

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ



О.Ю. Долматов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПРИЕМ 2024 г.  
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ ОЧНАЯ

2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Уровень образования	Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации		
Курс	2	семестр	4

Заведующий кафедрой - руководитель отделения ядерно-топливного цикла		М.С. Кузнецов
Руководитель программы аспирантуры		И.И. Жерин

2024 г.

## **1. Общие положения**

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития атомной и редкометалльной промышленности.

Направления исследований по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов:

1. Химические способы обогащения рудных концентратов редких и радиоактивных элементов.
2. Физико-химические основы процессов обогащения.
3. Способы утилизации техногенного и вторичного сырья.
4. Способы разложения сырья различных видов с переводом целевых компонентов в подвижное (удобное для дальнейшей переработки) состояние.
5. Очистка и концентрирование рудных щелоков, газообразных и твердых продуктов разложения рудных концентратов и других видов сырья.
6. Получение промежуточных соединений необходимой степени чистоты, гранулометрического состава и т.п. для производства металла или изделий.
7. Производство и рафинирование металлов и сплавов, производство изделий из них.
8. Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности.
9. Утилизация освобождающихся в результате конверсии ресурсов (фтор, отвалный уран и т.п.) в различных отраслях промышленности.
10. Снижение отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений или трансформация их в полезные продукты.
11. Физико-химические основы синтеза материалов на основе редких металлов и производства изделий из них.

## **2. Содержание и структура кандидатского экзамена**

### **1. Общие сведения**

1. Классификация редких элементов.
2. Роль редких и радиоактивных элементов в развитии важнейших направлений научно-технического прогресса. Области применения в народном хозяйстве. Задачи редкометалльной промышленности. Стоимость и объем производства редко-

металлической продукции.

3. Редкометалльное сырье. Распространенность элементов в земной коре. Руды и минералы редких элементов. Рудные месторождения. Природные запасы и перспективы их увеличения. Вторичное сырье. Задачи комплексной переработки сырья. Стоимость и объем производства рудного сырья.

4. Краткая история промышленности редких и радиоактивных элементов России.

## **2. Химия редких элементов**

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

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

3. Радиоактивные семейства.

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

5. 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.

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

7. Физико-химические методы анализа редких и радиоактивных элементов.

## **3. Технология редких элементов**

1. 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 редкометаллической продукции. Пути интенсификации производств. Геотехнология и биотехнология металлов. Обеспечение ядерной безопасности.

2. 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 обезвреживания. Пути интенсификации производства.

3. 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.

4. 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.

5. Ионнообменная сорбция. Основы и разновидности метода. Классификация ионитов. Термодинамика ионного обмена. Кинетика ионнообменной сорбции. Динамика сорбции. Фронтальная, вытеснительная и элюентная хроматография. Сорбци-

онные фильтры, пачуки, колонны и контакторы. Организация непрерывного процесса. Примеры применения сорбционных процессов. Их возможности для решения проблем защиты окружающей среды и переработки бедного сырья.

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

7. Осаждение, кристаллизация, перекристаллизация и сушка осадков. Закономерности процессов. Растворимость оксидов, гидроксидов и фторидов. Промышленные кристаллизаторы. Общие закономерности сушки. Непрерывно действующие сушилки. Сушка пастообразных веществ. Явление соосаждения. Сокристаллизация, адсорбция и окклюзия.

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

9. Получение и рафинирование металлов. Общая характеристика методов получения редких металлов. Металлотермия, силикотермия и карботермия. Восстановление газами. Тепловой расчет процессов. Аппаратура для металлотермии. Примеры металлотермических процессов. Электролитическое восстановление. Кинетика процессов. 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. Прессование и спекание штабиков металлов. Электродуговая и электронно-лучевая плавка. Электролитическое рафинирование. Иодидное рафинирование циркония, транспортные реакции. Принципы утилизации металлургических отходов. Пути интенсификации процессов получения металлов.

10. Экологические аспекты производства. Законодательные акты в области охраны природы. Поведение сопутствующих радиоактивных элементов при переработке рудных концентратов. Виды отходов, методы утилизации ценных компонентов и обезвреживания. Пути снижения расхода свежей воды в гидрометаллургических производствах. Понятие о малоотходном производстве и принципах его организации. Воздействие предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду. Способы снижения.

