



РАДИЕВЫЙ
ИНСТИТУТ
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «НАУКА И ИННОВАЦИИ»

**Акционерное общество
«Радиевый институт
имени В.Г. Хлопина»
(АО «Радиевый институт
им. В.Г. Хлопина»)**

2-ой Муринский пр., д. 28,
г. Санкт-Петербург, Россия, 194021
Телефон (812) 297-56-41, факс (812) 297-57-00
E-mail: radium@khlopin.ru
ОКПО 07625447, ОГРН 1137847503100
ИНН 7802846922, КПП 780201001

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио генерального директора АО
«Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

Русских И.М.



19.08.2021 № 58

На № 10/6215-1464 от 03.08.2021

ОТЗЫВ

ведущей организации АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина» на диссертацию Зиновьева В.Г. "Развитие нейтронных и радиохимических методик определения редких, рассеянных элементов в геологических образцах, исследования состава и его влияния на свойства высокочистых материалов", представленную в качестве диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация Зиновьева В.Г. посвящена нейтронным и радиохимическим исследованиям состава вещества, развитию спектрометрии нейтронного и гамма-излучения, исследованию кинетики, термодинамики ионообменных и экстракционных процессов.

Несмотря на долгую историю исследований в этой области, которые начинаются еще с классических работ Трубе, Де Корте, Бекурца, Виртца в области нейтронной физики, Бойда и Адамса в области ионообменных и экстракционных процессов, в силу большого разнообразия объектов и условий исследования невозможно создать универсальную методику анализа. Поэтому **основной целью** диссертационной работы стало развитие комплекса спектрометрических и радиохимических процедур, алгоритмов моделирования для развития методик исследования состава вещества. Полученные результаты были использованы при создании технологии обогащения и доизвлечения Au и Ag из хвостов двух горно-обогатительных комбинатов, для оценки рентабельности разработки месторождений полезных ископаемых, использованы во входном контроле на производстве высокочистых соединений и изотопной продукции. Это позволяет считать диссертационную работу Зиновьева В.Г. и исследуемые в ней задачи **актуальными** и важными.

Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и их достоверность обеспечена применением надежных методов исследования.

Статистическая обработка данных показала высокую повторяемость и хорошее совпадение некоторых результатов с опубликованными теоретическими прогнозами ведущих специалистов. Достоверность результатов подтверждается межлабораторными сравнительными исследованиями состава образцов и аттестованной методикой измерения массовой доли Zn в нефти методом нейтронно-активационного анализа.

Положено начало развитию нового направления нейтронно-активационного анализа с оценкой трехмерного распределения примесей в больших образцах. Методики и результаты исследования элементного состава больших образцов нефти из месторождений Восточной Сибири, археологических образцов Перуанской керамики вошли в четыре отчета МАГАТЭ за 2009–2012 гг. по проекту "Application of Large Sample Neutron Activation Analysis for Inhomogeneous Bulk Archaeological Samples and Bulk objects" и в сборник технической документации МАГАТЭ "Advances in Neutron Activation Analysis of Large Objects with Emphasis on Archaeological Examples", IAEA-TECDOC-1838 за 2018 год.

Впервые расчет жесткости тепловой составляющей нейтронного спектра в зоне облучения образца выполнен с учетом температуры нейтронов и с учетом интерференции и изменения формы резонансных линий в сечении ядерных реакций взаимодействия нейтрона с ядрами атомов монитора или образца от температуры замедлителя.

Впервые в анализе чистого U применен метод предварительного концентрирования для нейтронно-активационного определения примесей входящих в состав продуктов деления ^{235}U . Экспериментально подтверждено теоретическое предположение Опаленко, Высоцкого, Корнилова о том, что γ -квант из распада без отдачи изомерного уровня в основное состояние может многократно рассеиваться на резонансных ядрах в образце, а наблюдаемый период полураспада изомерного уровня увеличивается при увеличении концентрации резонансных ядер в ближайшем окружении распадающегося ядра. Таким образом, **новизна** научных положений, выводов и рекомендаций несомненна.

Предложенные в диссертационной работе объяснения экспериментальных результатов по распаду изомера $^{161\text{m1}}\text{Dy}$, улучшение методик по спектрометрии нейтронного и гамма-излучений, исследование ионообменных и экстракционных процессов, применение полученных результатов в совершенствовании технологий переработки сырья и в производстве высокочистых материалов подтверждают **теоретическую и практическую значимость** результатов диссертации. Следует отметить, что **личный вклад** Зиновьева В.Г. в результаты диссертационной работы был определяющим.

Первая глава посвящена методикам абсолютного анализа больших образцов. Для активной зоны реактора ВВР-М (ПИЯФ НИЦ КИ) рассчитаны эффективные сечения ядерных реакций упругого рассеяния, радиационного захвата, деления и потенциального рассеяния нейтрона на ядрах определяемых и матричных элементов образца. Сечения рассчитаны с учетом изменения формы резонансных линий от температуры замедлителя и интерференции соседних

резонансов. Смоделирован процесс облучения большого образца в нейтронном поле. Рассчитано распределение плотности потока нейтронов и активации определяемых элементов внутри большого образца. Рассчитана функция зависимости эффективности регистрации детектора от энергии гамма-излучения для большого образца с учетом эффекта Комптона. Улучшена точность спектрометрических измерений радиоактивности и концентрации определяемых элементов.

Во второй главе описана методика измерения температуры нейтронов. Исследовано влияние температуры нейтронов на характеристики нейтронного излучения. Дана оценка влияния температуры нейтронов и замедлителя на точность результатов абсолютного НАА обычных и больших образцов. Рассмотрена возможность применения метода «меченых» нейтронов для измерения трехмерного пространственного распределения атомов N, O, C в большом образце для определения взрывчатых веществ в багаже пассажиров.

