⁶ и Sb ¹²²	27ч; 2,8 дн	0,56; 0,57 и др.	30 ч	2 мес
	Au ¹⁹⁸ и Sb ¹²²			4-8 ч.	6-8 дн
Радиохимический вариант нейтронно-активационного анализа	Au ¹⁹⁸			2-4 ч (P)	6-8 дн (P)
	Au ¹⁹⁸			2 ч	2 дн
	Ag ^{110m}			2 ч	10 ч (P)
	W ¹⁸⁶	24 ч	0,072; 0,134; 0,48; 0,69;	10 ч	8-10 дн
	Ag ^{110m} и Au ¹⁹⁸			1-2 ч	24 ч
	Ag ^{110m} и Au ¹⁹⁸			10 ч	5-6 дн
	W ¹⁸⁶ и Au ¹⁹⁸			2 ч	10-12 ч
Cu ⁶⁴	12,9 ч	0,51; 1,32	1-2 ч	10-30 ч	

Таблица 2

нейтр. см⁻²сек.⁻¹)

Чувствительность (г/мл)	Точность (%)	Произв. за 6 ч. (пробы)	Вид облучаемых проб	Способ концентрирования
10 ⁻⁸	7-15	15-20	Сух. ос. из 50-200 мл	Выпаривание
10 ⁻⁹ (P)	7-10 (P)	15-20		
10 ⁻⁷	15	10-15	Сух. ос. из 200-500 мл	"-
10 ⁻⁷ -10 ⁻⁶	10-15	50-60	Вода 1-2 мл	
10 ⁻⁹ (P)	10-15	70-100	Сух. ос. из 20-50 мл	Выпаривание
10 ⁻¹⁰ -10 ⁻¹¹	10	15-20	Сух. ос. из 50-200 мл	Экстракция диэтилэфиром (после облучения) или хроматогр. на АВ-17 (до облуч.)
10 ⁻¹¹	10	15-20		
10 ⁻⁸ -10 ⁻⁹	10-15	10-15	Сух. ос. из 200-500 мл	Осажд. аз. кислотой
10 ⁻⁸ -10 ⁻¹⁰	10-15	15-20	Сух. ос. из 50-100 мл	Экстракция триб. фосфатом или осажд. аз. кислотой
10 ⁻⁹ -10 ⁻¹¹	10-15	15-20	Сух. ос. из 200-500 мл	Осажд. Ag экстракция Au
10 ⁻⁹ -10 ⁻¹¹	10-15	15-20	Сух. ос. из 50-100 мл	Осажд. W экстракция Au
10 ⁻⁹	10-15	10-15	Сух. ос. из 50-100 мл	Соосаждение аммиаком, носитель Fe(OH) ₃

Приведены соответствующие γ -спектры и таблицы данных контрольных опытов по проверке точности и воспроизводимости методов.

В таблице 2 приведены сводные данные основных показателей разработанных нами методов активационного анализа элементов в природных водах; буквой (Р) обозначены результаты, полученные путем облучения образцов в потоке резонансных (надтепловых) нейтронов.

На основе изложенного делается вывод о том, что разработаны инструментальные и радиохимические варианты методов нейтронно-активационного анализа указанных выше элементов в природных водах, обладающие высокой чувствительностью, точностью и относительно повышенной производительностью.

Г Л А В А П

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ La, Dy, Eu и Sr В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Природные воды отличаются большим набором содержащихся в них микро и макро элементов с ультрамалыми концентрациями последних. Поэтому количественный анализ микро-элементов в природных водах связан с определенными трудностями. Это относится также к анализу РЗЭ, раздельное определение которых еще больше затруднено наличием свойств совместного (суммарного) их выделения при концентрировании. Такое совместное выделение РЗЭ связано с идентичностью их химических свойств. Поэтому с помощью существующих традиционных методов обычно проводят лишь суммарный анализ РЗЭ.

Нами была проведена разработка ядерно-физических методов раздельного анализа некоторых РЗЭ, опираясь на индивидуальные ядерные характеристики этих элементов.

В диссертации приводится обзор существующих методов анализа РЗЭ с указанием их достоинств и недостатков, коротко описываются существующие способы концентрирования и выделения суммы РЗЭ. К таким относятся, в основном, способ экстракции, ионообменной хроматографии и соосаждения.

Говорится также о влияющих на анализ РЗЭ факторах, какими являются, в частности, адсорбция на стенках посуды, pH раствора, количество носителя, природа и концентрация посторонних ионов, время соприкосновения раствора с посудой, температура и т.д.; описаны пути и способы их учета.

При анализе РЗЭ большое значение имеет полнота выделения суммы РЗЭ, что обычно осуществляется путем применения различных способов соосаждения и контроля с помощью радиоизотопов.