11. Редкие металлы в ядерной энергетике. Ядерный топливный цикл. Ядерное топливо на основе обогащенного урана и смеси оксидов урана и плутония (МОХ-топливо). Изменение изотопного состава урана, плутония при их рецикле. Переработка отработавшего ядерного топлива. Низко-, средне- и высокоактивные отходы. Кондиционирование отходов. Имобилизация высокоактивных отходов, их хранение и захоронение. Производство радиоактивных изотопов. Реакторные материалы. Понятие о ядерной чистоте. Радиохимия, ее особенности. Аналитические методы с использованием изотопов.

12. Химия и технология геохимических спутников редких металлов, наиболее широко представленных в их технологии. Комплексное использование сырья.

13. Технология функциональных и конструкционных материалов на основе

редких металлов. Наноматериалы.

### **Дополнительная часть программы кандидатского экзамена, включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируются аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

#### **1. Общие сведения**

Общие сведения о промышленных месторождениях руд редких, рассеянных и радиоактивных элементов в Азиатско-Тихоокеанском регионе и соответствующих предприятиях по их добыче и переработке.

Краткая история организации и развития предприятий атомной промышленности в Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском регионах (Сибирский химический комбинат, Ангарский электролизно-химический комбинат и другие).

Взаимосвязи Томского политехнического университета с предприятиями атомной промышленности.

#### **2. Фторирующие реагенты**

Физико-химические свойства фтористого водорода, элементного фтора и других фторирующих агентов. Фтористые соединения редких, рассеянных и радиоактивных элементов и их физико-химические свойства. Использование фтористых соединений при очистке, разделении изотопов, получении чистых металлов.

#### **3. Технология редких элементов**

Уран и торий как ядерное топливо. Ядерные свойства делящихся материалов, характер их взаимодействия с нейтронами. Характеристика продуктов деления, их выход в активной зоне ядерного реактора.

Технология фтористых соединений урана.

Физико-химические основы получения фтористого водорода. Термодинамика и кинетика. Технологические схемы и аппаратура.

Технология элементного фтора. Физико-химические основы получения элементного фтора методом электролиза, конструкционные материалы и аппаратура.

Физико-химические основы получения соединений урана (оксидов, фторидов) разной степени обогащения «мокрыми» и «сухими» методами, как исходных продуктов для синтеза гексафторида урана. Технология и аппаратура.

Синтез гексафторида урана. Термодинамика, кинетика, технология, аппаратура и требования к его качеству.

Технология ядерного топлива из гексафторида урана разной степени обогащения на основе диоксида и металлического урана. Физико-химические основы и аппаратура.

Технология плутония.

Физико-химические основы химической переработки ТВЭЛ из оксидов и металлического урана. Технология и аппаратура.

Экстракционный метод разделения урана, плутония и продуктов деления. Константы равновесия и коэффициенты разделения. Аппаратурное оформление непрерывной технологической схемы. Очистка плутония от примесей. Получения плутония металлического и его использование в компонентах ТВЭЛ.

Технологические проблемы удаления и захоронения высокоактивных отходов радиохимических производств.

Технология получения ядерного топлива из высокообогащенного урана и плутония разной степени обогащения.

Поведение радионуклидов на всех этапах ядерного топливного цикла. Основы ядерной безопасности.

Технология получения высших фторидов редких металлов на примере: вольфрама, молибдена, рения, тантала, ниобия.

Физико-химические основы газовой металлургии высших фторидов редких элементов.

### 3. Методические указания по процедуре проведения и оценивания кандидатского экзамена

#### Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена

К кандидатскому экзамену допускаются:

- аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
- соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами профильного ОЯТЦ ИЯТШ, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

*Требования к оформлению.* Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

*Структура реферата* включает титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

*Титульный лист* является первым листом реферата и заполняется по образцу.

*Содержание* включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

#### Проведение кандидатского экзамена

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в отделении / НОЦ. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

% выполнения заданий экзамена	Экзамен, балл	Соответствие традиционной оценке	Определение оценки
90%÷100%	18 ÷ 20	«Отлично»	Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному
70% - 89%	14 ÷ 17	«Хорошо»	Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов
55% - 69%	11 ÷ 13	«Удовл.»	Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов
0% - 54%	0 ÷ 10	«Неудовл.»	Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям

#### 4. Рекомендуемая литература

##### Основная литература

1. Введение в химическую технологию ядерного топлива : учебное пособие [Электронный ресурс] / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий, Отделение ядерно-топливного цикла ; сост. А. Н. Дьяченко ; И. В. Петлин ; Ю. В. Передерин. – 1 компьютерный файл (pdf; 7.0 MB). – Томск : Изд-во ТПУ, 2023. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. — ISBN 978-5-4387-1116-2. – URL: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2023/m01.pdf> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
2. [Амелина, Галина Николаевна](#). Химия редких элементов : электронный курс / Г. Н. Амелина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий, Отделение ядерно-топливного цикла. – Электрон. дан. – Томск : TPU Moodle, 2020. – Заглавие с экрана. – Доступ по логину и паролю.URL: <https://design.lms.tpu.ru/course/view.php?id=3543> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
3. Ташлыков, Олег Леонидович. Ядерные технологии : учебное пособие для СПО / О. Л. Ташлыков; Уральский федеральный университет (УрФУ) ; под науч.

- ред. С. Е. Щеклеина. – Москва : Юрайт, 2022. – 196, 209-210 с.: ил. – (Профессиональное образование). – Библиогр.: с. 194-196. – Перечень сокращений: с. 5-10. – ISBN 978-5-534-14184-9. (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
4. Ядерное топливо и его переработка / В. А. Зайцев, Ю. А. Кузма-Кичта, Д. В. Стефановский [и др.]. – Москва : Техносфера, 2022. – 224 с.: ил. – Библиогр.: с. 204-223. – ISBN 978-5-94836-651-7. <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C379861> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
  5. Русаков, Игорь Юрьевич. Основы конструирования и расчета оборудования химических и атомных производств : учебное пособие / И. Ю. Русаков, В. Л. Софронов; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт. – Северск : Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – 272 с.: ил. – Библиогр.: с. 269-271. – ISBN 978-5-93915-139-9. <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C377796> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
  6. Бекман, Игорь Николаевич. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман // 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2022. – 493 с.: ил. – (Высшее образование). – Библиогр.: с. 491. – ISBN 978-5-534-08692-8. <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C380171> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
  7. Введение в химическую технологию ядерного топлива : учебное пособие [Электронный ресурс] / Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий, Отделение ядерно-топливного цикла ; сост. А. Н. Дьяченко ; И. В. Петлин ; Ю. В. Передерин. – 1 компьютерный файл (pdf; 7.0 МВ). – Томск : Изд-во ТПУ, 2023. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – ISBN 978-5-4387-1116-2. – URL: <https://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2023/m01.pdf> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ. – Текст: электронный.
  8. Бекман, Игорь Николаевич. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман // 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 500 с.: ил. – (Высшее образование). – Библиогр.: с. 499-500. – Основные сокращения: с. 8-9. – ISBN 978-5-534-08681-2. <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C379005> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
  9. Русаков, Игорь Юрьевич. Основы конструирования и расчета оборудования химических и атомных производств : учебное пособие / И. Ю. Русаков, В. Л. Софронов; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт. – Северск : Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – 272 с.: ил. – Библиогр.: с. 269-271. – ISBN 978-5-93915-139-9. <http://opac.lib.tpu.ru/document/1/RU%5CTPU%5Cbook%5C377796> (дата обращения 12.10.2024 г.) Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
  10. Алексеев, С. В. Дисперсионное ядерное топливо / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев, С.С. Толстоухов. – Москва: Техносфера, 2015. – 246 с. . – Текст: непосредственный.
  11. Габараев, Б. А. Атомная энергетика XXI века: учебное пособие / Б. А. Габараев, Ю. Б. Смирнов, Ю. С. Черепнин. – Москва: Изд-во МЭИ, 2013. – 251 с. . –

Текст: непосредственный.

