

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи



Та Ван Тхьонг

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОМПОЗИТНЫХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ВЬЕТНАМА**

2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная
безопасность

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена на кафедре атомных станций и возобновляемых источников энергии Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент,
Ташлыков Олег Леонидович

Официальные оппоненты: **Ремез Виктор Павлович**,
доктор технических наук, старший научный сотрудник, ООО «Научно-производственное предприятие ЭКСОРБ», г. Екатеринбург, директор;

Хомяков Анатолий Павлович,
доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой машин и аппаратов химических и атомных производств Химико-технологического института;

Кобелев Антон Михайлович,
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», г. Екатеринбург, доцент кафедры автоматизированных систем противопожарной защиты

Защита состоится «25» июня 2024 г. в 12:00 ч на заседании диссертационного совета УрФУ 2.4.07.17 по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»: <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=5961>

Автореферат разослан « _____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ташлыков Олег Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. С 2011 г. Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) включила в свой стратегический план приоритет «выявление и поощрение исследований, необходимых для поддержки радиологической защиты». Радиационная безопасность, в первую очередь, касается персонала объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) и пациентов, проходящих лучевую диагностику и терапию.

В последние десятилетия в области радиационной защиты были разработаны концепция, принципы и методы снижения радиологических рисков и контроля за ними. Вопросам обеспечения радиационной безопасности и разработке радиационно-защитных материалов (РЗМ) посвящены работы многих российских и зарубежных ученых, даже краткий перечень которых занял бы большую часть данного раздела.

Среди способов снижения дозы облучения наиболее широко распространено экранирование. Наиболее значимой практической задачей является защита от фотонного излучения (рентгеновского и гамма-излучения), поскольку организация защиты от α - и β -излучения в подавляющем большинстве случаев не представляет сложности, а воздействие нейтронов на человека возможно только при работающем реакторе. Наиболее эффективны для защиты от γ -излучения экраны из тяжелых материалов (свинец, вольфрам, обедненный уран и т.д.), из которых наиболее распространен свинец. Однако свинец является токсичным веществом, что ограничивает его применение и затрудняет утилизацию РЗМ, содержащих свинец. Кроме того, свинец имеет высокую пластичность, что затрудняет установку вертикальной свинцовой защиты толщиной более 5 мм.

В связи с расширяющимися в последние годы масштабами сооружения ОИАЭ, использования радиационных технологий в мире и необходимостью оптимизации затрат на сооружение их биологической защиты, во многих странах активизировались исследования по поиску и разработке новых нетоксичных композитных бессвинцовых составов с высокими защитными свойствами.

Оценка возможности использования местных природных минералов при сооружении биологической защиты ОИАЭ является актуальной задачей, поскольку способствует минимизации затрат на их сооружение. Развитие ядерной энергетики и внедрение радиационных технологий, в том числе в странах, входящих в орбиту деятельности Росатома, относятся к направлениям исследований, реализация которых является высшим приоритетом для развития науки, техники и технологий в РФ (пункт 8 «Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика»).

Активное участие России в создании ядерной инфраструктуры (ЯИ) и сооружении ОИАЭ во Вьетнаме вызывает значительную потребность в изучении вьетнамскими специалистами технической, нормативной документации, научных публикаций на русском языке. Владение языком страны-поставщика ядерных технологий является важным фактором повышения уровня профессиональной подготовки вьетнамских специалистов. В связи с этим

разработка специализированных русско-вьетнамских словарей и учебных изданий является актуальной задачей. В настоящее время такие издания отсутствуют.

Вьетнам активно сотрудничает с Росатомом по развертыванию проекта строительства Центра ядерной науки и технологий (ЦЯНТ) с новым исследовательским ядерным реактором (ИЯР).

Подготовка оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) для нового ИЯР Вьетнама является актуальной задачей. Следовательно, разработка руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС является важной задачей для регулирующих органов, подрядчиков и т.п. при реализации проекта. Автор диссертации в составе группы специалистов из Института по атомной энергии Вьетнама (VINATOM) принимал участие в разработке «Руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС» для проекта ЦЯНТ Вьетнама.

Целью диссертационной работы является разработка отдельных мероприятий по созданию ядерной инфраструктуры Вьетнама и оценке потенциальной возможности использования местных природных минералов при сооружении радиационной защиты ОИАЭ во Вьетнаме. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка, изготовление и расчетно-экспериментальное исследование экранирующих свойств радиационно-защитных материалов (РЗМ) на основе красной и белой глины Вьетнама и оценка влияние давления при их изготовлении.

2. Разработка, оптимизация состава и расчетно-экспериментальное исследование экранирующих свойств композитных РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама с наполнителем в виде промышленных металлических отходов.

3. Оценка потенциальной возможности использования природных минералов Вьетнама в составе строительных и радиационно-защитных материалов при сооружении радиационной (биологической) защиты ОИАЭ.

4. Анализ основных требований и методов проведения ОВОС, правовой базы Вьетнама в области ОВОС; соответствующих руководств МАГАТЭ и ведущих стран мира (РФ, США и др.) в области использования атомной энергии для разработки руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС.

5. Сбор и доставка в УрФУ образцов природных минералов из месторождений Вьетнама.

6. Исследование и оценка условий для развития ядерной энергетики во Вьетнаме и анализ состояния ядерной инфраструктуры (ЯИ) Вьетнама, необходимой для строительства первой АЭС и ЦЯНТ.

7. Разработка и издание русско-вьетнамского словаря терминов в области использования атомной энергии и учебника «Основы ядерной энергетики» на русском и вьетнамском языках.

Ряд работ по сбору образцов природной породы Вьетнама и сбору материалов для разработки руководства по подготовке и экспертизе ОВОС для проекта ЦЯНТ Вьетнама и экспериментальным исследованиям радиационно-защитных свойств вьетнамских природных материалов был проведен автором

диссертации во Вьетнаме в сотрудничестве с Институтом по атомной энергии Вьетнама (VINATOM), а также с Институтом промышленной экологии УрО РАН в Екатеринбурге и Управлением по ядерным материалам в Каире (Египет).

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые проведены расчетно-экспериментальные исследования радиационно-защитных характеристик природных минералов Социалистической Республики Вьетнам для оценки потенциала их использования при сооружении биологической защиты ОИАЭ.

2. Проведены расчетно-экспериментальные исследования и моделирование радиационно-защитных свойств вьетнамских природных минералов с использованием расчетного кода MCNP-5, программы XCOM в различных диапазонах энергий γ -излучения.

3. Впервые проведены расчетно-экспериментальные исследования влияния давления при изготовлении новых композитных РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама на их экранирующие свойства.

4. Впервые проведены расчетно-экспериментальные исследования влияния добавок промышленных металлических отходов на радиационно-защитные свойства композитных РЗМ с матрицей в виде красной и белой вьетнамской глины.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- Результаты расчетно-экспериментальных исследований радиационно-защитных характеристик природных минералов Социалистической Республики Вьетнам будут использованы при оценке возможности их применения при сооружении биологической защиты ОИАЭ.

- Результаты расчетно-экспериментальных исследований влияния давления при изготовлении новых композитных образцов РЗМ на основе красных и белых глинистых минералов Вьетнама на их экранирующие свойства будут использованы при изготовлении кирпичей для быстровозводимой защиты.

- Результаты расчетно-экспериментальных исследований влияния добавок промышленных металлических отходов в глиняную матрицу на основе красных и белых глинистых минералов Вьетнама на радиационно-защитные свойства будут использованы при производстве РЗМ для быстровозводимой защиты.

- Результаты анализа состояния ядерной инфраструктуры (ЯИ) Вьетнама будут использованы в качестве основы для сравнения, оценки и анализа достигнутых вех и дополнительных условий, необходимых для сооружения ОИАЭ во Вьетнаме.

- Результаты разработки руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС для проекта ЦЯНТ Вьетнама будут способствовать повышению качества экспертизы и объективности оценки, а также эффективной реализации других проектов, связанных с ядерной отраслью Вьетнама в будущем.

- Разработанные «Русско-вьетнамский словарь по ядерной энергетике» и русско-вьетнамский учебник «Основы ядерной энергетике» будут использованы при реализации одного из 19 элементов ядерной инфраструктуры (людские ресурсы) путем повышения эффективности подготовки вьетнамских специалистов.

Методология и методы диссертационного исследования.

Экспериментальные исследования радиационно-защитных характеристик материалов проводились с использованием сцинтилляционных детекторов NaI (Тl), химический состав образцов камней определялся с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора Olympus X-5000. Экспериментальные измерения экранирующих свойств были подтверждены теоретическими расчетами с помощью программы XCOM на основе баз данных ядерной библиотеки NIST, а также компьютерного моделирования методом Монте-Карло с использованием расчетного кода MCNP-5 с базой данных ядерной библиотеки ENDF/B-VI. В работе использованы экспериментальные и теоретические методы исследований, поверенные измерительные приборы и установки (гидравлический пресс SD0821ROSSVIK, цифровой плотномер МН-300А, гамма-радиометр РКГ-АТ1320, рентгеновский дифрактометр Empyrean, электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 LMU и др.). Эпоксидная смола и отвердитель были поставлены компанией SlabDoc (Иваново, РФ). В качестве глинистой матрицы композитов использовались минералы красной и белой глины, собранные во вьетнамской деревне Батчанг, входящей в округ Зялам города Ханой.

Личный вклад автора заключается в выборе и обосновании направлений исследований, разработке экспериментальных методик, в непосредственном участии в выполнении научных экспериментов, изготовлении образцов радиационно-защитных материалов, разработке установок, математической обработке экспериментальных данных, компьютерном моделировании с использованием метода Монте-Карло, подготовке основных публикаций и докладов на российских и международных конференциях. Все представленные материалы получены автором самостоятельно или в соавторстве.

Положения, выносимые на защиту:

1. Влияние давления на экранирующие свойства радиационно-защитных материалов на основе красной и белой глины Вьетнама.