Дается также описание существующих физических методов анализа РЗЭ (рентгено-спектральный, спектрофотометрический, эмиссионный спектральный, флуоресцентные, люминисцентные, полярографические и т.д.), общим недостатком которых является не только невысокая чувствительность и малая производительность, но и указанная выше трудность раздельного их определения. Что касается масспектрометрического метода анализа, то он является сложным, требующим специальной подготовки обслуживающего персонала, в виду чего метод не нашел широкого применения.

Определение РЗЭ в природных водах путем разработки методов активационного анализа находится также в зачаточном состоянии, хотя первые работы по активационному анализу были начаты именно с анализа РЗЭ с помощью ампульных источников. С появлением атомных реакторов появились определенные возможности по анализу этих элементов в различных объектах, что наглядно было показано в работах Ю.В. Яковлева по анализу РЗЭ в графите, берилии, висмуте, свинце и германии, с чувствительностью 10^{-4} - $10^{-8}\%$. Тем не менее выявлению такой возможности анализа РЗЭ в природных водах уделялось мало внимания, а имеющиеся отдельные работы были

посвящены лишь исследованию возможности определения РЗЭ в морских водах.

В последнее время в печати появились работы японских ученых - Ода Тосиюки и других - по анализу La , Dy , Eu , Sm и Sr в морских, горячих и ключевых водах Японии и Новой Зеландии. Эти работы появились в печати после публикации наших работ по отдельному определению РЗЭ в природных водах. Очевидно, независимое выполнение подобных работ японскими учеными и нами показывает важность проблемы отдельного анализа редкоземельных элементов.

При разработке методов особое внимание было уделено нами выбору оптимальных условий концентрирования суммы РЗЭ и выявлению условий подавления адсорбционных потерь на поверхности стеклянной посуды. На основе анализа литературного материала и проведенных контрольных опытов было установлено, что минимальные адсорбционные потери наблюдаются в растворе с кислотностью 0,1 (рН HCl); при этом стандартный раствор довольно больших концентраций (0,1-0,01%) остается в посуде более стабильным в течение длительного времени.

Путем подобных же исследований было установлено, что наиболее простым, экспрессным и пригодным для массовых анализов является способ осаждения РЗЭ с гидроокисями $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$ при рН = 7-8. Такой способ осаждения РЗЭ, который можно проводить в полевых условиях (до облучения проб), освобождает аналитиков от перевозки больших объемов водных образцов из поля в лабораторию. Контрольные опыты, проведенные с помощью радиоиндикаторов La^{140} и Sm^{153} показали, что подобное осаждение суммы РЗЭ, осуществляемое добавлением аммиака (с последующим нанесением раствора на фильтровальную бумагу), является полным. Это позволяет освободиться от традиционного способа определения выхода носителя.

Для окончательного исключения посторонних элементов,

которые частично могли осаждаться аммиаком, мы проводили вторичное соосаждение РЗЭ (после облучения) с помощью фторидов лантана (LaF_3).

В этом случае контроль полноты соосаждения проводился также с помощью радиоизотопа La^{140} . Статистическая ошибка измерений количества импульсов, в сумме с ошибками отбора анализируемого количества радиоактивного индикатора, не выше 1,5%.

Установив условия полноты осаждения суммы РЗЭ, необходимо было детально проанализировать возможные пути отдельного определения РЗЭ в природных водах путем всестороннего изучения их ядерных характеристик. Для этого существующие РЗЭ были разбиты на 4 группы по сходным энергиям γ -излучения, что дает возможность для определенных суждений о возможных путях отдельного определения этих элементов. Указано, что разработка методов нейтронно-активационного анализа для большинства РЗЭ сталкивается с трудностями, связанными с наличием неразличимых между собой ядерных характеристик.

Рассмотрены пути учета комптоновского распределения жесткого гамма-излучения мешающих элементов.

Всесторонний учет ядерных характеристик РЗЭ показал возможность отдельного определения La , Dy , Eu и Sm в природных водах - при строгом учете комптоновского распределения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАНТАНА проводилось по радиоизотопу La^{140} , получаемому в нейтронном потоке ($\phi = 1,8 \cdot 10^{-13}$ нейтр. $cm^{-2} \cdot сек^{-1}$) согласно реакции $La^{139}(n, \gamma) La^{140}$ ($T_{1/2} = 40,3$ ч.; $E_{\gamma} = 1,6$ МэВ).

