



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ  
ИМ. А.Н. ФРУМКИНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИФХЭ РАН)**

**Рабочая программа дисциплины**

**«Химия технеция и основных продуктов  
деления ядерного цикла»**

по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров  
высшей квалификации)

**Специальность 02.00.14- «Радиохимия»**

## 1. Цели и задачи дисциплины:

Цель преподавания дисциплины – формирование у аспирантов системных знаний и умений выполнять синтетические работы и расчёты параметров физико-химических процессов, при рассмотрении их физико-химической сущности и механизмов взаимодействия соединений технеция, происходящих в процессах переработки отработанного ядерного топлива, а также при получении радиофармацевтических технеций-содержащих препаратов.

### Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление аспирантов с принципами организации и работы в радиохимической лаборатории, специализирующейся на работах по химии технеция;
- ознакомление аспирантов с мероприятиями по охране труда и технике безопасности в радиохимической лаборатории, с осуществлением контроля за соблюдением и обеспечением экологической безопасности при работе с реактивами, радиоактивными изотопами технеций-99 и технеций-99m;
- формирование у аспирантов представлений о химических и физико-химических аспектах как важнейших компонентов знаний, необходимых для осуществления работы и при организации работ по выделению и применению соединений технеция;
- изучение аспирантами свойств соединений технеция органической и неорганической природы; свойств технеций-содержащих растворов, различных видов равновесий химических реакций и процессов, протекающих с участием технеция; механизмов превращения соединений технеция и диапазонов их термической и радиационной устойчивости;
- изучение аспирантами закономерностей протекания физико-химических процессов с участием соединений технеция как на радиохимических производствах, так и при медицинском применении данного изотопа, в том числе на различных границах разделов фаз; особенностей физической химии технеция в дисперсных системах;
- формирование у аспирантов навыков изучения научной химической литературы;
- формирование у аспирантов умений для решения проблемных и ситуационных задач;
- формирование у аспирантов практических умений постановки и выполнения экспериментальной работы.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП:

Настоящая дисциплина «Химия технеция и основных продуктов деления ядерного цикла» является модулем основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки

научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 04.06.01 – Химические науки по специальности 02.00.14- Радиохимия.

Основные знания, необходимые для изучения дисциплины формируются:

- на базе знаний, полученных при изучении курса химии высших учебных заведений;
- на базе знаний, полученных при изучении курса физики в высших учебных заведений;
- на базе знаний, полученных при изучении курса математики в высших учебных заведений;

Обучение аспирантов осуществляется на основе преемственности знаний и умений, полученных в курсе химии высших учебных заведений.

Изучение аспирантами курса «Химия технеция» является осуществляемой по выбору аспиранта заключительной стадией для освоения дисциплины «Радиохимия».

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

#### Универсальные компетенции:

способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

#### Общепрофессиональные компетенции:

способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области радиохимии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук (ОПК-2);

готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования в области радиохимии (ОПК-3).

#### Профессиональные компетенции:

способность и готовность применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки научной профессиональной информации; получать информацию по радиохимии из различных источников, в том числе с использованием современных компьютерных средств, сетевых технологий, баз данных и знаний (ПК-1);

способность использовать в работе основные радиохимические методы для оценки поведения различных материалов в поле ионизирующего излучения (ПК-2);

способность применять комплекс исследований, в том числе междисциплинарных, при изучении закономерностей и механизмов протекания радиохимических процессов (ПК-3);

глубокое понимание общих закономерностей поведения технеция в растворах, способность использовать полученные теоретические знания в практической работе (ПК-4);

способность к самостоятельному освоению новых методов радиационной химии и радиохимии, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения; способность к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы (ПК-5).

## **4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетная единица - 36 часов  
Обучение происходит на 3-м году аспирантуры; вид отчетности – зачет.