12. Хамаза, А. А. Атомная энергетика: развитие, безопасность, международное сотрудничество: справочное пособие / А. А. Хамаза, О. М. Ковалевич, С.В. Ларина. – Москва: Изд-во МЭИ, 2014. – 268 с. Текст: непосредственный
13. Бекман, Игорь Николаевич. Радиохимия учебник и практикум для академического бакалавриата: в 2 т.: / И. Н. Бекман; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ). – Москва: Юрайт, 2015. Т. 1: Фундаментальная радиохимия. – 2015. – 473 с.: ил.. – Библиогр.: с. 468. – Предм. указ.: с. 469-473. – ISBN 978-5-9916-5149-3. – Текст: непосредственный.
14. Бекман, Игорь Николаевич. Радиохимия учебник и практикум для академического бакалавриата: в 2 т.: / И. Н. Бекман; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ). – Москва: Юрайт, 2015. Т. 2: Прикладная радиохимия и радиационная безопасность. – 2015. – 386 с.: ил.. – Библиогр.: с. 386. – Предм. указ.: с. 382-385. – ISBN 978-5-9916-5151 – Текст: непосредственный.
15. Лебедев, Владимир Александрович. Инновационная технология иммобилизации радиоактивных отходов на основе магнетиальных матриц: монография / В. А. Лебедев, В. М. Пискунов. – Москва: Инфра-М РИОР, 2016. – 87 с.: ил.. – Научная мысль. – Библиогр.: с. 76-83.. – ISBN 978-5-369-01429-5. – ISBN 978-5-16-010839-1. – Текст: непосредственный.
16. Бекман, Игорь Николаевич. Радиоэкология и экологическая радиохимия: учебник для бакалавриата и магистратуры: . – Москва: Юрайт, 2016. – с.: ил. +. – Библиогр.: с. – Заказано в издательстве.. – ISBN 978-5-9916-9171-0. – Текст: непосредственный.
17. Бекман, Игорь Николаевич. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения: учебник для бакалавриата и магистратуры: . – Москва: Юрайт, 2016. – с.: ил. +. – Библиогр.: с. – Заказано в издательстве.. – ISBN 978-5-9916-4008-4. – Текст: непосредственный.
18. Бекман, Игорь Николаевич. Ядерные технологии: учебник для бакалавриата и магистратуры: – Москва: Юрайт, 2016. – с.: ил. – Библиогр.: с. – Заказано в издательстве. – ISBN 978-5-9916-9169-7. – Текст: непосредственный.

### **Дополнительная литература**

1. Девярых Г. Г. Высокочистые тугоплавкие и редкие металлы / Г. Г. Девярых, Г. С. Бурханов; РАН; Институт химии высокочистых веществ; Институт металлургии им. А. А. Байкова. – Москва: Наука, 1993. – 222 с – Текст: непосредственный.
2. Зеликман, Абрам Наумович. Металлургия редких металлов: учебное пособие / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов. –2-е изд., перераб. и доп.. –Москва: Металлургия, 1991. –431 с. – Текст: непосредственный.
3. Химическая технология и металлургия бериллия и его сплавов сборник переводов: / под ред. М. Б. Борисова . –М. : Изд-во иностранной литературы, 1953. – 190 с. – Текст: непосредственный.
4. А.А. Маслов, Р.В. Оствальд, В.В. Шагалов. Химическая технология ниобия и тантала. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. – 96 с. – Текст: непосредственный.
5. Тураев Н.С. Химия и технология урана / Н. С. Тураев, И. И. Жерин; Томский политехнический университет. – Москва: Руда и металлы, 2006. – 396 с.: ил.. – Библиогр.: с. 390-393. – ISBN 5-98191-019-4. – Текст: непосредственный.
6. Торий в ядерном топливном цикле / В. И. Бойко, Власов В.А., Жерин И.И., Маслов А.А., Шаманин И.В. – Москва: Руда и металлы, 2006. – 360 с.: ил.. – Библиогр. в конце глав. – ISBN 5-98191-018-6. – Текст: непосредственный.
7. Плутоний справочник: / под ред. О. Вика . – Москва: Атомиздат, 1971-1973 Т. 1. – 1971. – 428 с.: ил.. – Библиография в конце глав.

8. Плутоний справочник: / под ред. О. Вика . – Москва : Атомиздат , 1971-1973 Т. 2 . – 1973. – 456 с.: ил.. – Библиография в конце глав. – Текст: непосредственный.
9. Жерин И.И. Химия тория, урана и плутония: учебное пособие [Электронный ресурс] / И. И. Жерин, Г. Н. Амелина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 1.12 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m333.pdf>. (дата обращения 12.10.2024 г.) – Текст: электронный
10. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В 3-х книгах. Книга 3: Учебник для вузов / Коровин С.С., Букин В.И., П.И. Фёдоров, Резник А.М. / Под ред. С.С. Коровина – М.: «МИСИС», 2003. – 440с. . – Текст: непосредственный.
11. С.С. Коровин, Д.В. Дробот, П.Н. Федорова. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. В 3-х книга. Книга II: Учебник для ВУЗов под ред. С.С. Коровина – М.: «МИСИС», 1999. – 464 с. . – Текст: непосредственный.