2. Влияние на экранирующие свойства композитных РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама наполнителя в виде промышленных металлических отходов.

3. Результаты расчетно-экспериментальных и теоретических исследований радиационно-защитных свойств природных каменных материалов Вьетнама.

4. Потенциальная возможность использования природных минералов Вьетнама в составе строительных и радиационно-защитных материалов при сооружении биологической защиты ОИАЭ.

5. Результаты разработки отдельных составляющих элементов ядерной инфраструктуры Вьетнама, в том числе: разработка руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС для проекта ЦЯНТ; разработка и подготовка к изданию специализированной учебной русско-вьетнамской литературы для подготовки специалистов для атомной отрасли Вьетнама.

Степень достоверности полученных результатов базируется на всестороннем анализе ранее выполненных работ по предмету исследования, обеспечивается использованием известных, зарекомендовавших себя методов

моделирования и расчета, проверенного программного обеспечения, поверенных и аттестованных контрольно-измерительных приборов, современных средств и методов проведения исследований, хорошей сходимостью результатов, полученных экспериментально, с результатами моделирования с использованием расчетного кода MCNP-5, программы XCOM, а также с результатами, полученными другими авторами.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 17-ти научно-технических конференциях, в том числе: Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика», г. Екатеринбург (2020, 2022, 2023); III Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и автоматизация в современном обществе», г. Санкт-Петербург (2020); VIII Международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации», г. Екатеринбург (2021); IX Международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации», г. Екатеринбург (2022); XVII Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2021», г. Обнинск (2021); XVIII Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2022», г. Обнинск (2022); Научно-техническом семинаре «Вклад академической и вузовской науки в формирование кадрового потенциала Госкорпорации Росатом», г. Заречный (2022); Шестом всемирном конгрессе «Альтернативная энергетика и экология» (WCAEE-2022), Montenegro, Budva (2022); XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”, Rostov-on-Don (2022); VI Международной (XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск», г. Обнинск (2023); Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023), Chelyabinsk (2023); X Международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации», г. Екатеринбург (2023); Vietnam Conference on Nuclear Science and Technology (VINANST-15), Nha Trang (2023); Nuclear Education Week & International Youth Nuclear Forum OBNINSK NEW, Obninsk (2023); VII Международной (XX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск», г. Обнинск (2024).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования представлены в 22-х научных публикациях, из них 9 статей в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 7 статей в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science; 13 публикаций в сборниках тезисов и трудов международных и российских научных конференций.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, основных выводов, списка сокращений/обозначений и списка цитируемой литературы. Диссертация изложена на 240 страницах, включая 86 рисунков, 19 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 165 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов и публикациях по теме исследования.

В первой главе представлены результаты анализа перспектив развития атомной энергетики и ядерной инфраструктуры (ЯИ) Вьетнама, необходимой для строительства ОИАЭ. Автор диссертации выделил три элемента (охрана окружающей среды, развитие людских ресурсов и радиационная защита) из 19 элементов развития ЯИ, чтобы углубиться в исследования. Была проведена разработка отдельных мероприятий по созданию этих элементов ЯИ. Подробное их изложение представлено в следующих главах диссертации.

По результату анализа основных путей возникновения радиационных нагрузок на персонал АЭС определено, что основной вклад для радиоактивных загрязнений вносят долгоживущие изотопы Cs-137 и Co-60.

Во второй главе представлены результаты расчетно-экспериментальных и теоретических исследований радиационно-защитных свойств природных каменных материалов Вьетнама для использования в области защиты от γ -лучей. Проведение исследований позволило выявить потенциал их использования для экранирования и рекомендовать наиболее эффективные виды камней для использования в качестве наполнителя бетона при сооружении АЭС и других ОИАЭ во Вьетнаме.

Природные камни собраны из разных регионов Северного Вьетнама, три образца взяты из провинции Лайчау, четыре – из города Сапа (провинция Лаокай) и один – из уезда Виньлок (провинция Тханьхоа) (рис. 1). Образцы были очищены от пыли и всех примесных материалов, а затем выдержаны при комнатной температуре для высыхания.

Для экспериментальной оценки экранирующих свойств, собранные камни разрезали до определенной формы и толщины (рис. 2). Точное измерение их толщины производилось с помощью цифрового штангенциркуля X-PERT. Для измерения плотности образцов использовался цифровой плотномер МН-300А. При измерениях в соответствии с уравнением Архимеда (1), в качестве погружающей жидкости используется вода ($\rho_L \approx 1 \text{ г/см}^3$).

$$\rho \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right) = \frac{W_a}{(W_a - W_L)} \rho_L \quad (1)$$

где значения W_a и W_L обозначают вес собранных камней в воздухе и жидкости, соответственно.

Экспериментальные измерения ослабления интенсивности гамма-излучения выполнялись на гамма-радиометре РКГ-АТ1320 (рис. 3) со сцинтилляционным детектором NaI (Тl) $\varnothing 63 \times 63$ мм в Институте промышленной экологии УрО РАН (Екатеринбург, РФ). Образцы помещали вплотную к детектору, а источники гамма-квантов располагали на одинаковом расстоянии от детектора во всех измерениях.



Рис. 1. Места отбора образцов камней в Северном Вьетнаме

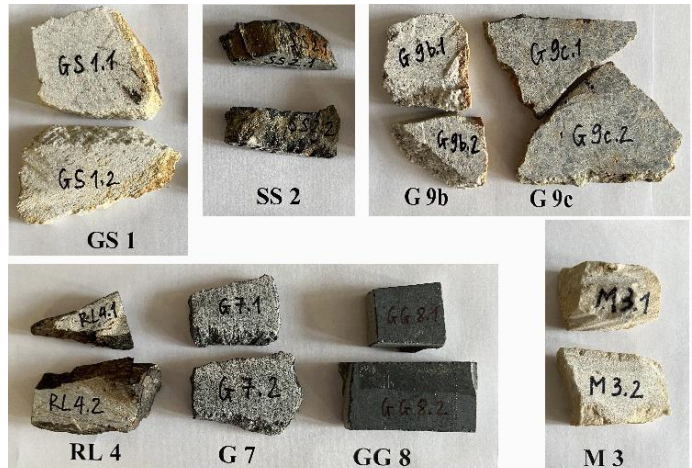


Рис. 2. Образцы природных камней Вьетнама после обработки и резки

Для экспериментальных измерений линейного коэффициента ослабления (μ , см^{-1}) использовался точечный источник гамма-излучения Co-60 .

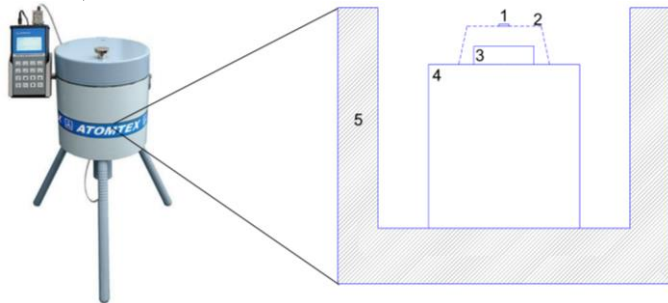


Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения γ -излучения: 1 – источник γ -квантов, 2 – подставка для обеспечения одинакового расстояния между детектором и источником, 3 – образец, 4 – детектор NaI (Tl), 5 – свинцовая защита



Рис. 4. Анализатор Olympus X-5000 для определения химического состава

По измеренным интенсивностям N_o и N_t – начальная и остаточная интенсивности пучка излучения, соответственно, были определены линейные (μ , см^{-1}) и массовые (μ_m , $\text{см}^2/\text{г}$) коэффициенты ослабления образцов толщиной x (см), в соответствии с законом Ламберта-Бера:

$$\mu \text{ (см}^{-1}\text{)} = \frac{1}{x} \ln \left(\frac{N_o}{N_t} \right) \quad (2)$$

$$\mu_m \left(\frac{\text{см}^2}{\text{г}} \right) = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{N_o}{N_t} \right) \quad (3)$$

Используя значения N_t , N_o и μ , для образцов оценивались и другие радиационно-защитные характеристики, например, слой половинного ослабления ($\Delta_{0.5}$, см), эффективность радиационной защиты (RPE , %), как описано в уравнениях (4–5).

$$\Delta_{0.5} \text{ (см)} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (4)$$

$$RPE \text{ (%) } = \frac{N_a}{N_o} = \frac{(N_o - N_t)}{N_o} \times 100 \quad (5)$$

где $N_a = (N_o - N_t)$ представляет собой количество поглощенных фотонов в пределах толщины исследуемых образцов камней.

Исследование химического состава отобранных образцов камней Вьетнама автор диссертации проводил совместно с научным сотрудником кафедры атомных станций и ВИЭ Махмудом Каремом с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора X-5000 (Olympus) (рис. 4).

Экспериментальное исследование образцов камней Вьетнама показало, что увеличение концентрации Fe и Ca в исследуемых камнях в пределах от 3,21 до 65,97% увеличивает их плотность от 2,48 до 2,86 г/см³, соответственно (рис. 5а). Образцы высокой плотности (M 3.1, GG 8.1 и G 7.1) имеют наименьшую пористость среди собранных камней, которая достигает (2,02; 0,15 и 1,56%). Образцы с высокой пористостью имеют самый высокий коэффициент водопоглощения (рис. 5b).