Перед облучением проводилось соосаждение суммы РЗЭ (в том числе лантана) с помощью $Al(OH)_3$. После облучения образцы подвергались вторичной обработке путем соосаждения РЗЭ с помощью LaF_3 . Чувствительность метода определения лантана без вторичной фторидной обработки составляет величину порядка 10^{-7} г/мл (время облучения 1 час,

"охлаждения" - 2-3 сутки), а чувствительность его определения при вторичной (фторидной) обработке 10^{-9} г/мл (время "охлаждения" 15-20 ч.). Из этого видно, что анализ лантана лучше проводить путем вторичной обработки, так как для этого не требуется особых затрат. После указанных обработок образец "охлаждался" в течение указанного времени, снимались γ -спектры и по фотопику с энергией 1,6 Мэв определялось его количественное содержание. В течение указанного времени "охлаждения" все короткоживущие РЗЭ (Dy, Eu и др.) распадаются, а остальные долгоживущие РЗЭ не успевают заметно активироваться за выбранное время облучения. Такие элементы, как Sc, Y, Be, In, Cr и Ga которые могут соосаждаться с РЗЭ, не мешают определению La^{140} - при выбранных условиях эксперимента.

При анализе La^{140} мешающим может оказаться Pr^{142} с энергией γ - излучения близкой к энергии γ -излучения La^{140} . Было установлено, что влияние празеодима может сказаться лишь при его наличии в образцах более 10^{-6} г/мл, что не удастся обнаружить при соосаждении РЗЭ из небольших объемов облучаемых нами вод (5-10 мл).

Проведена детальная оценка возможных интерферирующих ядерных реакций, могущих возникнуть под действием медленных и быстрых нейтронов и приводящих к образованию La^{140} из Ba^{138}, La^{139} и Cs^{140} -согласно реакций вида (n, γ) , (n, p) , (n, α) , а также из элементов Th, Pa и U -согласно реакции деления вида (n, f) .

Показано, что подобные реакции не вносят заметного влияния, так как сечения этих реакций и доля быстрых реакторных нейтронов незначительны, а содержание U^{235} (с большим сечением реакции деления на медленных нейтронах) слишком мало в природных водах. Контрольные опыты по измерению активности облученных стандартных образцов La ($\sim 10^{-8} - 10^{-10}$ г) в кадмиевом экране и без него показали, что вклад, вносимый быстрыми нейтронами, не выше 3,5%.

Существенное влияние в активационном анализе может

оказать самоэкранирование нейтронов в образце, что сильно сказывается при повышенных сечениях поглощения и больших объемах облучаемых образцов. Так как сечение поглощения у многих РЗЭ больше, чем сечение активации, учет этого фактора при анализе РЗЭ очень важен. Теоретическая оценка величины самоэкранирования путем использования математического аппарата трудна и не дает желаемых результатов. Это объясняется широким угловым и энергетическим распределением реакторных нейтронов, от чего зависит и сечение поглощения. Выходом из этого положения является облучение образцов с минимальными весами. Высокая чувствительность разработанных нами методов ($\sim 10^{-8} - 10^{-10}$ %) позволяет облучить образцы с малым весовым количеством, в виду чего эффектом самоэкранирования можно пренебречь. Такой вывод был сделан на основе данных контрольных опытов, проведенных путем снятия кривых зависимости активации $La^{140}, Dy^{165}, Eu^{152m}, Sm^{153}$ от их весового содержания.

Дальнейшим шагом по определению РЗЭ в природных водах была разработка метода нейтронно-активационного анализа Dy, Eu и Sm в одном облученном образце по их радиоизотомам Dy^{165}, Eu^{152m} и Sm^{153} получаемым согласно (n, γ) - реакциям. Эти элементы отличаются от других радиоизотопов РЗЭ различными периодами полураспада (2,4; 9,2 и 47 ч - соответственно), большими сечениями активации, при почти неразличимых энергиях γ - излучения (95,122 и 103 Кэв). Это указывает на возможность их определения путем разложения сложной кривой распада с общим фотопиком (~ 100 Кэв) на отдельные составляющие по периодам полураспада. Такую операцию можно проводить сравнительно легко для системы $Dy^{165} + Eu^{152m} + Sm^{153}$.

Вначале методика отработывалась на эталонных образцах системы $Dy + Eu$ и $Dy + Eu + Sm$ - путем снятия их γ -спектров. Такая методика обладает чувствительностью определения 10^{-10} г/мл (для Dy^{165} и Eu^{152m}) и

10^{-9} г/мл (для Sm^{153}). Время облучения было выбрано равным 10–20 мин., а "охлаждения" – 1–2 часа.

При разработке этого метода были проведены те же операции соосаждения, что и при разработке метода определения La , с той лишь разницей, что в данном случае носителем служил $Fe(OH)_3$. Как показали опыты, это дает возможность обработать пробы сразу после их облучения, так как Fe не успевает заметно активироваться за выбранное время облучения.