### 4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб	Прак.	КСР.		
1	Химия технеция и основных продуктов деления ядерного цикла	36	36	36				зачет	

#### 4.2. Содержание дисциплины:

##### 4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела учебной дисциплины	Содержание раздела в дидактических единицах (темы разделов)	Вид занятий
<b>Модуль 1: Основные типы химических соединений технеция</b>			
1.	Металлическое состояние технеция	1. Методы получения металлического технеция. 2. Физические и химические свойства металлического технеция и его сплавов. 3. Изготовление трансмутационных мишеней из Tc и его соединений.	лекции – 2 часа
2.	Кислородные соединения технеция, молибдена, циркония и рутения	1. Оксиды технеция, молибдена и других ПД. 2. Общая константа совмещенного протолитического равновесия технеций-содержащих кислот. 3. pH растворов и гидролиз солей, степень и константа гидролиза соединений и ионных форм технеция и ПД. 4. Условия образования и растворения Tc и смешанных Tc-Mo-Ru-осадков. 5. Явление изоморфизма у соединений технеция. 6. Применение реакции осаждения в процессах концентрирования Tc.	лекции – 4 часа,.
3.	Галогениды и сульфиды технеция	1. Хлориды, бромиды, иодиды и фториды технеция. 2. Свойства фторидов и их роль при испльзовании обогатитель-	лекции – 4 час,

		<p>ных технологий.</p> <p>3. Свойства хлоридов технеция и их поведение в процессах пирохимической переработки ОЯТ.</p> <p>4. Кластеры технеция.</p> <p>5. Сульфиды технеция, их строение и свойства.</p> <p>6. Применение сульфидов Tc в радиофармпрепаратах.</p> <p>7. Роль сульфидов технеция в экологических процессах.</p>	
<b><u>Модуль 2: Химическая термодинамика и химическая кинетика на примере соединений технеция</u></b>			
4.	Химическая термодинамика на примере соединений технеция	<p>1. Химическая термодинамика основных групп соединений Tc.</p> <p>2. Стандартная энтальпия образования основных групп соединений технеция, стандартная энтальпия сгорания металлического технеция.</p> <p>3. Обратимые и необратимые реакции в химии технеция.</p> <p>4. Роль энтальпийного и энтропийного факторов при оценке возможности протекания реакции в ультрадисперсных системах при приготовлении радиофармпрепаратов.</p> <p>5. Основные проблемы термодинамики технеция по Дж.Рарду (NEA TDB).</p>	лекции – 4 час.,.
5.	Кинетика химических реакций с участием ионов Tc(V) и Tc(IV). Каталитическое влияние технеция на процессы разделения актинидов при переработке ОЯТ.	<p>1. Химическая кинетика как основа для изучения скоростей и механизмов реакций разделения радионуклидов с применением окислительно-восстановительных процессов</p> <p>2. Скорость реакции восстановления Tc(vii) ураном(IV) и гидразином.</p> <p>3. Кинетические уравнения для основных реакций соединений технеция.</p>	Лекция -4 часа
<b><u>Модуль 3: Хроматографические методы выделения технеция и разделения его различных химических форм.</u></b>			
6.	Хроматографические методы выделения технеция	1. Ионообменная хроматография, как метод концентрирования и выделения технеция из радиоактивных растворов.	лекции – 4 час,

		2. Эффективные анионообменные группы для выделения и очистки Тс-препаратов.	
7.	Хроматографические методы разделения различных химических форм технеция	1. Методы определения валентных форм технеция в хлоридных растворах. 2. Методы разделения комплексных соединений технеция.	лекции – 4 часа,
8.	Методы определения радиохимической чистоты технециевых радиофармпрепаратов.	1. Определение радиохимической чистоты технециевых радиофармпрепаратов методом бумажной хроматографии с использованием жидкостно-сцинтилляционного детектирования . 2. Определение радиохимической чистоты технециевых радиофармпрепаратов методом тонкослойной хроматографии и фосфоримаждерии.	лекции – 4 часа,.
<b>Модуль4 Тс в ядерной медицине</b>			
9.	Методы получения технеция 99м	Получение молибдена-99 из урана-235 в реакторах. Проблемы перехода на НОУ. Получение Молибдена на ускорителях. Альтернативные методы получения молибдена-99-технеция-99м.	лекции – 3 часа
10.	Радиофармацевтические препараты на основе технеция-99м	1. Простые радиофармпрепараты Тс-99м. 2. Пертехнетат калия и его применение. 3. Препараты на основе сульфида технеция. 4. Тс-ДТПА. Тс-ДОТА. И их применение. 5. Бифункциональные радиофармпрепараты Тс-99м. .	Лекция - 3 часа.