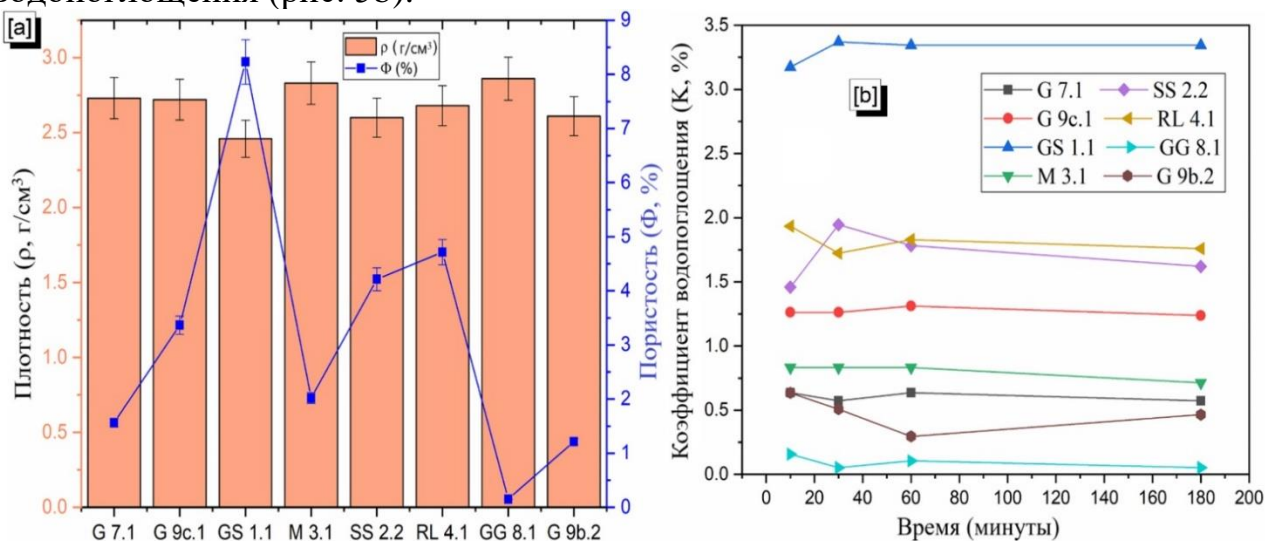


Рис. 5. Плотность и пористость [а] и изменение коэффициента водопоглощения в зависимости от времени погружения (мин) [b] исследуемых образцов камней Вьетнама

Для верификации экспериментальных оценок экранирующей способности исследуемых образцов камней, был использован код моделирования MCNP-5 с использованием метода Монте-Карло (рис. 6а). Исходными данными для нее является химический состав отобранных проб. Чем точнее химический состав, тем выше эффективность используемой программы и точнее определяются радиационно-защитные свойства.

На рис. 6–8 представлены результаты теоретических исследований образцов камней с помощью MCNP-5, где G 7.1 (гранит), G 9c.1 (гранит), GS 1.1 (гранодиорит), M 3.1 (мрамор), SS 2.2 (серицит), RL 4.1 (известняк), GG 8.1 (зеленый гранит), G 9b.2 (гранит). Увеличение толщины образцов камней демонстрирует хорошие радиационно-защитные свойства в диапазоне энергий, где доминируют взаимодействия комптоновского рассеяния (рис. 6b).

Радиационно-защитная способность образцов камней Вьетнама зависит от их химического состава. Элементы железо (Fe) и кальций (Ca) оказывают наибольшее влияние на способность поглощать γ-излучение. При увеличении концентрации Fe и Ca в исследуемых образцах камней от 3,21 до 65,97%, их радиационно-защитные характеристики улучшаются, при энергии 1,332 МэВ μ увеличивается с 0,135 до 0,155 см⁻¹; а Δ_{0,5} уменьшается с 5,13 до 4,46 см, соответственно (рис. 8). Образцы GG 8.1, G 7.1, M 3.1 имеют большее содержание железа и кальция, чем остальные образцы камней.

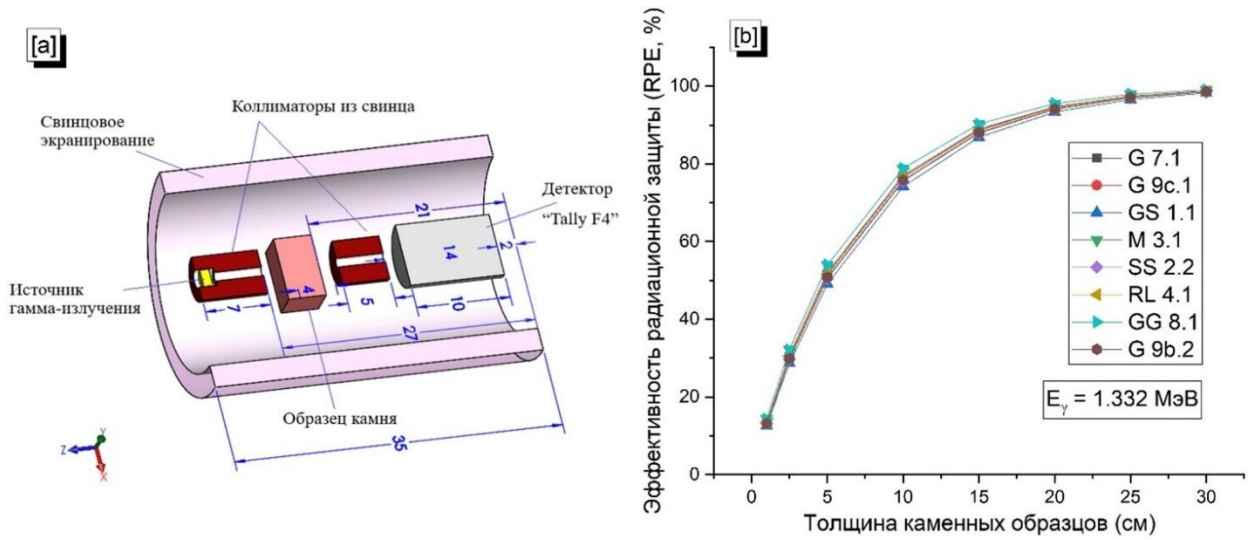


Рис. 6. 3D-изображение для входного файла MCNP-5 (см) [a] и влияние толщины образцов камней на эффективность радиационной защиты (RPE , %) при $E_\gamma = 1,332$ МэВ [b]

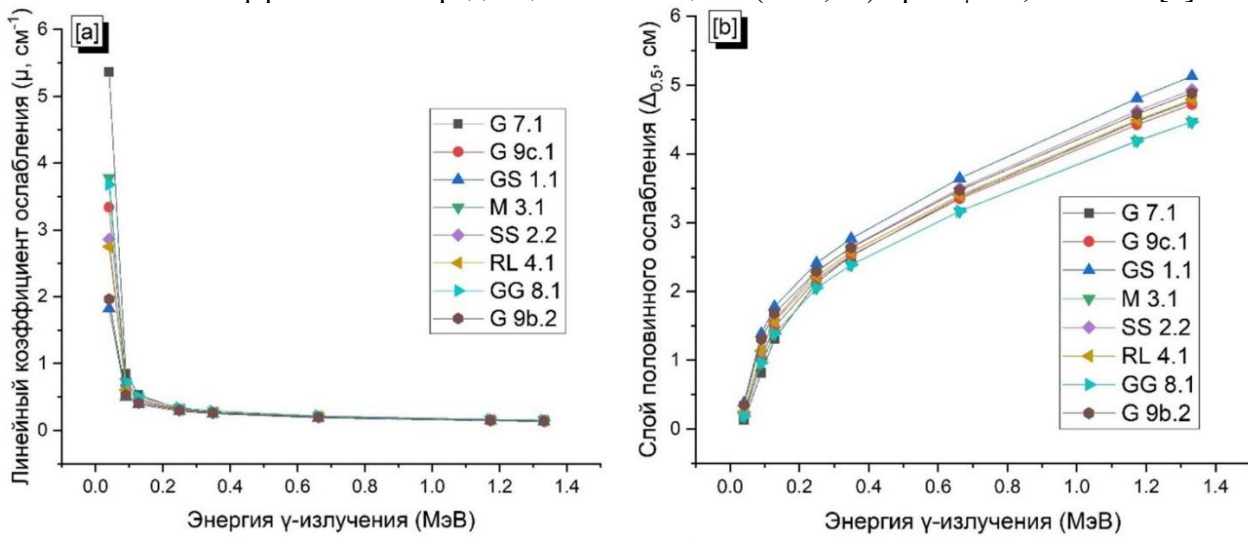


Рис. 7. Влияние энергии γ -квантов (E_γ , МэВ) на линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) [a] и слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) [b]

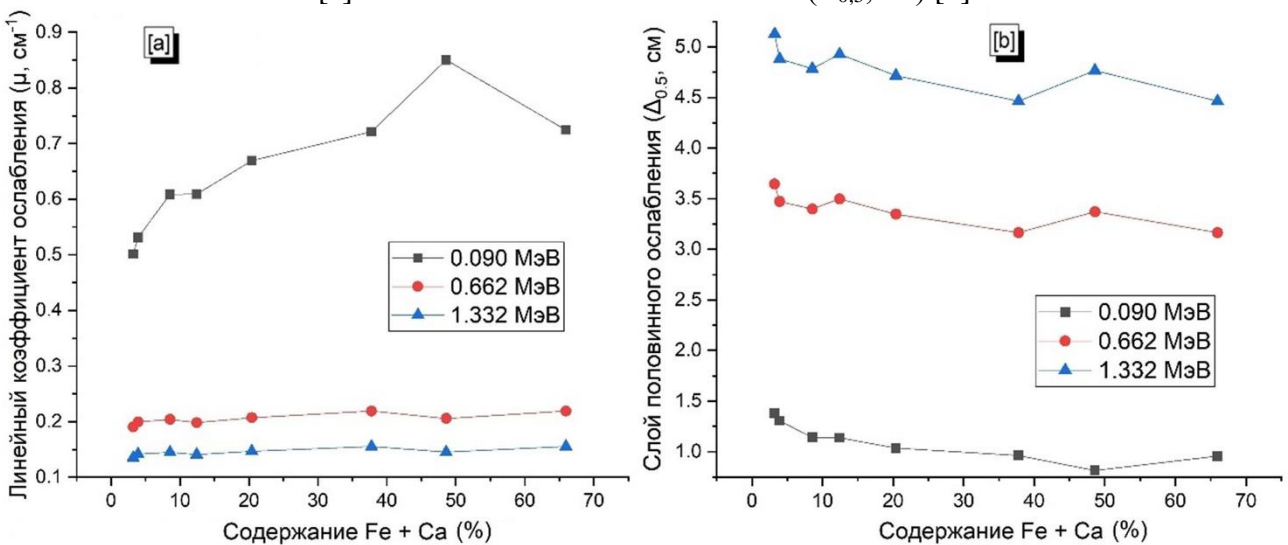


Рис. 8. Влияние содержания Fe и Ca в исследуемых образцах камней Вьетнама на линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) [a] и слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) [b]

Массовый коэффициент ослабления (μ_m , $\text{см}^2/\text{г}$) для образцов камней Вьетнама был рассчитан на основе экспериментальных измерений и

моделирования MCNP-5. Полученные данные свидетельствуют о совпадении экспериментальных и смоделированных данных с разницей в пределах $\pm 10\%$.