Влиянием эффекта самоэкранирования и возможных интерферирующих ядерных реакций (составляющих лишь несколько процентов) можно пренебречь по тем же причинам, что и при определении La . Точность взвешивания эталонных образцов 1–1,5%, ошибки отбора малых объемов жидкости (1–10 мл) и сорбционных потерь менее 10% для подкисленных растворов. Ошибки, связанные с неоднородностью нейтронного потока в вертикальном канале реактора, сводились к минимуму при соблюдении идентичных условий облучения. Отклонения измеряемых величин от некоторой их средней зависят от статистического характера радиоактивного распада и от нестабильности регистрирующей аппаратуры. Оценка этого отклонения проводилась нами исходя из среднеквадратичной ошибки. Уменьшение этой ошибки осуществлялось путем увеличения времени набора (числа регистрируемых импульсов) до определенного предела, при котором среднеквадратичная ошибка была бы не выше 1–1,5% (включая ошибки, обусловленные нестабильностью измерительного тракта).

В некоторых образцах было обнаружено, что наличие La^{140} при определении Dy^{165} , Eu^{152m} и Sm^{153} создает повышенный комптоновский фон в фотопике 100 Кэв. Учет этого фона методом вычитания показал, что среднеквадратичная ошибка фона, связанная с присутствием La и других элементов, не выше 3–10%.

Разработанные, указанным выше путем, методы определения La, Dy, Eu и Sm были применены для анализа

подземных вод Чуйской долины Кирг.ССР (в сотрудничестве с Институтом геологии АН Кирг.ССР) и для анализа водных образцов, отобранных из различных районов Средней Азии. В диссертации приведены (в виде таблицы) результаты этих исследований.

Основные показатели методов определения указанных РЗЭ приведены в таблице 3.

В итоге этой главы сделан вывод о том, что разработанные высокочувствительные и эффективные нейтронно-активационные методы отдельного анализа редкоземельных элементов La, Dy, Eu и Sm в природных водах. При этом определение Dy, Eu и Sm проводятся в одной облученной пробе. Выбранный при разработке методов способ концентрирования РЗЭ, проводимый до облучения, позволяет освободиться от традиционного определения носителя и транспортировки больших объемов водных образцов из поля в лабораторию.

Г Л А В А III

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ВОД НА ПРАКТИКЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В этой главе диссертации приведены данные практического применения методов, разработанных нами для анализа элементного состава вод.

Методы анализа Au, Ag, W, As, Sb и Cu применены для исследования подземных и рудничных вод в различных районах УзССР, в результате чего обнаружены подземные воды с различной степенью концентрации элементов. Это очень важно для выявления водных ореолов с повышенным содержанием полезных элементов и установления поисковых признаков. Например, в результате применения метода анализа золота выявлены подземные воды отдельных

Сводные показатели методов нейтронно-активационного анализа La , Dy , Eu и Sm в природных водах ($f = 1,8 \cdot 10^{15}$ нейтр. см⁻² сек⁻¹)

Радиоизотопы	Период полу-распада	Энергия γ -излучения	Время облучения	Чувствительность	Точность	Производительность	Способ соосаждения
				г/мл	(%)	за 6 ч (проб)	до облучения
La^{140}	40,3 ч.	1,6	1 ч	$\sim 10^{-7}$	8-10	20	с $Al(OH)_3$
Dy^{165}	"	"	"	$\sim 10^{-9}$	"	15-20	с $Al(OH)_3$
Eu^{152m}	2,4;	0,095; 0,122;	10-20 м	$\sim 10^{-10}$	10-15	10-15	с $Fe(OH)_3$
Sm^{153}	9,2 и 47 ч.	и 0,103	1-2 ч.	$\sim 10^{-9}$			

Примечание: 1. Облучались сухие осадки из 10-20 мл. воды.
2. Производительность методов дана с расчета на одного аналитика, что при организации массовых анализов будет гораздо выше.

районов с повышенным содержанием золота, что служит критерием поиска золоторудных месторождений.

Методы анализа редкоземельных элементов La , Dy , Eu и Sm нашли свое применение, для исследования подземных вод Чуйской долины Кирг.ССР (в сотрудничестве с сектором геохимии и геохимических методов поисков Института геологии АН Кирг.ССР).

Данные, полученные в результате применения всего указанного комплекса методов анализа элементного состава подземных вод в различных районах Ср.Азии приведены (в этой главе) в виде 16 таблиц. Эти данные показывают высокую чувствительность и точность методов. Коэффициент вариации, в среднем, не более 25%, что вполне приемлемо для определяемых нами малых концентраций элементов ($\sim 10^{-9} - 10^{-11}$ г/мл) и, тем более, при массовых анализах. Величина среднеквадратичной ошибки, полученная при анализе, например золота, оказалась меньше природной дисперсии содержания золота. Среднеквадратичное отклонение, вычисленное по данным цифровых величин отдельных дисперсий, оказалось не выше 5-7%. На основе данных успешного применения разработанного нами комплекса методов анализа элементного состава вод делается вывод о значительной перспективности методов для решения проблемы поиска полезных ископаемых глубокого (скрытого) залегания, в чем остро нуждается геологическая служба страны.

ГЛАВА IV

О НЕКОТОРЫХ БЛИЖАЙШИХ ПУТЯХ И ПЕРСПЕКТИВАХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В этой главе диссертации говорится о некоторых перспективах применения ядерно-физических методов исследования динамики и элементного состава подземных вод.