Третья глава посвящена исследованию элементного состава геологических образцов и хвостов горно-обогатительных комбинатов. Исследована кинетика и ионообменное хроматографическое поведение Au, Ag, Pt, Ir, Re, Pd и других элементов в ионообменных системах C100–HCl, A400–HCl, и в экстракционной системе ТБФ–HBr. Определены оптимальные условия выделения и количественного определения содержания Au, Ag, Pt, Ir, Re, Pd в геологических образцах и в хвостах горно-обогатительных комбинатов.

Четвертая глава посвящена развитию методик анализа высокочистых материалов с сильно активирующейся матрицей: полупроводниковые монокристаллы типа A_2B_6 – теллурид марганца ртути и селенид цинка; высокочистые сплавы CrFe и FeNi; молибден, обогащенный до 99% изотопом ^{98}Mo ; порошкообразный кобальт. В главе исследовано влияние эффектов возмущения и самоэкранирования нейтронного потока материалом образца на результаты инструментального нейтронно-активационного анализа. Рассчитаны коэффициенты депрессии нейтронного потока матрицами образцов $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, Co, ^{98}Mo с учетом $1/v$ составляющей сечения, вклада всех резонансных линий, их интерференции и изменения формы линий от температуры замедлителя, что увеличило точность расчета по сравнению с методом Трубе. Решена задача учета вклада вторичного K_α излучения более тяжелых элементов в возбуждение вторичного K_α излучения более легкого элемента при возбуждении рентгеновского спектра образца внешним источником рентгеновского излучения при измерении стехиометрии сплавов Cr-Fe, Fe-Ni, измерении стехиометрии, спектрометрических свойств и радиационной стойкости монокристаллов ZnSe(Te).

В пятой главе исследована кинетика и термодинамика сорбции, а также кинетика химической реакции ионного обмена Gd^{3+} на сорбенте C100 в H^+ -форме из солянокислых и нейтральных растворов. Описан процесс создания и исследования свойств мишень детектора электронного антинейтрона.

Вышеизложенное составляет содержание пяти глав диссертации. Диссертационная работа содержит Введение, в котором сформулированы цель, актуальность и основное содержание работы. В заключении сформулированы

основные результаты. Диссертация правильно оформлена, имеет ясную и логически-обоснованную структуру. Тема диссертации полностью соответствует ее содержанию, которое соответствует области исследования «1. Изучение физических явлений и процессов, которые могут быть использованы для создания принципиально новых приборов и методов экспериментальной физики. 5. Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики. 8. Моделирование физических явлений и процессов» паспорта специальности ВАК России 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Таким образом, диссертация Зиновьева В.Г. выглядит как добротное, достоверное и завершенное исследование, в котором изучено влияние матрицы образца, температуры нейтронов и замедлителя на спектральный состав нейтронов в зоне облучения и результаты анализа. Исследована кинетика и термодинамика сорбции, ионообменное поведение элементов в системах на основе сорбентов А400, С100, АВ17 в растворах HCl и в системах на основе экстрагента ТБФ и растворов HBr и HNO₃ для исследования состава геологических образцов, высокочистых материалов и для создания детектора \tilde{V}_e . Результаты диссертации хорошо обоснованы. Вместе с тем она не лишена недостатков, которые можно сформулировать в виде **замечаний** и комментариев:

1) При моделировании процесса облучения большого образца нефти нейтронами программа рассчитывает распределение потоков тепловых и эпитепловых нейтронов. Учет быстрых нейтронов увеличит количество определяемых элементов.

2) Методика определения трехмерного распределения взрывчатых веществ в багаже ограничивается O, C и N. Увеличение количества определяемых элементов позволит значительно расширить перечень исследуемых объектов.

3) При больших концентрациях Re в образце для снижения потерь Re при прокаливании образца или упаривании раствора следует уловить летучие соединения Re на растворах HCl с дальнейшим определением концентрации Re в растворе жидкого поглотителя.

4) Работы автора по теме диссертации не выделены в отдельный список и находятся в общем списке литературы. В тексте Главы 1 нет списка статей автора, относящихся к этой главе.

5) Встречаются незначительные недочеты в оформлении диссертации. Так формулы (5.9) и (5.11) в Главе 5 также приводятся в Главе 3, а формулы (3.1) и (4.1) повторяют формулы (4.5) и (4.6). Формула (4.7) совпадает с формулой в главе 1 на странице 19.

Отмеченные недостатки не умаляют достоинств диссертационной работы, оценивая которую в целом, следует отметить, что она выполнена на высоком научном уровне и демонстрирует важный вклад соискателя в разработку обсуждаемых проблем. Полученные Зиновьевым В.Г. результаты опубликованы в рецензируемых журналах, докладывались на многих российских и международных конференциях, известны научной общественности. Диссертация Зиновьевым В.Г. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержатся решения задач,

имеющих существенное значение для развития отрасли знания, соответствующей специальности 1.3.2 – "Приборы и методы экспериментальной физики". Таким образом, диссертационная работа полностью соответствует требованиям специальности 1.3.2 – "Приборы и методы экспериментальной физики", удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к диссертациям, а соискатель достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.2 – "Приборы и методы экспериментальной физики".

Доклад по материалам диссертационной работы и отзыв ведущей организации на диссертацию В.Г. Зиновьева были заслушаны и одобрены 19.08.2021 г. (протокол № 58) на заседании тематической секции НТС АО «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина» по направлению «Радиохимические исследования», действующей согласно приказу №217/90-П от 02.03.2021.

Ученый секретарь,
доктор химических наук

И.В. Смирнов

тел. +7-921-9494313

E-mail: igor_smirnov@khlopin.ru