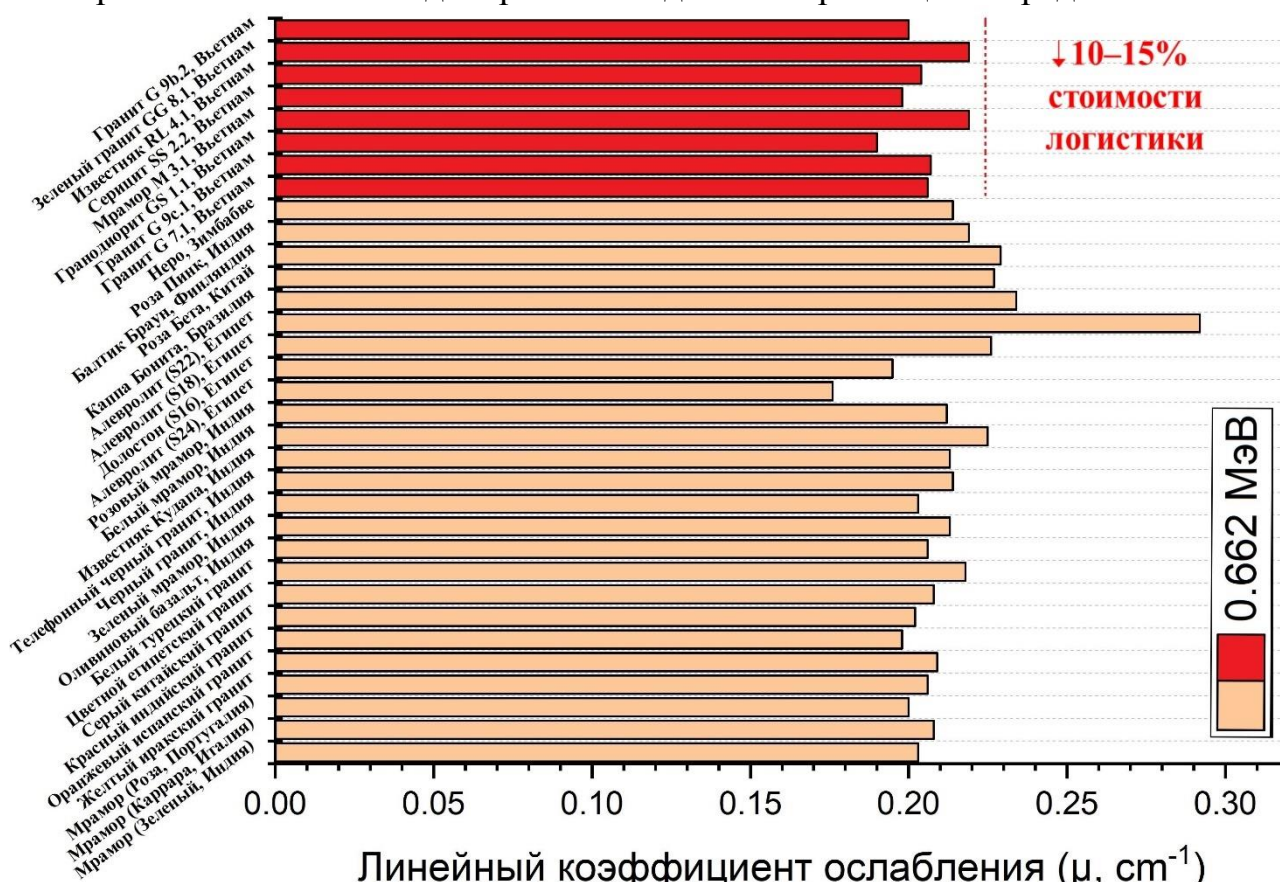


Рис. 9. Сравнение μ образцов камней Вьетнама с другими камнями при $E_\gamma = 0,662$ МэВ

Исследование показывает хорошую защитную способность природных образцов камней Вьетнама по сравнению с другими камнями по всему миру (рис. 9). По предварительным оценкам, исследуемые камни Вьетнама распространены на местном рынке и имеют невысокую стоимость, что характеризует их доступность в применении. Их использование снижает затраты на логистику на 10–15% по сравнению с импортом камней из других стран.

В третьей главе приведены технология изготовления образцов РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама и результаты расчетно-экспериментальных исследований влияния давления при изготовлении на их экранирующие свойства.

Полученные минералы красной и белой глины нагревались до 200°C в электропечи в течение 3 часов для полного удаления влаги. Затем минералы красной и белой глины вручную измельчались в мелкозернистый порошок. Порошок красной и белой глины смешивался отдельно с эпоксидной смолой в соотношении 9:1 и хорошо перемешивался вертикальным блендером до получения однородной смеси в течение 10 мин.

Образцы имели одинаковое соотношение красной и белой глины и эпоксидной смолой, но формовались при различных давлениях, варьирующихся от 7,61 до 114,22 МПа. Изготовленные образцы обозначались как PR1, PR2, PR3, PR4, PR5 и PR6 (как для красной, так и для белой глины) при различных значениях давления 7,61; 22,84; 45,70; 68,55; 91,40 и 114,22 МПа, соответственно.

лучей, испускаемых источниками γ -излучения Cs-137 (при E_γ 0,662 МэВ) и Co-60 (при E_γ 1,173 и 1,332 МэВ и средней энергии 1,252 МэВ). Установка для проведения экспериментальных измерений показана на рис. 12.

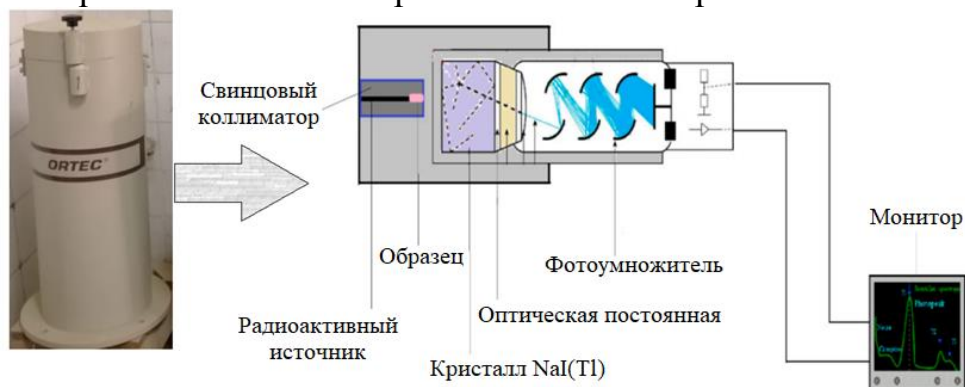


Рис. 12. Экспериментальная установка для измерения γ -излучения

Источник γ -излучения помещался внутри коллиматора перед началом измерения. Поток γ -излучения (N_o) измерялся без образцов РЗМ. Затем устанавливались образцы РЗМ разной толщины для измерения потока γ -излучения (N_t). Определение значений N_t и N_o проводилось несколько раз, а полученные значения усреднялись для минимизации относительной погрешности. На основе измеренных величин N_t и N_o оценивались радиационно-защитные характеристики изготовленных образцов, например, линейный и массовый коэффициент ослабления, слой половинного ослабления по уравнениям (2–4). Основные результаты показаны на рис. 13, 14.

При повышении давления изготовления образцов РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама (PR1, PR2, PR3, PR4, PR5 и PR6) от 7,61 до 114,22 МПа их плотность увеличилась, а пористость снизилась. При этом линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) для образцов РЗМ на основе красной глины Вьетнама увеличивается на 31,8; 23,7; 29,5 и 36,4%; а их слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) уменьшается с 5,60 до 4,25 см (на 24%), с 10,40 до 8,40 см (на 19%), с 11,66 до 9,01 см (на 23%) и с 13,21 до 9,68 см (на 27%) при E_γ 0,662; 1,173; 1,252 и 1,332 МэВ, соответственно (рис. 13). Наилучшими радиационно-защитными свойствами обладают образцы РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама, изготовленные при давлении 114,22 МПа (образцы PR6).