Изложенные в диссертации материалы показывают, что разработанные нами высокочувствительные ядерно-физические методы исследования динамики и элементного состава подземных вод призваны сыграть полезную роль в решении проблем гидрогеологии, гидротехники и поисковой гидрогеохимии. Они могут оказать также свои услуги для изучения минеральных, термальных, морских и других видов природных вод. Основное усилие в настоящее время должно быть направлено на широкое внедрение этих методов с одновременным их усовершенствованием и дальнейшим расширением фронта новых разработок.

В качестве существенных шагов по широкому внедрению новых радиоизотопных зондов (РЗА-1 и РЗА-2) разосланы рекламные листы в различные заинтересованные ведомства Советского Союза, а также оформлены документы для патентования указанных зондов в других странах. Готовятся опытно-промышленные образцы этих зондов и специальной счетной радиометрической аппаратуры для получения одновременной информации от датчиков зонда. В качестве дальнейшего развития зондовых методов разработан третий вариант зонда - РЗА-3, с помощью которого можно определять одновременно горизонтальную и вертикальную составляющие скорости подземных вод.

По линии дальнейшего усовершенствования метода индикации подземных вод дейтерием предусмотрено полное исключение γ -фона. Для этого сконструирована специальная многослойная цилиндрическая камера деления урана-235 под действием фотонейтронов.

В этой главе обсуждается вопрос дальнейшего улучшения методов активационного анализа природных вод путем повышения разрешающей способности и эффективности методов. Подобное улучшение методов может быть осуществлено, например, путем применения наиболее экспрессных способов радиохимического выделения определяемых элементов с почти

полным выходом носителя, усовершенствованием измерительной аппаратуры и путем улучшения качества применяемых спектрометров.

Применение вычислительных процедур на основе решений уравнений активационного анализа даст определенный толчок в развитии инструментального варианта активационного анализа. Однако только таким путем не могут быть окончательно решены проблемы активационного анализа при наличии значительного количества мешающих элементов. Более перспективно направление автоматизации активационного анализа путем применения электронно-вычислительной техники.

Значительный интерес в спектрометрии ядерного излучения представляет широкое применение качественных полупроводниковых $Ge(Li)$ -детекторов, которые, в сочетании с многоканальными анализаторами, призваны сыграть большую роль в инструментальном варианте активационного анализа.

Радиохимический вариант активационного анализа позволяет фактически исключить возможные помехи мешающих элементов, если период полураспада определяемого элемента достаточен для проведения соответствующих процедур. В этом методе большое внимание должно быть обращено на разработку экспрессных химических методов выделения.

Значительную перспективу имеет развитие активационного анализа на быстрых и резонансных нейтронах, что во многих случаях может привести к подавлению помех и повышению чувствительности метода.

Не менее важным является также развитие активационного анализа легких элементов с помощью ускорительной техники - путем активации образцов заряженными частицами.

Обсужден также вопрос, связанный с некоторыми трудностями, возникающими при выборе времени активации и "охлаждения" исследуемых образцов. Эти трудности имеют место в ряде случаев при определении микроэлементов, которые имеют близкие энергии гамма-излучения и активируются по-разному в зависимости от концентрации, периода полураспа-

да и других характеристик. Для подобных случаев нами предложена система трансцендентных уравнений, решение которых с помощью ЭВМ даст возможность практически преодолеть указанные трудности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны теоретические и экспериментальные основы и созданы комплексы новых высокочувствительных, точных и более производительных ядерно-физических методов исследования динамики и элементного состава подземных вод.

КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД разработан путем применения радиоактивных и стабильных изотопов в качестве индикаторов.

В этот комплекс входят методы:

1. Метод индикации подземных вод радиоактивным изотопом водорода-третием (H^3), разработанный на основе теории диффузии идеального индикатора и экспериментальных данных прохождения различных индикаторов через различные среды. Показано, что тритий наиболее полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к идеальным индикаторам, лишенным сорбционных потерь. Методика разработана на этой принципиальной основе и путем применения счетчика внутреннего наполнения, подбора его физических параметров, а также теоретического и практического обоснования необходимого для опыта минимума начальной активности радиоиндикатора. На базе этой методики создана малогабаритная и высокопроизводительная тритиевая установка, работающая без обогатительной системы (электролизеров) и без перегонки анализируемых водных проб (1-2 мл). Чувствительность метода $\sim 10^{-11} - 10^{-12}$ Си/мл, точность $\pm 5\%$, производительность 20-30 проб в день;

2. Метод индикации вод стабильным изотопом водорода - дейтерием (H^2). Этот изотоп (как индикатор) лишен также