### 5. Образовательные технологии

Основные виды образовательных технологий: компьютерные технологии (обработка экспериментальных данных с использованием программ Exell, Origin.7), подготовка публикаций в формате Word и презентации в формате PowerPoint, средства мультимедиа, активные образовательные технологии (лекции, семинары, лабораторные работы на современном оборудовании с использованием приборов для рентгеновского,

рентгеноструктурного анализа, ИК- и УФ—Вид спектроскопии, радиометрии и др.

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.**

#### **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

**Виды самостоятельной работы:** с компьютером в лабораториях и в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет, с учебной и научной литературой по специальности (библиотека Института, базы данных и другие материалы в лабораториях, Интернет), с лабораторным оборудованием под контролем сотрудников Института

Систематические обсуждения с научными руководителями по результатам освоения теоретических разделов, результатов проведенной экспериментальной работы с целью контроля успехов освоения научной дисциплины, подготовки к сдаче зачета по специальности. Экспертная оценка руководителя, экзаменаторов.

### **Вопросы к зачету**

1. Методы получения металлического технеция. Физические и химические свойства металлического технеция и его сплавов. Изготовление трансмутационных мишеней из Tc и его соединений.

2. Оксиды технеция, молибдена и других ПД . Общая константа совмещенного протолитического равновесия технеций-содержащих кислот. рН растворов и гидролиз солей, степень и константа гидролиза соединений и ионных форм технеция и ПД.

3. Условия образования и растворения Tc и смешанных Tc-Mo-Ru-осадков. Явление изоморфизма у соединений технеция.

4. Хлориды, бромиды, иодиды и фториды технеция. Свойства фторидов и их роль при использовании обогатительных технологий. Свойства хлоридов технеция и их поведение в процессах пирохимической переработки ОЯТ. Кластеры технеция.

5. Сульфиды технеция, их строение и свойства. Применение сульфидов Tc в радиофармпрепаратах. Роль сульфидов технеция в экологических процессах

6. Химическая термодинамика основных групп соединений Tc. Стандартная энтальпия образования основных групп соединений технеция, стандартная энтальпия сгорания металлического технеция.

7. Обратимые и необратимые реакции в химии технеция. Роль энтальпийного и энтропийного факторов при оценке возможности протекания реакции в ультраразбавленных системах при приготовлении радиофармпрепаратов.



8. Основные проблемы термодинамики технеция по Дж.Рарду (NEA TDB).
9. Химическая кинетика как основа для изучения скоростей и механизмов реакций разделения радионуклидов с применением окислительно-восстановительных процессов
10. Скорость реакции восстановления Tc(vii) ураном(IV) и гидразином.
11. Кинетические уравнения для основных реакций соединений технеция
12. Ионообменная хроматография, как метод концентрирования и выделения технеция из радиоактивных растворов. Эффективные анионообменные группы для выделения и очистки Tc-препаратов.
13. Методы определения валентных форм технеция в хлоридных растворах. Методы разделения комплексных соединений технеция.
14. Определение радиохимической чистоты технециевых радиофармпрепаратов методом бумажной хроматографии с использованием жидкостно-сцинтилляционного детектирования .  
Определение радиохимической чистоты технециевых радиофармпрепаратов методом тонкослойной хроматографии и фосфоримаждерии
15. Получение молибдена-99 из урана-235 в реакторах. Проблемы перехода на НОУ. Получение Молибдена на ускорителях. Альтернативные методы получения молибдена-99-технеция-99м.
16. Простые радиофармпрепараты Tc-99м. Пертехнетат калия и его применение.
17. Препараты на основе сульфида технеция.
18. Tc-ДТПА. Tc-ДОТА. И их применение.
19. Бифункциональные радиофармпрепараты Tc-99м