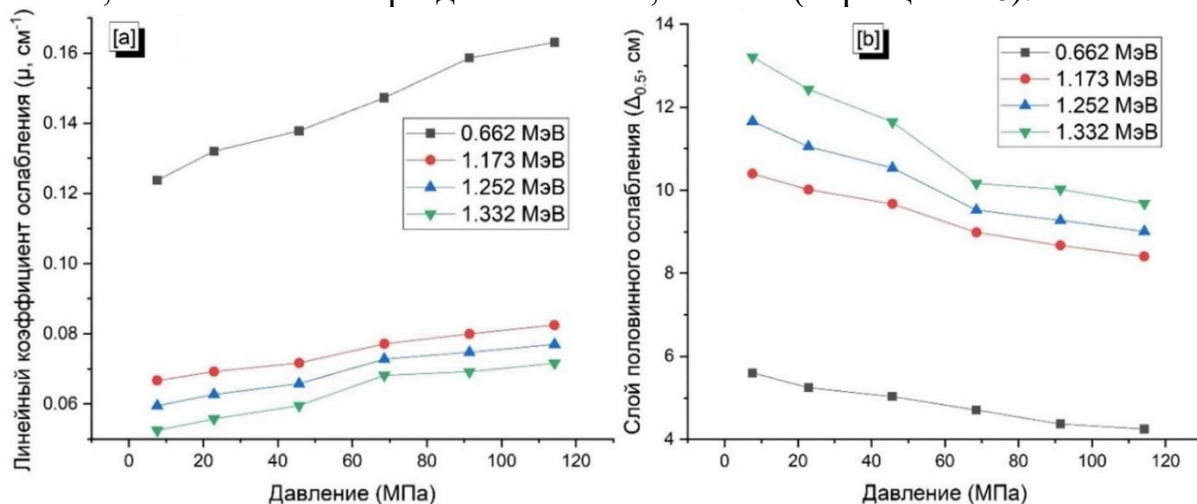


Рис. 13. Влияние давления изготовления на линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) [a] и слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) [b] (для образцов РЗМ на основе красной глины)

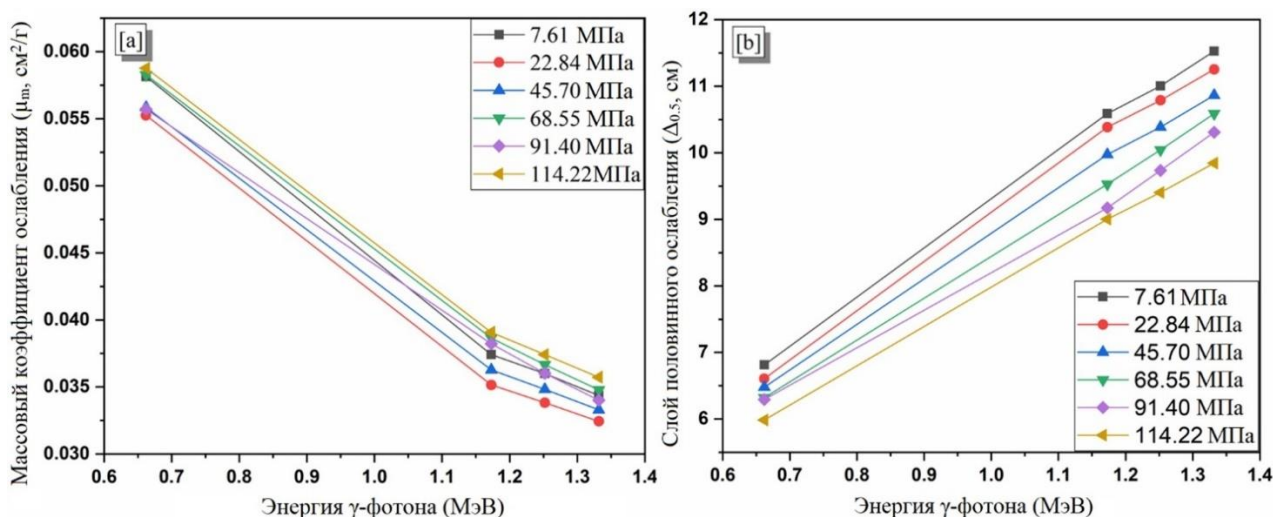
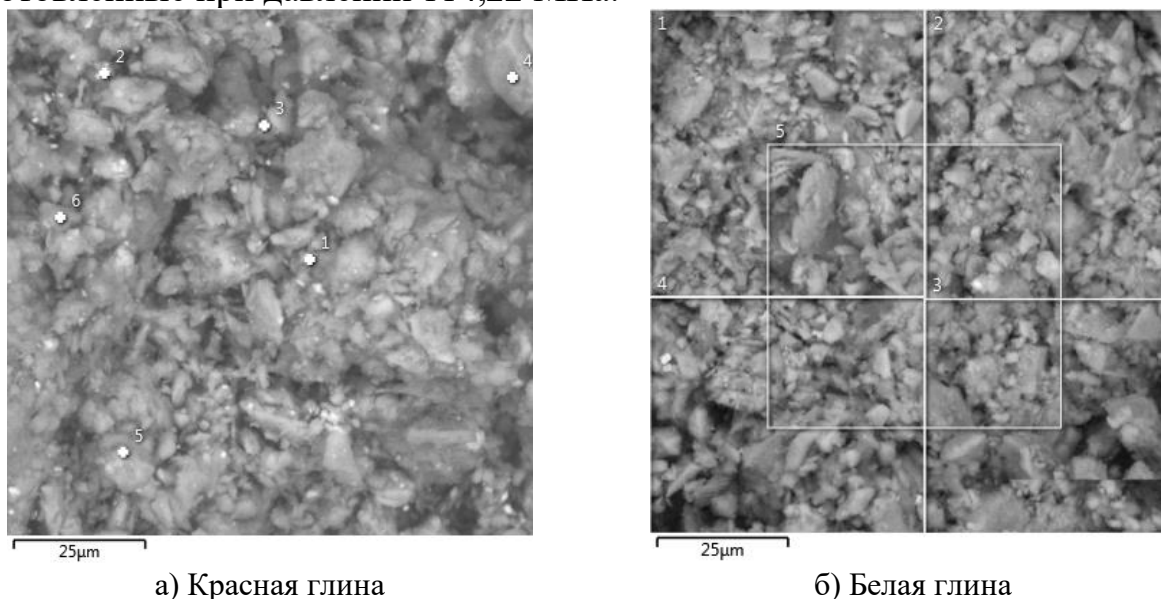


Рис. 14. Влияние энергии γ -фотона на массовый коэффициент ослабления (μ_m , $\text{см}^2/\text{г}$) [a] и слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) [b] (для образцов РЗМ на основе белой глины)

Химический состав исследуемых образцов РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама также был исследован с помощью электронного микроскопа TESCAN Mira3 LMU. На рис. 15 в качестве примера представлены электронные изображения для образцов PR6 (на основе красной и белой глины Вьетнама), изготовленные при давлении 114,22 МПа.



а) Красная глина

б) Белая глина

Рис. 15. Электронные изображения при исследовании химического состава образцов глины Вьетнама с помощью электронного микроскопа

Интегральный элементный анализ по площади показывает, что основными элементами, входящими в состав красной и белой глины Вьетнама, являются O, Al, Si, наблюдается присутствие Na, K и Fe (рис. 16).

Для подтверждения экранирующих свойств от γ -излучения изготовленных образцов РЗМ была использована программа XCOM.

Экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами теоретического исследования с помощью программы XCOM. Различие (Δ , %) между экспериментальными измеренными и теоретическими результатами, полученными с помощью программы XCOM, не превышает 10% для образцов РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама при различных энергиях γ -фотонов.

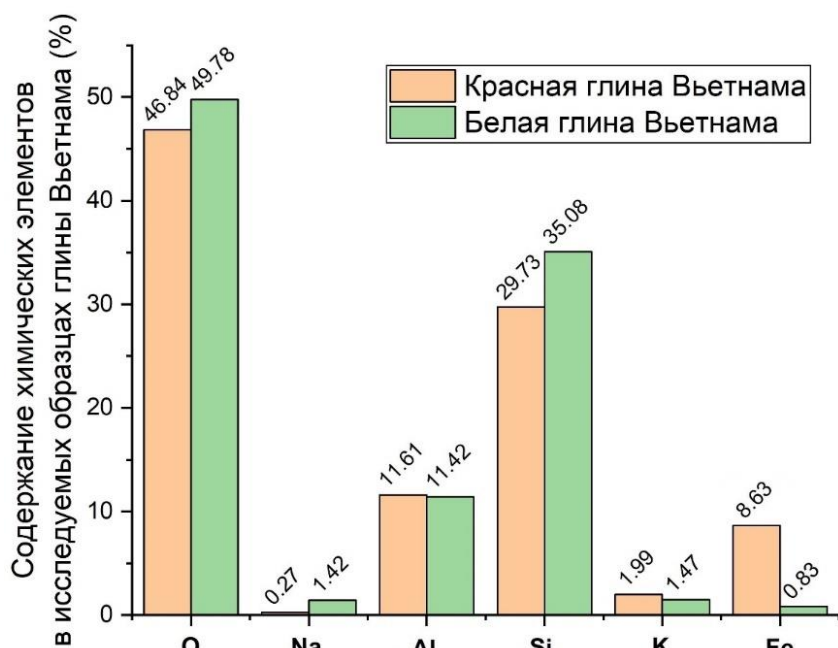


Рис. 16. Состав основных химических элементов в изготовленных образцах РЗМ Вьетнама

Из рис. 16 видно, что содержание железа (Fe) в образцах на основе красной глины значительно больше, чем в образцах на основе белой глины. Это определяет более высокие радиационно-защитные свойства красной глины по сравнению с белой, что подтверждают результаты экспериментальных и теоретических исследований.

В четвертой главе представлены описание изготовления и результаты расчетно-экспериментальных исследований композитных РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама с наполнителем в виде промышленных металлических отходов.

Глинистые минералы были предварительно обработаны (см. главу 3). Затем мелкозернистые глиняные порошки и промышленные металлические отходы смешивались в определенных концентрациях, к смеси добавлялась (10%) эпоксидная смола, все тщательно перемешивалось. После 10-минутного смешивания образцы были отформованы в цилиндрической пресс-форме диаметром 4,2 см под давлением 114,22 МПа на гидравлическом прессе (рис. 17). Во всех изготовленных образцах РЗМ соотношение эпоксидной смолы и отвердителя составляет 2:1. Обозначения образцов РЗМ с красным глинистым минералом – RW0, RW20, RW40, RW50 и RW70; с белым глинистым минералом – WW0, WW20, WW40, WW50 и WW70 (доля промышленных металлических отходов в каждом образце составляет 0, 20, 40, 50 и 70%, соответственно).

