



ВНИИНМ
РОСАТОМ

Акционерное общество
«Высокотехнологический научно-исследовательский
институт неорганических материалов имени академика
А.А. Бочвара»
(АО «ВНИИНМ»)

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
АО «ВНИИНМ»
Л.А. Карпюк
_____ 2022 г.



ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов
(технические науки; химические науки)

Москва 2022

Часть 1. ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА

Типовая программа-минимум по специальности 2.6.8 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов» охватывает следующие базовые разделы: химия редких и радиоактивных элементов, физико-химические и технологические основы производства редких и радиоактивных элементов, химия и технология геохимических спутников редких металлов, экологические аспекты производства редких металлов и охрана окружающей среды.

1.1 Общие сведения

Классификация редких элементов.

Роль редких и радиоактивных элементов в развитии важнейших направлений научно-технического прогресса. Области применения в народном хозяйстве. Сырье для производства редких металлов. Распространенность элементов в земной коре. Руды и минералы редких элементов. Рудные месторождения. Природные запасы и перспективы их увеличения. Вторичное сырье. Задачи комплексной переработки сырья. Редкие металлы в ядерной энергетике.

1.2 Химия редких элементов

Положение редких и радиоактивных элементов в периодической системе Д.И. Менделеева и их электронное строение.

Редкоземельные элементы, лантаноиды и актиноиды. Явление лантаноидного сжатия. Вторичная периодичность в группе лантаноидов.

Радиоактивные семейства.

Простые вещества. Основные физические, физико-химические и химические свойства индивидуальных редких элементов.

Соединения. Строение, физико-химические и химические свойства важнейших бинарных соединений редких элементов – оксидов, фторидов, хлоридов, гидридов, сульфидов, карбидов и др., солей – сульфатов, нитратов, фосфатов и др., а также комплексных соединений.

Растворы соединений редких элементов. Комплексообразование в растворах. Константы устойчивости комплексных ионов. Ряды устойчивости комплексных соединений. Гидролиз и полимеризация. Окислительно-восстановительные реакции актинидов в растворах.

Физико-химические методы анализа редких и радиоактивных элементов.

1.3 Технология редких элементов

Специфика технологии редких и радиоактивных элементов. Принципы построения технологических схем. Основные переделы. Гидрометаллургия, пирометаллургия и сольвометаллургия. Требования к чистоте редких элементов. Ядерная чистота. Методы повышения прямого извлечения, снижения норм расхода сырья, энергии и воды при получении редких металлов. Пути интенсификации производств. Геотехнология и биотехнология металлов. Принципы обеспечения ядерной безопасности при работе с актинидами.

Важнейшие технологические схемы производства редких и радиоактивных элементов. Основные натуральные показатели технологии. Химия процессов на

отдельных стадиях. Поведение примесей. Аппаратурное оформление. Отходы и методы их переработки и утилизации.

Измельчение и обогащение руд. Принципы организации дробления и измельчения. Дробилки. Мельницы и диспергаторы. Гравитационное, флотационное, магнитное, электростатическое и радиометрическое обогащение. Аппаратура для обогащения. Химическое обогащение руд. Состав и возможные пути использования хвостов.

Выщелачивание и растворение. Разновидности выщелачивания. Кинетика выщелачивания. Аппаратура для выщелачивания. Каскады выщелачивания. Механическая переработка выщелоченных пульп - сгущение, отстаивание, декантация, гидроциклонирование. Спекание концентратов как подготовительная операция к выщелачиванию.

Ионнообменная сорбция. Основы и разновидности метода. Классификация ионитов. Термодинамика ионного обмена. Кинетика ионнообменной сорбции. Динамика сорбции. Фронтальная, вытеснительная и элюэнтная хроматография. Сорбционные фильтры, пачуки, колонны и контакторы. Организация непрерывного процесса. Примеры применения сорбционных процессов. Их возможности для решения проблем защиты окружающей среды и переработки бедного сырья.