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

### 1. Основная литература

1. Тананаев И.Г. и др. Технеций. Изд. ФГУП «ПО «Маяк», 2006, с.82.
2. В.Ф. Перетрухин, Ф. Муази, А.Ю. Цивадзе, К.Э. Герман, и др. Физико-химическое поведение урана и технеция на некоторых новых этапах ядерного топливного цикла // Ж. физ-хим. общества им. Д.И. Менделеева, 2007. том 51, № 6, стр. 12-24.
3. К. Э. Герман, Н. Н. Попова, В. П. Тарасов, В. Ф. Перетрухин, И. Г. Тананаев. Исследование состояния наночастиц и интерметаллидов технеция методом  $^{99}\text{Tc}$ -ЯМР. Российский химический журнал. 2010. Т. 54, № 3 , стр. 40 – 44.

### 2. Дополнительная литература

1. Спицын, В.И., Кузина, А.Ф., // Технеций. М.: Наука, 1981. 147 с.
2. R. Alberto, Technetium. In Comprehensive Coordination Chemistry. II; McCleverty, J. A., Mayer, T. J., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2003; Vol. 5, p 136.

3. J. A. Rard, M. H. Rand, G. Anderegg and H. Wanner, "Chemical Thermodynamics of Technetium," Sandino, MCA; Östholms, E, eds.; Elsevier: Amsterdam, NEA-TDB. 1999.
4. Д.Н. Туманова, К.Э. Герман, В.Ф. Перетрухин, А.Ю. Цивадзе Образование пероксидов технеция в безводной серной кислоте. Доклады Академии наук сер. Физ. химия, 2008, т 420, No. 3, стр. 356–359.
5. К.Э. Герман, Е.В.Фирсова, В.Ф. Перетрухин, Т.В. Хижняк, М. Симонофф. Биоаккумуляция Тс, Рu и Np Донными осадками двух типов пресноводных озер Московского региона. *Радиохимия*, 2003 Т. 45, № 3 , стр. 229-235.
6. А.М. Fedosseev, N.A. Budantseva, M.S. Grigoriev et all. Synthesis and properties of neptunium(VI,V) and plutonium(VI) pertechnetates. *Radiochimica Acta*, 2003, V. 91, No. 03, p. 147- 152.

3) программное обеспечение и Интернет-ресурсы: лицензионные Microsoft Office (на ноутбуках), Start Office, Origin. Internet Explorer, институтская подписка на Web of Knowledge, портал ACS, E-library.Ru.

Журналы и книги издательства American Chemical Society (ACS)
:Журнал "Радиохимия"
Журнал "Безопасность ядерных технологий и окружающей среды"
Журнал "Nuclear Technology"
Журнал "Nuclear Engineering"
Мультидисциплинарный журнал естественнонаучного профиля "SCIENCE" издательства <b>American Association for the Advancement of Science (AAAS)</b>
Патентная База данных Questel
Реферативная база данных компании Cambridge Scientific Abstracts в области технологии, материаловедения и нанотехнологий
Реферативная база INSPEC, Institution of Engineering and Technology
Коллекция из 104 журналов Академиздатцентра "Наука"
БД ВИНТИ РАН on-line – крупнейшая в России баз данных по естественным, точным и техническим наукам
База данных БЕН РАН
EBSCO Publishing и справочная база "DynaMed"
Журналы издательства Institute of Physics (IOP)
Журналы и книги издательства Elsevier
152 журналов издательства Elsevier за 2000-2009 годы на платформе eLIBRARY.RU
Журналы и книги издательства Wiley-Blackwell
Журналы издательства Nature Publishing Group
Журналы и базы данных по основным направлениям развития химических наук The Royal Society of Chemistry (RSC)
Архивы издательства The Royal Society of Chemistry (RSC)