Плотность (ρ , г/см³), пористость (Φ , %) и минералогический состав изготовленных образцов РЗМ были определены экспериментально с помощью оборудования (см. главу 3). Экспериментальная оценка характеристик ослабления γ -излучения также проводилась с помощью NaI (Tl) детектора (рис. 12) и источников γ -излучения Cs-137 и Co-60 (E_γ составляют 0,662; 1,173; 1,252 и 1,332 МэВ). На основе измеренных значений N_t и N_o были рассчитаны другие характеристики радиационной защиты (например, линейный коэффициент ослабления, слой половинного ослабления). Основные результаты показаны на рис. 18b, 19, 20.



Рис. 17. Технология изготовления образцов РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама с наполнителем в виде промышленных металлических отходов

Эффективность радиационной защиты для толщины 30 см изготовленных образцов РЗМ на основе красной глины Вьетнама достигала 88,4; 90,0; 91,7; 92,1 и 92,5% (при E_γ 1,332 МэВ) для образцов, армированных металлическими отходами с концентрацией 0, 20, 40, 50 и 70%, соответственно (рис. 18b).

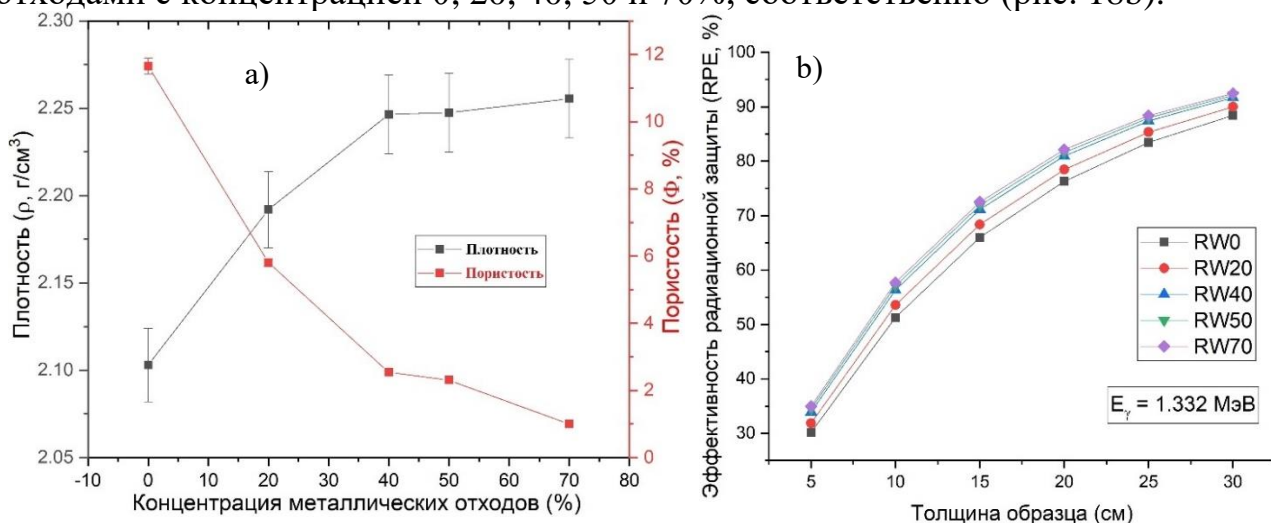


Рис. 18. Изменение плотности и пористости образцов РЗМ на основе красной глины в зависимости от концентрации металлических отходов [а]; Влияние толщины образцов РЗМ на основе красной глины на эффективность радиационной защиты при $E_\gamma = 1,332$ МэВ [б]

При повышении концентрации промышленных металлических отходов в образцах РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама (RW и WW серии) от 0 до 70% их плотность увеличилась, а пористость снизилась (рис. 18a). При этом линейный коэффициент ослабления (μ , см⁻¹) для образцов РЗМ на основе красной глины увеличивается с 0,163 до 0,213 см⁻¹; с 0,082 до 0,100 см⁻¹; с 0,077 до 0,093 см⁻¹ и с 0,072 до 0,086 см⁻¹; а их слой половинного ослабления ($\Delta_{0.5}$, см) уменьшается с 4,26 до 3,25 см; с 8,43 до 6,90 см; с 9,04 до 7,43 см и с 9,64 до 8,05 см при E_γ 0,662; 1,173; 1,252 и 1,332 МэВ, соответственно (рис. 19).

При увеличении энергии γ -излучения от 0,662 до 1,332 МэВ линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) для образцов РЗМ на основе белой глины Вьетнама уменьшается на 39,2; 40,1; 39,9; 41,2 и 44,6%; а их слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) увеличивается с 5,99 до 9,84 см; с 5,63 до 9,40 см; с 5,31 до 8,84 см; с 5,04 до 8,57 см и с 4,37 до 7,90 см; для образцов WW0, WW20, WW40, WW50 и WW70, соответственно (рис. 20).

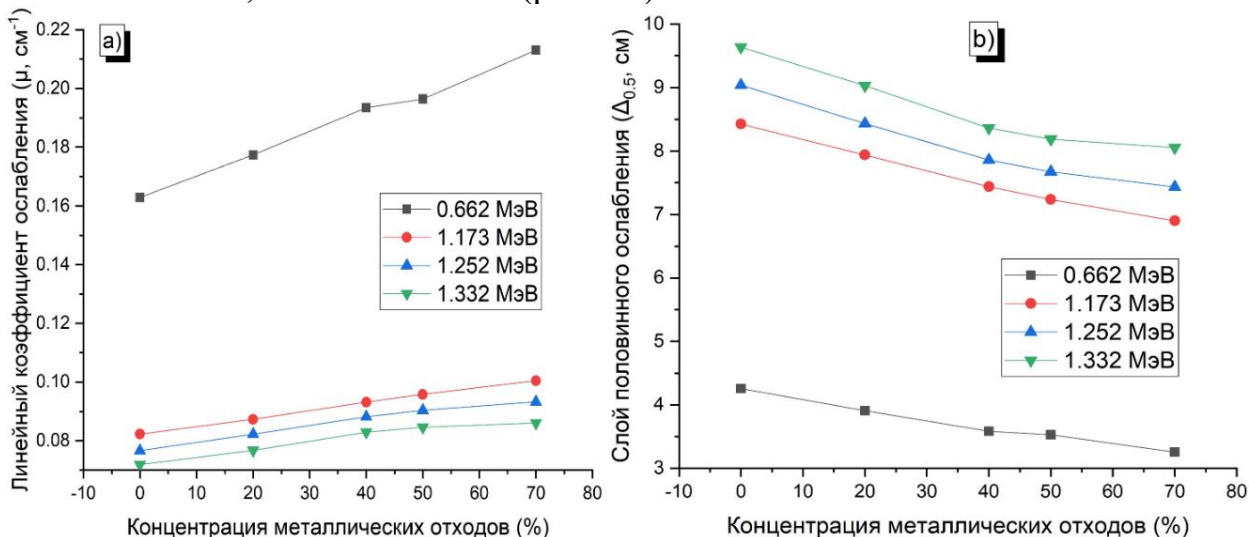


Рис. 19. Влияние концентрации металлических отходов на линейный коэффициент ослабления [а] и слой половинного ослабления [б] (для образцов на основе красной глины)

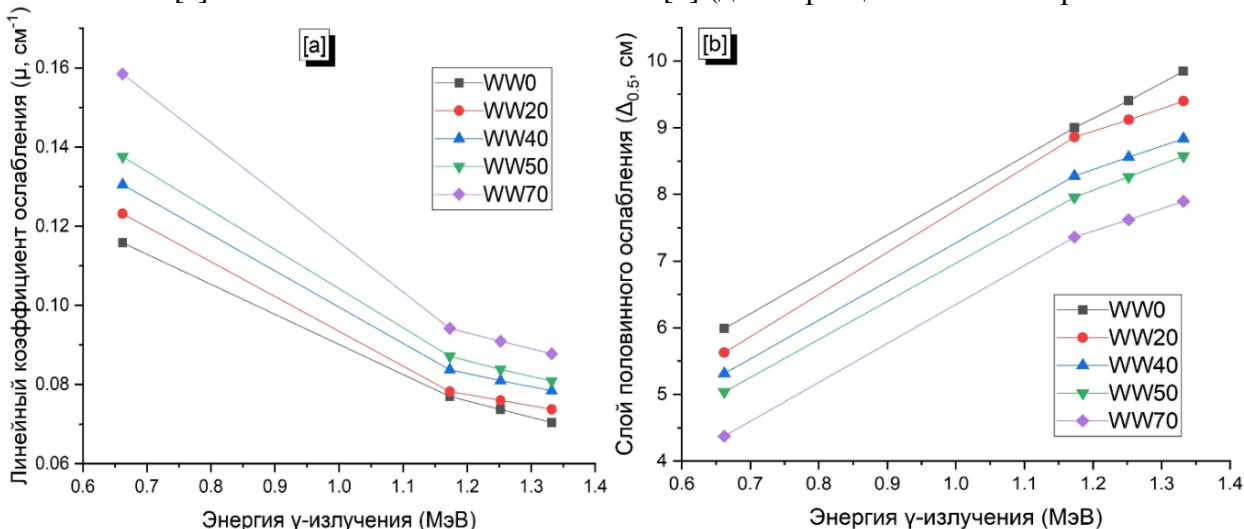


Рис. 20. Влияние энергии γ -излучения на линейный коэффициент ослабления (μ , см^{-1}) [а] и слой половинного ослабления ($\Delta_{0,5}$, см) [б] (для образцов РЗМ на основе белой глины)

Наилучшими радиационно-защитными свойствами обладают образцы РЗМ на основе красной и белой глины Вьетнама, изготовленные с концентрацией 70% промышленных металлических отходов (образцы RW70 и WW70).