Экстракция. Физико-химические характеристики процесса. Классификация и строение экстрагентов. Равновесие в экстракционных системах, влияние разбавителей на равновесие. Высаливание. Синергетный эффект. Кинетика экстракционных процессов. Основные типы экстракторов: смесители-отстойники, колонны, виброэкстракторы, центробежные экстракторы. Примеры применения экстракционных процессов. Характеристики процесса с экологических позиций.

Осаждение, кристаллизация, перекристаллизация, сокристаллизация, адсорбция, окклюзия. Растворимость оксидов, гидроксидов и фторидов. Промышленные кристаллизаторы. Общие закономерности сушки. Непрерывно действующие сушилки.

Получение оксидов и галогенидов. Термическое разложение гидроксидов и солей. Принципы газовой металлургии. Реагенты для хлорирования и фторирования. Основные аппараты для высокотемпературных процессов - трубчатые и шахтные печи, реакторы кипящего слоя. Процессы в солевых расплавах. Вспомогательные процессы - пылеулавливание, конденсация и десублимация. Понятие о плазмохимии. Примеры технологических схем производства оксидов, фторидов и хлоридов редких металлов. Улавливание галогенов и галогенидов из отходящих газов.

Получение и рафинирование металлов. Общая характеристика методов получения редких металлов. Металлотермия, силикотермия и карботермия. Аппаратура для металлотермии. Восстановление газами. Электролитическое восстановление. Требования к электролитам. Конструкции электролизеров. Примеры применения в технологии.

Химическое осаждение из газовой фазы. Равновесие и кинетика восстановления летучих галогенидов из газовой фазы.

Порошковая металлургия. Электродуговая и электронно-лучевая плавка. Иодидное рафинирование циркония, транспортные реакции. Принципы утилизации металлургических отходов.

Технология функциональных и конструкционных материалов на основе редких металлов. Реакторные материалы. Понятие о ядерной чистоте. Наноматериалы.

Радиохимия. Производство радиоактивных изотопов. Аналитические методы с использованием изотопов.

Экологические аспекты производства. Законодательные акты в области охраны природы. Поведение сопутствующих радиоактивных элементов при переработке рудных концентратов. Виды отходов, методы обезвреживания и утилизации ценных компонентов. Пути снижения расхода воды в гидрометаллургических производствах. Понятие о малоотходном производстве и принципах его организации.

Часть 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

Дополнительная программа по специальности 2.6.8 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов» охватывает следующие базовые разделы: производство атомной энергии, технология регенерации облученного ядерного топлива, обращение с радиоактивными отходами.

2.1 Ядерно-физические и физико-химические свойства актиноидов

Положение в Периодической системе Д.И. Менделеева. Основные ядерно-физические свойства. Ядерные реакции деления и синтеза. Цепочки радиоактивного распада. Понятие критической массы. Формы и валентность актиноидов в растворе, гидролиз, комплексообразование, окислительно-восстановительные реакции.

2.2 Производство атомной энергии

История развития атомной энергетики в РФ и в мире. Понятие о ядерном топливном цикле (ЯТЦ). Открытый и замкнутый ядерный топливный цикл.

Реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Типы действующих реакторов. Разрабатываемые реакторы (солевые, высокотемпературные газовые, термоядерные). Характеристики и виды ядерного топлива (металлическое, оксидное, карбидное, нитридное). Активные зоны и зоны воспроизводства. Твэлы, тепловыделяющие сборки, оболочки, теплоносители.

2.3 Характеристика делящихся материалов и продуктов ядерных реакций в облученном топливе

Степень обогащения топлива, делящаяся и воспроизводящая составляющие, химический состав, глубина выгорания, время охлаждения. Физика ядерных реакций деления и захвата нейтронов в реакторах. Зависимость изотопного состава смеси продуктов деления от различных факторов (энергия нейтронов, природа делящегося нуклида, время выдержки топлива после выгрузки из реактора и др.).

Характеристики наиболее значимых продуктов ядерных реакций. Химический и фазовый состав основных продуктов деления и трансурановых элементов в различных типах облученного ядерного топлива.