сорбционных свойств и не связан с радиационной опасностью при его применении. Физической основой метода является фото-ядерная (γ, n) реакция на ядрах дейтерия. На этой основе и путем подбора оптимальной величины объема исследуемого водного образца и геометрических размеров экрана и отражателя нейтронов создана фотонейтронная установка. Точность метода $\pm 3\%$, производительность 15-20 проб в день;

3. Метод индикации подземных вод стабильным изотопом йода (J^{127}), основанный на активации водных образцов в потоке тепловых нейтронов с последующим гамма-спектрометрическим анализом радиоизотопа J^{128} ;

методика радиационно безопасна и биологически полезна при исследовании подземных, грунтовых и почвенных вод, связанных с источниками водоснабжения с недостаточным содержанием йода, что имеет место во многих районах нашей страны, в том числе, в Средней Азии. Чувствительность метода $\sim 10^{-10}$ г/мл, точность $\pm 7\%$, производительность не менее 70 проб в день;

4. Метод радиоизотопных зондов, с помощью которых непосредственно в полевых условиях (без отбора проб) одновременно можно определять скорость фильтрации, направление потока и расход подземных вод в одиночной скважине. Эти зонды (двух видов) позволяют изучить подземные воды малых и больших скоростей с точностью $\pm 7\%$, чувствительностью $\sim 10^{-10} - 10^{-11}$ Си/мл и с высокой производительностью.

КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД разработан на основе нейтронно-активационного анализа и ряда теоретических и экспериментальных показателей. В этот комплекс входят методы:

1. Методы анализа Au , Ag , As и Sb , разработка которых проводилась в инструментальном (недеструктивном) варианте активационного анализа путем облучения водных образцов в потоке тепловых и резонансных нейтронов, рас-

чета времени активации и "охлаждения", учета влияния возможных интерферирующих ядерных реакций и комптоновского распределения гамма-фона мешающих элементов. Чувствительность метода $\sim 10^{-8} - 10^{-9}$ г/мл, точность 7,15%, производительность 15-20 проб в день;

2. Методы анализа $W, Cu, La, Dy, Eu, Sm, Au$ и Ag , разработка которых проводилась в радиохимическом (деструктивном) варианте активационного анализа с применением простых способов концентрирования анализируемых элементов и с учетом химического выхода носителя. Чувствительность этого метода $\sim 10^{-9} - 10^{-11}$ г/мл, точность 10-15%, производительность 20 проб в день;

3. Система методов последовательных операций по парному определению Ag и Au, W и Au, Sb и Au, As и $Sb; Dy, Eu$ и Sm в одной облученной пробе, что способствует сокращению числа облучаемых проб, более точному определению корреляционной связи элементов в природных водах и оценке их миграционных свойств;

4. Метод решения системы трансцендентных уравнений, выведенных для определения времени активации и "охлаждения" с помощью ЭВМ, что даст возможность преодолеть трудности, часто возникающие в активационном анализе при определении указанных времен.

Отличительной чертой методов (помимо их высокой чувствительности и точности) являются малые объемы анализируемых проб, возможность концентрирования элементов в полевых условиях и анализ ряда элементов без определения выхода носителя, что приводит к сокращению времени опыта и облегчению транспортировки водных образцов.

Описанные выше комплексы методов изучения динамики и элементного состава подземных вод применены в различных районах Средней Азии и за ее пределами для решения различных и сложных вопросов гидрогеологии, гидротехники и поисковой гидрогеохимии. Данные исследования показывают высокую эффективность методов как при определении

параметров движения, так и при определении элементного состава подземных вод. В частности, по линии исследования динамики подземных вод (путем определения различных параметров их движения) изучен режим подземных вод и наличие гидравлической связи между водоносными горизонтами в окрестностях каналов Шахруд и Кыз-Кеткен (Бухарская область и КК АССР). Эти данные имеют большое значение для водоснабжения городов Бухары, Кагана и Хаджейли. Исследованием фильтрационных потоков в теле и прилегающих участках Орто-Токойской плотины Киргизской ССР получены также данные, необходимые для ликвидации аварийной ситуации плотины и нормализации ее эксплуатации. Подобные же исследования подземных потоков дали возможность выяснить вопрос о строительстве станции метрополитена в Чиланзарском районе г. Ташкента, установить картину фильтрации вод из канала им. Кирова Сырдарьинской области, в районах рек Чирчик и Ангрэн Ташкентской области. По линии исследования ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА подземных вод получены ценные данные повышенного содержания золота, серебра, вольфрама и др. в отдельных районах УзССР, что является критерием поиска месторождений полезных ископаемых. Проведено количественное и раздельное определение редкоземельных элементов La, Dy, Eu и Sm в пробах вод, отобранных из районов месторождений РЗЭ Киргизской ССР и вод Ташкентской области. Проведен анализ мышьяка и сурьмы в морской воде (УССР).