Добавление промышленных металлических отходов в изготовленные образцы на основе красной и белой глины позволяет получать новые РЗМ с более высокой экранирующей способностью по сравнению с другими РЗМ из глины (рис. 21), где CF10–CF50 – глина с добавкой летучей золы (10–50%), KG00–KG50 и KG00B–KG50B – необожженный и обожженный каолин с добавкой гранита (0–50%). Сравнение показывает высокую защитную способность изготовленных образцов РЗМ. При этом образцы РЗМ серии RW обладают более высокими радиационно-защитными свойствами, чем образцы РЗМ серии WW.

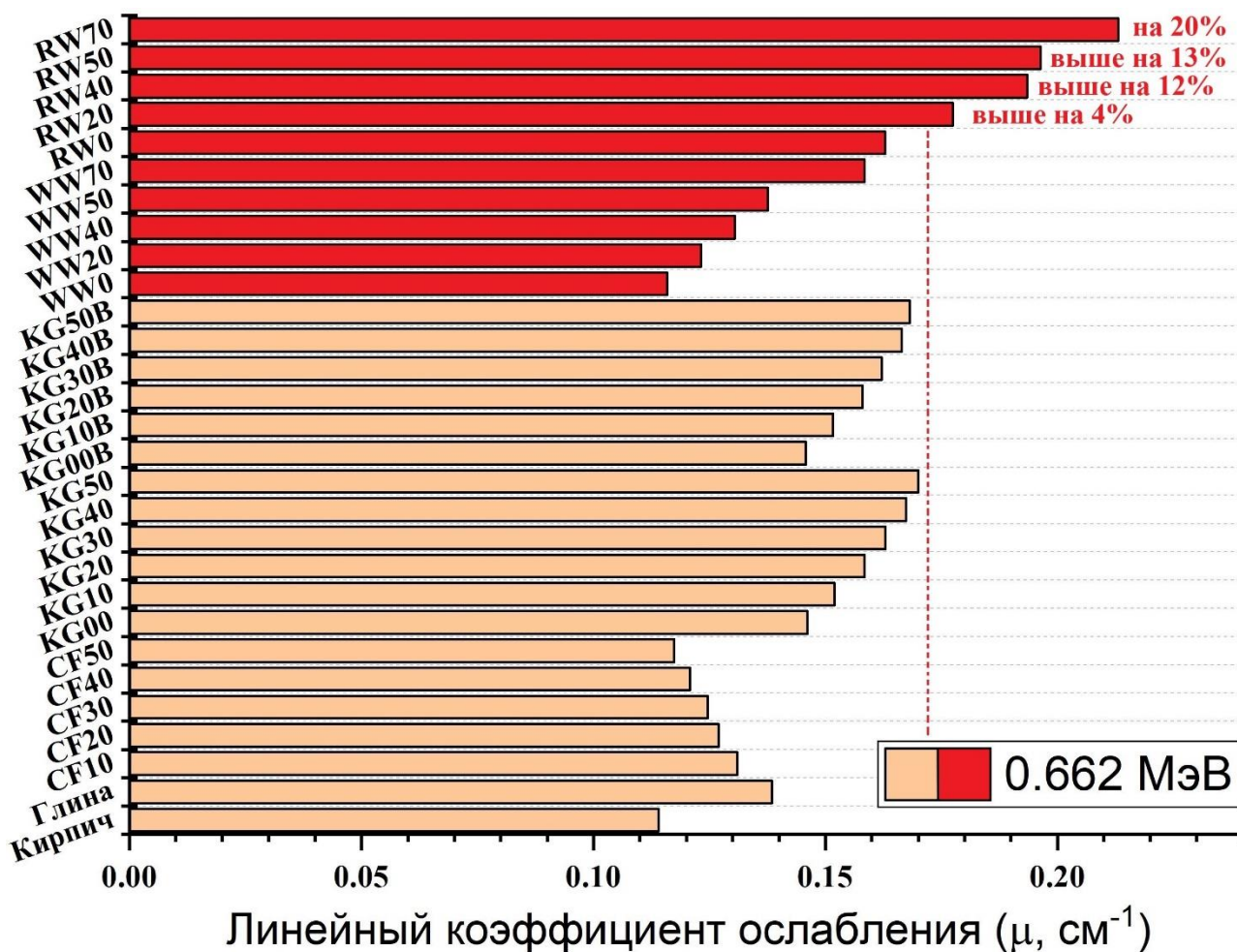


Рис. 21. Сравнение μ изготовленных образцов РЗМ (RW и WW серии) на основе красной и белой глины Вьетнама с другими образцами РЗМ из глины при $E_{\gamma} = 0,662$ МэВ

В пятой главе представлены материалы по разработке автором диссертации отдельных составляющих элементов ядерной инфраструктуры (ЯИ) Вьетнама:

- Разработка руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС для проекта ЦЯНТ Вьетнама. Эти руководства создаются в соответствии с нормативными документами Вьетнама; документами о руководстве по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС Агентства по охране окружающей среды и Комиссии по ядерному регулированию США, РФ, ЕС, МАГАТЭ; при сотрудничестве с Департаментом по экспертизе и оценке воздействия на окружающую среду Вьетнама, Министерства природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама (MONRE) и группой экспертов-экологов Вьетнама. На основании анализа и исследования вьетнамских и международных материалов, правил и норм в области атомной энергии, группа специалистов Института по атомной энергии Вьетнама (VINATOM) при непосредственном участии автора диссертации разработала основное содержание руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС для проекта ЦЯНТ.

- Разработка и подготовка к изданию специализированной учебной русско-вьетнамской литературы («Русско-вьетнамский словарь по ядерной энергетике» и русско-вьетнамский учебник «Основы ядерной энергетике») (рис. 22).

a)

1. Chu kỳ hoạt động của nhiên liệu = Кампания топлива (fuel residence time)

Chu kỳ	Hoạt động	Của nhiên liệu
Период	Действие	Топлива
Кампания топлива		

2. Phòng vệ sinh phóng xạ = Саншлюз (санитарный шлюз)

Phòng	Vệ sinh	Phóng xạ
Камера	Гигиена	Радиоактивность
Саншлюз (санитарный шлюз)		

3. Phản ứng ô-xy hóa vô thanh nhiên liệu = Пароциркониевая реакция (zirconium-steam reaction)

Phản ứng	Ô-xy hóa	Vô	Thanh nhiên liệu
Реакция	Окисление	Оболочка	ТВЭЛ
Пароциркониевая реакция			

b)

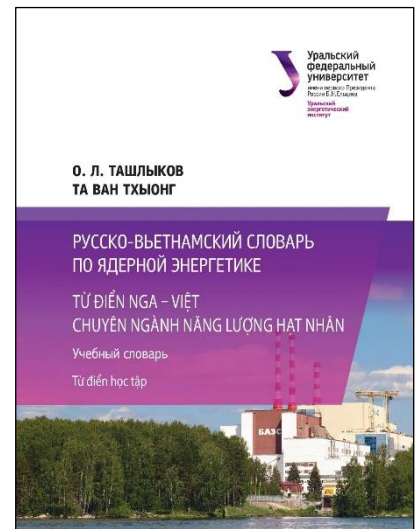


Рис. 22. Примеры перевода терминов с русского на вьетнамский язык [a]; Русско-вьетнамские словарь по ядерной энергетике [b]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом диссертационной работы являются результаты расчетно-экспериментальных исследований радиационно-защитных свойств природных минералов Вьетнама (различные виды природных камней и РЗМ на основе красного и белого глинистого минерала с наполнителем в виде промышленных металлических отходов) с целью оценки потенциальной возможности использования местных природных минералов при сооружении радиационной защиты ОИАЭ во Вьетнаме. На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Защитные свойства от γ -излучения исследуемых образцов на основе красной и белой глины Вьетнама (PR серии) были улучшены за счет повышения давления при изготовлении образцов. При увеличении давления изготовления образцов от 7,61 до 114,22 МПа:

- Линейный коэффициент ослабления образцов на основе красной глины увеличился на 32% и 36% (для образцов на основе белой глины – увеличился на 14% и 17%) при E_γ 0,662 и 1,332 МэВ, соответственно.

- Слой половинного ослабления образцов на основе красной глины уменьшается на 24% и 27% (для образцов на основе белой глины – уменьшается на 12% и 15%) при E_γ 0,662 и 1,332 МэВ, соответственно.

2. Защитные свойства от γ -излучения исследуемых композитных образцов на основе красной и белой глины Вьетнама (RW и WW серии) с наполнителем в виде промышленных металлических отходов были улучшены за счет повышения концентрации промышленных металлических отходов в образцах от 0 до 70%, при этом:

- Линейный коэффициент ослабления композитных образцов на основе красной глины увеличился на 24% и 16% (для образцов на основе белой глины – увеличился на 27% и 21%) при E_γ 0,662 и 1,332 МэВ, соответственно.

- Слой половинного ослабления композитных образцов на основе красной глины уменьшается на 24% и 17% (для композитных образцов на основе белой глины – уменьшается на 27% и 20%) при E_γ 0,662 и 1,332 МэВ, соответственно.

3. На основании результатов расчетно-экспериментальных исследований и моделирования с помощью MCNP-5 выявлено, что зеленый гранит (образец GG 8) и мрамор (М 3) обладают наибольшей экранирующей способностью среди изученных образцов камней Вьетнама. Они могут использоваться в качестве природных бесвинцовых экранирующих материалов, а также в качестве наполнителя бетона при сооружении ОИАЭ во Вьетнаме.

4. Благодаря фактической ситуации о разворачивании проекта АЭС Ниньтхуан, ранее подготовленной ЯИ, людских ресурсов и наличные природные условия Вьетнам имеет все необходимые условия для возвращения и продолжения развитие своей ядерно-энергетической программы в будущем.