2.4 Гидрометаллургические методы переработки облученного ядерного топлива

Современное состояние – общие сведения. Основные радиохимические заводы и установки в мире. Транспортирование, хранение ОЯТ.

Переработка облученного ядерного топлива на примере топлива реактора на тепловых нейтронах типа ВВЭР.

Разделка твэлов. Удаление оболочек. Волоксияция. Растворение топлива в азотной кислоте. Химический состав, валентности основных элементов, радиационно-химические реакции в водных растворах. Методы стабилизации валентности плутония, нептуния. Отгонка йода, рутения. Особенности растворения плутоний- и торий- содержащего топлива. Газовыделение. Аппаратурное оформление операции растворения.

Подготовка растворов к экстракции (осветление, корректировка валентных форм, окислители, восстановители).

Экстракционная технология переработки растворов ядерного топлива.

Физическая химия процессов экстракции. Эффекты высаливателей, комплексообразователей, насыщения экстрагента, кислотности, температуры, природы разбавителя. Очистка, разделение, потоки, число ступеней, количество циклов. Аппаратура в технологии экстракции.

Массообменные процессы «жидкость-жидкость» без образования эмульсий и их последующей коалесценции (текущее применение и возможное применение в технологии переработки ОЯТ).

Характеристики экстрагентов и разбавителей. Три-н-бутил-фосфат. Радиационно-химическая устойчивость ТБФ и разбавителей. Продукты деструкции («медузы», потери, коррозия) и их роль в технологии. Очистка ТБФ и разбавителей.

Селективная реэкстракция плутония (восстановительная – химическая и электрохимическая, комплексообразовательная, вытеснительная и пр.). Роль Рефлекс-процесса при очистке и концентрировании плутония (нептуния). Кинетика экстракции актиноидов и продуктов деления.

Схема завода по регенерации топлива тепловых реакторов (на примере одного из заводов России, США, Англии, Франции). Конечные продукты переработки и обращение с ними.

Сорбционные методы переработки растворов ядерного топлива.

Физическая химия процессов сорбции – десорбции актиноидов. Номенклатура и радиационно-химическая устойчивость промышленных типов сорбентов. Современное место сорбции в схемах регенерации и аффинажа актиноидов. Неорганические сорбенты.

Аффинажные операции U, Pu, Np.

Кристаллизационные процессы в технологии переработки ОЯТ. Кристаллизация нитрата уранила и нитрата уранила-плутонила. Диаграммы состояния систем «раствор-кристаллическая фаза», особые свойства рабочих линий процессов кристаллизации и промывки, материальный баланс процесса.

Термическая денитрация уранилнитрата.

Переработка трудно вскрываемых плутоний-содержащих отходов (номенклатура отходов производства PuO_2 и металлического плутония).

Техника безопасности при работе с плутонием, трансурановыми элементами, продуктами деления.

Обеспечение ядерной безопасности в технологии регенерации топлива.

Особенности гидрометаллургической технологии регенерации топлива быстрых реакторов, топлива высокого обогащения, топлива с высоким выгоранием и низким временем выдержки. Удаление следов теплоносителя (натрий), высокие концентрации радиоиода, радиорутения, нерастворимые остатки, радиолиз экстрагента, межфазные осадки, негомогенность исходного раствора, ядерная опасность и пр.

Фракционирование. Выделение цезия и стронция. Выделение суммы РЗЭ и ТПЭ. Групповое разделение РЗЭ и ТПЭ. Разделение америция и кюрия. Экстракционные и сорбционные методы. Основные экстрагенты и комплексообразователи. Аппаратурное оформление.

Свойства технеция и его поведение при переработке ОЯТ. Возможные пути извлечения и использования технеция, родия, палладия из отходов регенерации топлива АЭС.

Тритий: свойства, применение, получение, поведение трития при эксплуатации реакторных установок и при переработке ОЯТ, способы его выделения, концентрирования (волоксидация, рецикл, разделение изотопов) и захоронения.

2.5 Пирохимические методы регенерации отработавшего топлива

Современное состояние проработок, перспективы.

Удаление оболочки.