Практическое применение отдельных видов методов (или комплекса методов) осуществлено согласно финхоздоговорам (или в сотрудничестве) с различными производственными организациями, институтами и ведомствами (Министерство мелиорации и ВХ Киргизской ССР, Гидрогеотрест УзССР, институты: Г И Д Р О И Н Г Е О и лесного хозяйства УзССР, геологии АН Кирг.ССР, Морской гидро-физический АН УССР, горного дела АН ЧССР).

Установка, созданная нами на основе тритиевой мето-

дики, передана на постоянное пользование в лабораторию МЗОМС при ВНИИГ и М им. Костякова (г. Москва), а дейтериевая установка — в институт ГИДРОИНГЕО УзССР (г. Ташкент).

Радиоизотопные зонды, отмеченные авторскими свидетельствами, предложены к патентованию в других странах и подлежат широкому внедрению в производство — согласно плана внедрения ИЯФ АН УзССР. Методы анализа элементного состава вод применяются на базе ядерного реактора ИЯФ АН УзССР. Почти все разработанные методы зарегистрированы в Госкомитете по открытиям и изобретениям как законченные и в качестве авторского приоритета.

Основные результаты научно-исследовательских работ, обобщаемых в диссертации, докладывались на ВНТ конференции "XIX лет производства и применения изотопов и ядерных излучений в народном хозяйстве СССР" (г. Минск, 1968 г.), на XI сессии НТ Совета ИГД (г. Москва, 1967 г.), на II Всесоюзном совещании по активационному анализу (г. Ташкент, 1968 г.), на XVI сессии научной конференции молодых ученых АН УзССР (г. Ташкент, 1970 г.). Работа обсуждена и рекомендована к защите на расширенных заседаниях НТО Министерства геологии и Гидрогеотреста УзССР.

Научно-исследовательское направление (в целом) и некоторые законченные методы доложены и обсуждены в лаборатории гидрологии Международного агентства атомной энергии — МАГАТЭ (г. Вена, 1964 г.)

Основные положения диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Определение скорости и направления движения подземных вод с применением трития в качестве индикатора. "Вопросы современной физики и математики", изд. АН УзССР, стр. 112, 1962 г. (совместно с Захидовым А.Ш., Анищенко Ю.М., Никаноровым Г.О., Хаитовым Б.К., Хайдаровым А.А.).

2. Измерение активности трития в образцах вод. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 5, стр. 40, 1962 г. (совместно с Лобановым Е.М., Хаитовым Б.К., Хайдаровым А.А.).

3. Гидрогеологические исследования с применением трития. Там же (совместно с Волковым В.П., Гейнцем В.А., Захидовым А.Ш., Хаитовым Б.К.).

4. Движение различных индикаторов в потоке подземных вод. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 6, стр. 45, 1964 г. (совместно с Лобановым Е.М., Захидовым А.Ш., Хаитовым Б.К.).

5. Применение трития в качестве индикатора подземных вод. Ж. "Разведка и охрана недр", № 7, стр. 42, 1966 г. (совместно с Хаитовым Б.К., Захидовым А.Ш., Анищенко Ю.М.)

6. Применение радиоактивного изотопа трития для изучения динамики подземных вод. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 6, стр. 82, 1959 г. (совместно с Лобановым Е.М., Хаитовым Б.К., Хайдаровым А.А.).

7. Применение радиоактивных изотопов в качестве индикаторов для изучения динамики подземных вод. "Узбекский геологический журнал", № 1, стр. 57, 1962 г. (совместно с Лобановым Е.М., Хаитовым Б.К., Бибиновым С.А.).

8. Исследование режима работы счетчика внутреннего наполнения. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 2, стр. 56, 1964 г. (совместно с Хаитовым Б.К.).

9. Исследование фильтрационных потоков подземных вод с помощью стабильных изотопов йода. В сб. докладов XI Сессии научно-технического Совета ИГД. "Радиоактивные изотопы в горном деле и обогащении полезных ископаемых", 1967 г., Москва (совместно с Анищенко Ю.М., Гуреевым Е.С.).

10. Определение дейтерия в природных водах методом фото-ядерной реакции. "Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по активационному анализу", стр. 56, г. Ташкент, 1968 г. (совместно с Умирбековым К.У.).

11. Активационный анализ в гидротехнических и гидро-геологических исследованиях. Там же (совместно с Анищенко Ю.М., Ганиной С.А., Жук Л.И.).

12. Зонд для одновременного определения направления и скорости фильтраций подземных вод. "Узб. геологический журнал", № 4, стр. 72, г. Ташкент, 1968 г. (совместно с Шутовой И.А., Бек-Булатовым И.Х.).

13. Экспрессный метод одновременного определения скорости фильтрации и направления потока подземных вод в одиночной скважине. "Тез. докладов ВНИ конференции XX лет производства и применения радиоизотопов и источников ядерных излучения в народном хозяйстве СССР", секция "Ядерная геофизика", Атомиздат, стр. 44, г. Минск, 1968 г. (совместно с Шутовой И.А., Бек-Булатовым И.Х.).