Журналы издательства The Royal Society Publishing
Журналы и книги издательства Springer
Реферативная база данных Inspec, Institution of Engineering and Technology
Ресурсы издательства Taylor&Francis (компания Metapress)
Журналы издательства Sage Publications
Журналы издательства American Institute of Physics

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лаборатория химии технеция, лаборатория экологических основ обращения с РАО располагают материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

Список оборудования:

Спектрометр с детекторами из сверхчистого Ge (Canberra Ind., Inc.); - жидкостно-сцинтилляционный, спектрометр TriCarb -2700 (Packard Ind.); - иономеры с набором электродов (Mettler Toledo); - рентгеновский фотоэлектронный спектрометр (МК II VG Scientific); - растровый электронный микроскоп с приставкой для рентгеновского микроанализа (JEOL JSM -6380 LA с энергодисперсионным спектрометром JET 2300); - спектрофотометр Shimadzu UV -1800; - малоугловой дифрактометр АМУР-К и Necus System 3, оснащенные позиционно-чувствительными детекторами и приставками, позволяющими проводить измерения при температурах до 120 оС; - EXAFS спектрометр (в РНЦ «Курчатовский Институт»); - лазерный флуоресцентный спектрометр с временным разрешением с Nd -YAG лазером; - высокоскоростная центрифуга (Allegra 64R, Beckman Coulter); - автоматический титратор АТП-2 (Аквилон);- анализатор свободной удельной поверхности по адсорбции газов (Quantachrome NOVA 4200e); - анализатор наночастиц в суспензии (динамическое светорассеяние и дзета-потенциал) (Malver ZETASIZER nano -ZS, Malvern);-просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения с приставками для рентгеновского микроанализа, спектрометрии характеристических потерь электронов и электронной дифракции (JEOL JEM 2100), вспомогательное оборудование, включая встряхиватели, нагревательные плитки, сушильные шкафы, перчаточные боксы и пр.

Аудитория для проведения лекций, оснащенная компьютером и проектором для показа слайдов компьютерных презентаций. Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российским научным базам данных и электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

Инструментальная база НОК основана на центре коллективного пользования физическими методами исследования ИФХЭ РАН. В составе имеющегося оборудования ЯМР-спектрометр фирмы «Брукер»: AVANCE II DRX-600,

масс-спектрометр MALDI-TOF Bruker ultraflex III, масс-спектрометр ICP-MS - Bruker Daltonics aurora M90, спектрофотометр УФ и видимой области Specord M400, ИК-спектрометр Perkin-Elmer-2000, спектрофотометр Agilent 8453, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 PRO, атомно-силовой микроскоп – спектрометр Force Master 402 MD, рентгено-флюороресцентный микроанализатор VRA-30, рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000 и многие другие приборы. Лаборатории оснащены современными приборами для синтеза и исследования элементоорганических соединений: стеклопосуда в широком ассортименте, реакторы низкого и высокого давления, автоклавы.

Программа составлена в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 30.07.2014 № 869 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации)" .

Авторы:

Заведующий лабораторией химии  
технеция ИФХЭ РАН, к.х.н.

К.Э. Герман

ст.н.с. лаборатории химии  
технеция ИФХЭ РАН, к.х.н.

А.В. Сафонов

Программа принята на заседании секции «Химия и технология радиоактивных элементов, радиоэкология» при Ученом совете ИФХЭ РАН, протокол № 230-3 от 17.09. 2014 г.

Председатель секции:

Заместитель директора института по научной работе  
член-корреспондент РАН

Б.Г. Ершов