Газофторидная технология. Общая характеристика фторидов актиноидов и основных продуктов деления, а также материалов оболочки и продуктов коррозии. Поведение U и Pu в ходе фторирования. Разделение гексафторидов U и Pu. Термодинамическая нестойкость PuF₆. Ректификация и сорбция смеси гексафторидов. Очистка. Возможность селективного восстановления PuF₆ и селективной сорбции NpF₆. Типы сорбентов. Аппаратура.

Электрохимическое осаждение оксидов и металла в хлоридных расплавах. Применение для регенерации оксидного, нитридного и металлического топлива.

Осаждение оксидов в молибдатных и фторидных расплавах.

2.6 Металлургия урана

Восстановительная плавка из шихты тетрафторида урана с металлическим кальцием или магнием. Температура осуществления процессов. Свойства восстановителей. Характеристики шлаков, обращение с ними. Рафинировочная плавка урана.

2.7 Металлургия плутония

Варианты восстановительной плавки соединений плутония. Аллотропические модификации металлического плутония. Ядерные особенности. Коррозия плутония. Рафинировочная плавка. Особенности обращения с плутонием и его соединениями.

2.8 Металлургия циркония

Электролитический способ получения металлического циркония (стадии процесса). Открытый и закрытый электролизеры. Иодидное рафинирование. Вакуумное рафинирование.

2.9 Общие представления о фабрикации топлива

Характерные свойства диоксида урана (температура плавления, кислородный коэффициент, плотность, допустимые примеси). Степени обогащения для реакторов РБМК, ВВЭР-1000. Изготовление таблеток. Изготовление твэльных оболочек, комплектация деталей. Сборка ТВС.

2.10 Обращение с радиоактивными отходами

Классификация отходов по агрегатному состоянию, по уровню радиоактивности. ВАО, САО, НАО, ОНАО. Предельно допустимые концентрации, предельно допустимые выбросы и сбросы, критерии приемлемости.

Газообразные радиоактивные отходы.

Улавливание пыли, жидких и твердых аэрозолей. Аппараты газоочистки (циклоны, металлотканевые фильтры, рукавные фильтры, НЕРА-фильтры, скрубберы, трубы Вентури).

Улавливание трития, йода, летучих соединений рутения, цезия, технеция, криптона, ксенона.

Жидкие радиоактивные отходы.

Переработка ВАО (упарка, денитрация, кальцинация, остекловывание). Требования к конечным продуктам и технологическому оформлению процесса отверждения. Свойства остеклованных отходов. Механизм процессов, происходящих в отвержденных отходах при длительном воздействии ионизирующей радиации и различных температурных условий хранения. Влияние контакта с водой. Радиационная и химическая устойчивость различных матриц.

Переработка САО. Процессы концентрирования, цементирование в другие матричные материалы. Переработка перлитных пульп, ионообменных смол, отработавших экстрагентов, масел, шламов.

Источники образования и переработка НАО (сорбция, упарка, ионный обмен, коагуляция, электродиализ, обратный осмос, соосаждение, флотация и т.д.). Понятие об ОНАО.

Твердые радиоактивные отходы, характеристика, пути сокращения объема (сжигание, прессование, дезактивация, переплавка металла, очистка грунтов).

Кондиционирование жидких и твердых РАО, требованиям к РАО, направляемым на хранение и захоронение.

Транспортировка, хранение и захоронение РАО, виды контейнеров, хранилищ и могильников. Проблемы хранения и окончательного захоронения отвержденных отходов. Проблема токсичности актиноидов в отходах, подлежащих захоронению (требования полноты извлечения актиноидов из отходов, ядерная трансмутация актиноидов и др.).

Основные положения правовых и нормативных документов, регламентирующих обращение с РАО.

Завершающий этап жизненного цикла ядерно- и радиационно-опасного объекта – вывод из эксплуатации: организация работ, технологии и оборудование. Конечное состояние площадки, КИРО, Проект вывода из эксплуатации, технологии демонтажа и обращения с РАО на площадке, достижение критериев завершения работ.