14. "Зонд для определения параметров подземных вод с помощью радиоизотопов", Авторское свидетельство № 246706 (в соавторстве с Шутовой И.А.), 11 апреля 1969 г.

15. Установка для измерения трития в образцах вод - "УИТ-2". Справочник - кн. АН СССР, № 1, стр. 183, 1966 г. (совместно с Хаитовым Б.К.).

16. "Радиоизотопный зонд". Авторское свидетельство № 256112, 22 августа 1969 г.

17. Определение содержания золота в подземных водах методом (n, γ) - реакции. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 4, стр. 66, 1967 г. (совместно с Захидовым А.Ш., Граховым В.А.).

18. Определение золота в природных водах методом активационного анализа с радиохимическим выделением. В сб. "Активационный анализ элементного состава геологических объектов", изд-во "Фан", стр. 149-154, г. Ташкент, 1967 г. (совместно с Гуреевым Е.С., Граховым В.А., Жук Л.И., Захидовым А.Ш.).

19. Определение золота в природных водах методом активационного анализа с предварительным хроматографическим концентрированием. Ж. "Известия АН УзССР", серия

физ.-мат. наук, № 1, стр. 59, 1968 г. (совместно с Гуреевым Е.С., Граховым В.А., Жук Л.И., Захидовым А.Ш.).

20. Анализ золота в водах методом (n, γ) - реакции с применением ионно-обменной хроматографии. "ДАН УзССР", изд. "Фан", серия физ.-мат. наук, № 3, стр. 26, 1969 г. (совместно с Асамовым К.А., Захидовым А.Ш., Коршуновым Ю.Ф.).

21. Определение вольфрама в подземных водах методом нейтронной активации. В сб. "Активационный анализ элементного состава геологических объектов", изд. "Фан" УзССР, Ташкент, стр. 154-158, 1967 г. (совместно с Граховым В.А., Гуреевым Е.С., Жук Л.И., Захидовым А.Ш.).

22. Ускоренный метод определения вольфрама в подземных водах методом нейтронной активации. Там же, стр. 165 (совместно с Граховым В.А., Гуреевым Е.С., Жук Л.И., Захидовым А.Ш.).

23. Определение содержания золота и вольфрама в рудничных водах нейтронно-активационным методом. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 5, стр. 60, 1968 г. (совместно с Захидовым А.Ш., Нишановым П.Х.).

24. Определение серебра в природных водах методом активационного анализа. Сборник "Нейтронно-активационный анализ", изд. "Фан", Ташкент, стр. 113-116, 1971 г. (совместно с Захидовым А.Ш., Умирбековым К.).

25. Определение содержания серебра и золота в природных водах методом нейтронной активации. Там же, стр. 116-119 (совместно с Нишановым П.Х., Захидовым А.Ш. и Ю.Ф. Коршуновым).

26. Определение мышьяка и сурьмы в природных водах методом нейтронной активации. В сб. "Активационный анализ горных пород и других объектов", изд. "Фан" УзССР, Ташкент, стр. 185, 1967 г. (совместно с Хамидовой Р., Хатамовым Ш.В.).

27. Применение нейтронно-активационного анализа в гидрогеохимических поисках сульфидных месторождений. "Тезисы

докл. ВНГ конференции XX лет производства и применения изотопов и ядерных излучений в народном хозяйстве СССР", секция "Ядерно-физ. методов анализа", Атомиздат, стр. 42, 1968 г. (совместно с Хамидовой Р., Хатамовым Ш.).

28. Радиоактивационное определение меди в природных водах. Ж. "Известия АН УзССР", серия физ.-мат. наук, № 5, стр. 75, 1969 г. (совместно с Хамидовой Р., Хатамовым Ш.).

29. Определение лантана в природных водах нейтронно-активационным методом. В сб. "Активационный анализ элементного состава геологических объектов", изд. "Фан" УзССР, Ташкент, стр. 137, 1967 г. (совместно с Ким А.П., Файзуллаевым Ф.).

30. Определение диспрозия в природных водах методом нейтронной активации. Там же, стр. 143 (совместно с Ким А.П., Файзуллаевым Ф.).

31. Нейтронно-активационное определение Du , Eu и Sr в природных водах. Там же, стр. 149 (совместно с Ким А.П.).

32. Выбор оптимального времени облучения и "охлаждения". Ж. "Известия" АН УзССР, серия физ.-мат. наук, № 4, стр. 89, 1970 г. (совместно с Ким А.П.).

Р-00023 Подписано в печать и в свет 13. IX. 71 г. Формат
бумаги 50x60 1/8 Усл. п. л. 3 Заказ 1768 Тираж 200 экз.
Картфабрика ин-та "Узгипрозем", Ташкент, Муками, 176