5. Результат разработки руководства по подготовке и экспертизе отчета об ОВОС, способствуя повышению качества отчетности, качества оценки и экспертизы, а также обеспечения эффективной реализации проектов, связанных с ядерной отраслью Вьетнама в будущем (в том числе проект ЦЯНТ), являются полезным инструментом и важным справочным материалом руководства для соответствующих органов управления, организаций и подрядчиков.

6. Разработан и издан русско-вьетнамский словарь терминов в области использования атомной энергии (всего 840 терминов, из которых 106 разработаны впервые) и подготовлен к изданию учебник «Основы ядерной энергетики» на русском и вьетнамском языках для подготовки вьетнамских студентов и специалистов в вузах России и их обучения русскому языку.

Перспективы дальнейшего развития темы исследования заключаются в развитии следующих направлений:

- Оптимизация состава РЗМ с использованием в качестве наполнителя различных промышленных отходов Социалистической Республики Вьетнам.
- Расчетно-экспериментальные исследования других каменных и глинистых радиационно-защитных материалов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. **Ta Van Thuong.** Development of Guidance on the Preparation of the Environmental Impact Assessment Report for the Center for Nuclear Science and Technology of Vietnam / **Ta Van Thuong, Oleg Tashlykov, Pham K.T., Vu H.H.** // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 575. P. 2900–2907. 0,5 п.л./0,30 п.л. (Scopus).

2. **Та Ван Тхыонг.** Анализ состояния энергетической структуры и оценка условий для развития атомной энергетики во Вьетнаме / **Та Ван Тхыонг, Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Фам К.Т., Чан Б.Ш.** // Альтернативная энергетика и экология. – 2023. – V. 2. – С. 43–53. 0,69 п.л./0,35 п.л.

3. **Ta Van Thuong.** Experimental and theoretical justification of passive heat removal system for irradiated fuel assemblies of the nuclear research reactor in a spent fuel pool / **Ta Van Thuong, Tashlykov O.L., Glukhov S.M., Shumkov D.E., Volchikhina Yu.V.** // Nuclear Engineering and Technology. 2023. Vol. 55. Iss. 6. P. 2088–2095. 0,50 п.л./0,25 п.л. (Scopus, WoS).

4. **Ta Van Thuong**. Preparation of guidance on the appraisal of the environmental impact assessment report for the center for nuclear science and technology of Vietnam / **Ta Van Thuong**, Tashlykov O.L., Pham K.T. // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 389. 09057. 0,88 п.л./0,50 п.л. (Scopus).

5. **Ta Van Thuong**. Novel bricks based lightweight Vietnam's white clay minerals for gamma ray shielding purposes: An extensive experimental study / **Ta Van Thuong**, O.L. Tashlykov, K.A. Mahmoud // Nuclear Engineering and Technology. 2024. Vol. 56. Iss. 2. P. 666–672. 0,44 п.л./0,25 п.л. (Scopus).

6. **Ta Van Thuong**. A unique Vietnam's red clay-based brick reinforced with metallic wastes for γ -ray shielding purposes: Fabrication, characterization, and γ -ray attenuation properties / **Ta Van Thuong**, O.L. Tashlykov, K.A. Mahmoud // Nuclear Engineering and Technology. 2024. Vol. 56. Iss. 4. P. 1544–1551. 0,5 п.л./0,25 п.л. (Scopus).

7. **Ta Van Thuong**. Lightweight bricks based Vietnamese red clay for radiation protection: A deep look for the impacts of compressive strength on the characterization, and gamma ray shielding evaluation / **Ta Van Thuong**, O.L. Tashlykov, K.A. Mahmoud // Radiation Physics and Chemistry. 2024. Vol. 218. 111583. 0,44 п.л./0,25 п.л. (Scopus, WoS).

8. **Ta Van Thuong**. Physical and γ -ray shielding properties of Vietnam's natural stones: An extensive experimental and theoretical study / **Ta Van Thuong**, O.L. Tashlykov, A.M. Shironina, I.P. Voronin, E.V. Kuvshinova, D.O. Pyltsova, E.I. Nazarov, K.A. Mahmoud // Nuclear Engineering and Technology. 2024. Vol. 56. Iss. 5. P. 1932–1940. 0,56 п.л./0,25 п.л. (Scopus).

9. Пыльцова Д.О. Исследование природных минералов Вьетнама для оценки потенциала их применения в качестве защиты от ионизирующего излучения / Пыльцова Д.О., Ташлыков О.Л., **Та Ван Тхьонг**, Кувшинова Е.В., Широнина А.М., Воронин И.П., Махмуд К.А., Щеклеин С.Е. // Альтернативная энергетика и экология. – 2024. – V. 1. – С. 75–86. 0,75 п.л./0,35 п.л.

Публикации в других изданиях:

10. **Та Ван Тхьонг**. Разработка учебных материалов на вьетнамском языке для подготовки специалистов для атомной энергетики Вьетнама / **Та Ван Тхьонг**, Ха Х.М., Ташлыков О.Л. // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945–2015) – Даниловских чтений. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – С. 773–776. 0.25 п.л/0.09 п.л.

11. **Та Ван Тхьонг** О месте АЭС в развитии энергетики Вьетнама / **Та Ван Тхьонг**, Ха Х.М., Ташлыков О.Л. // Энергетика и автоматизация в современном обществе: материалы ежегодной III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей / сост. М.С. Липатов, Г.А. Морозов; под общ. ред. Т.Ю. Коротковой – ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2020. – Ч. 1. – С. 78–84. 0.44 п.л/0.22 п.л.

12. **Та Ван Тхьонг** Развитие энергетики Вьетнама / **Та Ван Тхьонг**, Ха Х.М., Ташлыков О.Л. // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945–2015) – Даниловских чтений. – Екатеринбург: УрФУ, 2020. – С. 504–509. 0.38 п.л/0.13 п.л.

13. **Та Ван Тхыонг** Разработка руководства по подготовке отчета об оценке воздействия на окружающую среду для центра ядерной науки и технологий Вьетнама / **Та Ван Тхыонг**, Ташлыков О.Л., Фам Х.Т., Ву Х.Х. // Физика. Технологии. Инновации: сборник статей VIII Международной молодежной научной конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – С. 353–364. 0.75 п.л/0.45 п.л.

14. Ташлыков О.Л. О проблемах подготовки иностранных специалистов для атомной энергетики стран-партнеров Росатома в УрФУ / Ташлыков О.Л., Климова В.А., **Та Ван Тхыонг** // Новые образовательные технологии в вузе: материалы XII международной научно-методической конференции (НОТВ-2015). – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – С. 189–195. 0.44 п.л/0.22 п.л.

15. Климова В.А. Особенности подготовки иностранных специалистов для атомной энергетики стран-партнеров Росатома в УрФУ / Климова В.А., Ташлыков О.Л., **Та Ван Тхыонг**, Ха Х.М. // Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров – 2016 : материалы научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 32–36. 0.31 п.л/0.10 п.л.

16. **Та Ван Тхыонг** Оценка эффективности пассивного отвода тепла от парогенератора АЭС с ВВЭР / **Та Ван Тхыонг**, Ха Х.М., Климова В.А., Ташлыков О.Л. // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945–2015) – Даниловских чтений. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – С. 921–924. 0.25 п.л/0.13 п.л.

17. Глухов С.М. Расчетная оценка остаточного тепловыделения ОТВС в бассейнах выдержки / Глухов С.М., Ширманов И.А., Стругов Е.Д., Тарасов А.Д., Шумков Д.Е., **Та Ван Тхыонг**, Ташлыков О.Л. // В книге: Физика. Технологии. Инновации. Тезисы докладов IX Международной молодежной научной конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – С. 65–66. 0.13 п.л/0.10 п.л.

18. **Та Ван Тхыонг** Руководство по подготовке отчета об оценке воздействия на окружающую среду Центра ядерной науки и технологий Вьетнама / **Та Ван Тхыонг**, Ташлыков О.Л., Фам Х.Т., Ву Х.Х. // В книге: Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2021. Тезисы докладов XVII Международной научно-практической конференции. – Обнинск: НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 137–138. 0.13 п.л/0.10 п.л.

19. Бессонов И.А. Исследование влияния геометрических характеристик ледового конденсатора на его аккумулирующую способность / Бессонов И.А., Бреусова А.А., Кораблев Д.А., Ревякина П.А., **Та Ван Тхыонг**, Ташлыков О.Л. // В книге: Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2022. Тезисы докладов XVIII

Международной научно-практической конференции. – Обнинск: НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 94–96. 0.13 п.л/0.10 п.л.

20. **Та Ван Тхьонг** Подготовка руководства по экспертизе отчета об оценке воздействия на окружающую среду для Центра ядерной науки и технологий Вьетнама (ЦЯНТ) / **Та Ван Тхьонг**, Ташлыков О.Л., Фам К.Т., Щеклеин С.Е. // В книге: Техногенные системы и экологический риск. Тезисы докладов VI Международной (XIX Региональной) научной конференции. – Обнинск: НИЯУ МИФИ, 2023. – С. 206–208. 0.13 п.л/0.10 п.л.

21. **Та Ван Тхьонг** Оценка эффективности ледового конденсатора в зависимости от его геометрической конфигурации / **Та Ван Тхьонг**, Бессонов И.А., Бреусова А.А., Ревякина П.А., Чалпанов С.В., Ташлыков О.Л. // В книге: Физика. Технологии. Инновации. Тезисы докладов X Международной молодежной научной конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2023. – С. 810–811. 0.13 п.л/0.10 п.л.

22. **Ta Van Thuong** Optimization of Geometric Characteristics of the Ice Condenser of the Passive Cooling System for the Spent Nuclear Fuel Pool / **Ta Van Thuong**, Bessonov I.A., Breusova A.A., Revyakina P.A., Tashlykov O.L. // В книге: Agenda and Abstracts VINANST-15. Тезисы докладов 15th Vietnam Conference on Nuclear Science and Technology. – Nha Trang: VINATOM, 2023. – С. 73–74. 0.13 п.л/0.10 п.л.