Хранение и захоронение РАО.

Воздействие предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности при обращении с РАО и ВЭ ЯРОО

Общие сведения о деятельности и документах МАГАТЭ в области обращения с РАО, вывода из эксплуатации ЯРОО и реабилитации территорий. Технологические аспекты и вопросы безопасности.

ЛИТЕРАТУРА К ОСНОВНОЙ ПРОГРАММЕ

1. Некрасов, Б.В. Учебник общей химии. – М. Химия, 1981, 559 с.
2. Ягодин, Г.А. Основы жидкостной экстракции / Г.А. Ягодин, С.З. Каган, В.В. Тарасов и др. – М.: Химия, 1981.
3. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности / Ф.З. Ширяев, В.И. Карпов, В.М. Крупчатников и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 201 с.
4. Громов Б.В., Савельева В.И. Шевченко В.Б. Химическая технология облученного ядерного топлива, М.Энергоатомиздат 1983, 352с.
5. Никифоров А.С. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов / А.С. Никифоров, В.В. Куличенко, М.И. Жихарев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
6. Нефедов, В.Д. Радиохимия / В.Д. Нефедов, Е.Н. Текстер, М.А. Торопова. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Землянухин, В.И. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС / В.И. Землянухин, Е.И. Ильенко, Л.Н. Кондратьев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Зеликман, А.Н. Металлургия редких металлов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов. – М.: Metallurgia, 1991.
9. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, ч. 1,2, 1995.
10. Коровин, С.С. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология / С.С. Коровин, Г.В. Зими́на, А.М. Резник и др. – М.: МИСИС, т. 1 – 1996; т. 2 – 1999; т. 3 – 2002.
11. Химия актиноидов (под ред. Каца Дж., Сиборга Г., Морсса Л.). В 3-х томах. Изд. Мир. 1997.
12. Уткин, Н.И. Производство цветных металлов. – М.: Metallurgia, 2000.
13. Лебедев, В.М. Ядерный топливный цикл. Технологии, безопасность, экономика. – М. Энергоатомиздат, 2005 – 316 с.
14. Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива: учебное пособие для вузов / А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин. – М.: ЗАО «Издательство Атомэнергоиздат», 2006. – 576 с.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09: 2.6.1 Ионизирующее излучение. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
16. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010): СП 2.6.1.2612-10: утв. пост. глав. сан. врача РФ 26.04.2010 № 40: – Изд. офиц. – М.: Минздрав России, 2011. – 98 с.
17. Ревенко, Юрий Александрович. Радиохимические технологии для регенерации делящихся материалов из отработавшего ядерного топлива :

монография / Ю. А. Ревенко, С. В. Подойницын, Д. Н. Колупаев; Томск: Изд-во ТПУ, 2014. — 253.

18. Reprocessing and Recycling of Spent Nuclear Fuel. / A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Edited by Robin Taylor, 2015. – 684 p. ISBN: 978-1-78242-212-9.

ЛИТЕРАТУРА К ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

1. Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре Курс химической кинетики М.: Высш. школа, 1962. – 414 с.
2. Плутоний. Справочник в 2томах под редакцией О.Вика. – М.:Атомиздат, 1971.
3. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппаратура химической технологии. – М.: Химия, 1973.
4. Денисов Е.Т. Кинетика гомогенных химических реакций: Учеб. пособие для химических специальностей университетов. – М.: Высш. школа, 1978. – 367 с.,ил.
5. Шведов, В.П. Ядерная технология / В.П. Шведов, В.М. Седов, И.Л. Рыбальченко, И.Н. Власов. – М.: Атомиздат, 1979.
6. Морачевский, Ю.В. Основы аналитической химии редких элементов / Ю.В. Морачевский, И.Я. Церковницкая. – Л.: Из-во Ленингр. ун-та, 1980.
7. Ягодин, Г.А. Основы жидкостной экстракции / Г.А. Ягодин, С.З. Каган, В.В. Тарасов и др. – М.: Химия, 1981.
8. Л.Л. Зайцева, А.В. Величко, И.В. Виноградов Соединения технеция и области их применения, серия неорганическая химия Т. 9. М.: 1984. – 120 с.
9. Никифоров А.С. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов / А.С. Никифоров, В.В. Куличенко, М.И. Жихарев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 184 с.
10. Борбат, В.Ф. Гидрометаллургия. – М.: Metallurgia, 1986.
11. Минералогия и геохимия редких и радиоактивных металлов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
12. Захаров, Е.И. Ионообменное оборудование атомной промышленности / Е.И. Захаров, Б.Е. Рябчиков, В.С. Дьяков. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
13. Б.М. Андреев, Я.Д. Зельвенский, С.Г. Катальников. Тяжелые изотопы водорода в ядерной технике. М.: Энергоатомиздат, 1987, 456 с.
14. Землянухин, В.И. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС / В.И. Землянухин, Е.И. Ильенко, Л.Н. Кондратьев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
15. Соколов, И.П. Введение в металлотермию / И.П. Соколов, Н.Л. Пономарев. – М.: Metallurgia, 1990.
16. Раков, Э.Г., Процессы и аппараты производств радиоактивных и редких металлов / Э.Г. Раков, С.В. Хаустов. – М.: Metallurgia, 1993.
17. Н.Н. Попова, И.Г. Тананаев, С.И. Ровный, Б.Ф. Мясоедов. Технеций: поведение в процессах переработки облученного ядерного топлива и в объектах окружающей среды // Успехи химии, 2003. – Т.72. – с.115- 136.
18. Дмитриев, С.А. Технологические основы системы управления радиоактивными отходами / С.А. Дмитриев, А.С. Баринов, О.Г. Батюхнова и др. – М.: Радон, 2007.

19. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие для вузов / М.А. Скачек. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

20. Iaea-tecdoc-1587, spent fuel reprocessing options, iaea, vienna, 2008, ISBN 978-92-0-103808-1, ISSN 1011-4289

21. В. И. Марченко, К. Н. Двоглазов, В. И. Волк. Химико-технологические аспекты применения редокс-реагентов для стабилизации валентных форм Pu и Np в процессах водной переработки ОЯТ // Радиохимия. – 2009. – т.51, №4. – с.289-303.

22. Пронкин, Н.С. Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла: учебное пособие / Н.С. Пронкин. – М.: Логос, 2012.

23. Польский, В.И. Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики»: учебное пособие / В.И. Польский, Б.А. Калинин, В.Л. Якушин, И.И. Чернов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.

24. Гавриш В.М., Дербасова Н.М. Основы технологии дезактивации: учеб. пособие – Севастополь: СевГУ, 2017. - 316 с.: ил.

25. Редкие элементы в ядерном топливном цикле: монография/ под ред.: И.Д.Трошкиной, М.Озавы, К.Э. Германа. – М.: РХТУ им.Д.И. Менделеева, 2018. – 272 с.

26. P.Baron, S.M.Cornet, E.D.Collins et al. A review of separation process proposed for advanced fuel cycles based on technology level assessments // Progress in Nuclear Energy, 2019. – is.117. – 103091, pp.1-24.

Программу разработали:

Главный научный сотрудник,

д-р техн. наук, снс

Главный эксперт,

д-р хим. наук, снс

Ведущий научный сотрудник,

канд. хим. наук, доцент

Главный эксперт,

канд. хим. наук

Директор отделения,

д-р техн. наук

Ведущий научный сотрудник,

канд. хим. наук

В.И. Волк

А.Ю. Шадрин

К.Н. Двоглазов

А.А. Семёнов

А.П. Варлаков

С.В. Михейкин

Программа кандидатского экзамена по специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (технические науки; химические науки) одобрена и рекомендована к утверждению Научно-техническим советом АО «ВНИИНМ» протокол № 6 от 08.04.2022 года.

В разработке программы кандидатских экзаменов принимали участие:

главный эксперт, д-р физ.-мат. наук, профессор

П.П. Полуэктов

главный научный сотрудник, д-р хим. наук, снс

О.А. Устинов