

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«30» июня 2022 г.

Регистрационный № УД- 11354 /уч.



Радиационная химия воды и водных растворов

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-100 80 01 Ядерная и радиационная безопасность

Профилизация:

Радиационная защита и культура ядерной безопасности

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-100 80 01-2022 типового учебного плана № Р-100-2-001/пр.-тип. от 09.02.2022 г. и учебного плана Р 100-177/уч. от 22.02.2022 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Р.Л. Свердлов, заведующий кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета, кандидат химических наук.

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.Л. Козлова-Козыревская, зав. кафедрой химии УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка», кандидат химических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 24.06.2022 г.)

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 6 от 29.06.2022 г.)

Декан  Д.В. Свиридов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью дисциплины является формирование у обучаемых систематических знаний о физико-химических процессах, которые протекают в воде и водных растворах под воздействием ионизирующих излучений.

Задача преподаваемой дисциплины – выработать у студентов навыки предсказания качественного и количественного состава конечных продуктов радиолиза воды и водных растворов органических и неорганических веществ, а также умения управлять процессом радиолиза. Излагаемый в курсе материал необходим для специалистов, выполняющих научно-исследовательские и технологические работы с использованием источников ионизирующего излучения, в первую очередь для инженерного персонала атомных станций.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Прикладная радиохимия» компонента учреждения высшего образования.

Данный курс связан с такими дисциплинами как «Химические основы радиационной биологии», «Современные методы радиометрического и дозиметрического контроля», «Ядерная медицина», «Медико-биологические эффекты малых доз излучения».

В результате изучения учебной дисциплины обучаемый должен развить и закрепить следующие компетенции, предусмотренные образовательным стандартом высшего образования ОСВО 1-100 80 01-2022 специальности «Ядерная и радиационная безопасность»:

универсальных компетенции:

УК-1. Применять методы научного познания в исследовательской деятельности, генерировать и реализовывать инновационные идеи.

УК-4. Быть способным к прогнозированию условий реализации профессиональной деятельности и решению профессиональных задач в условиях неопределенности.

углубленные профессиональные компетенции:

УПК-2. Вырабатывать принципы и стратегии радиационной защиты на основе научных данных о физических, химико-биологических и экологических аспектах действия ионизирующего излучения.

специальные компетенции:

СК-2. Оценивать воздействие высокоэнергетических частиц на свойства материалов и жидких сред и реализовывать с учетом этого инновационные радиохимические технологии при решении исследовательских и прикладных задач ядерной и радиохимии.

В результате изучения дисциплины «Радиационная химия воды и водных растворов» обучаемый должен

знать:

- теоретические основы и тенденции развития современной радиационной химии, ее роль в развитии промышленных технологий и место в системе химических наук;
- специфику радиационно-химического эксперимента, методы идентификации промежуточных и конечных продуктов радиолиза;
- состав и величины радиационно-химических выходов конечных молекулярных продуктов радиолиза воды, основных органических и неорганических соединений в водных растворах;
- природу и радиационно-химические выходы частиц, образующихся в ходе гомолитических процессов;
- механизмы радиационно-индуцированных превращений воды, органических и неорганических соединений в водных растворах;
- актуальные задачи радиационной химии для обеспечения безопасной эксплуатации ядерных и радиационных установок, переработки радиоактивных материалов и решения экологических проблем.

уметь:

- применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач в области радиационной химии воды и водных растворов;
- предсказывать изменение физико-химических свойств материалов в условиях облучения.

владеть:

- теоретическими знаниями на уровне, позволяющем ему работать в области радиационной химии и других областях науки и техники, связанных с использованием ионизирующего излучения;
- методологией выбора радиационно-химического метода анализа облученных объектов.

Структура дисциплины

При изучении данной дисциплины реализуются такие формы занятий как лекции, семинары и самостоятельная работа студентов. Контроль самостоятельной работы студентов может осуществляться в ходе текущего и итогового контроля знаний, в форме устного опроса и письменных контрольных работ (как в традиционном, так и тестовом вариантах).

Дисциплина преподается в первом семестре. Общее количество часов для изучения дисциплины – 198, аудиторных – 78 (лекции – 32 (в том числе 16 ч с использованием дистанционного обучения), лабораторные работы – 36 ч, семинарские занятия – 6, УСП – 4).

Форма получения высшего образования – очная.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

Количество зачетных единиц – 6.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1.1. Вводная лекция по дисциплине. История развития радиационной химии. Определение. Основные понятия радиационной химии. Связь радиационной химии с другими разделами химии. Разделы радиационной химии. Радиационно-химические процессы в природе. Экспериментальные методы химии высоких энергий. Открытие рентгеновских лучей. Открытие явления радиоактивности. Ранний этап развития радиационной химии. Довоенный этап развития радиационной химии. Послевоенный этап развития радиационной химии. Современный этап развития радиационной химии.

Тема 1.2. Радиоллиз воды. Временная шкала радиолиза, структура трека. Временная шкала радиолиза воды: физическая, физико-химическая и химическая стадии. Механизмы образования радикальных и молекулярных продуктов радиолиза воды. Реакции в шпорах и треках. Трековые эффекты. Выходы продуктов радиолиза воды и уравнение материального баланса. Влияние условий облучения на выходы продуктов радиолиза воды. Обратные реакции при радиоллизе воды. Образование кислорода. Стационарные концентрации молекулярных продуктов.

Тема 1.3. Свойства радикальных продуктов радиолиза воды. Методы определения радиационно-химических выходов продуктов радиолиза воды. Селективное генерирование радикальных интермедиатов радиолиза воды. Нерадиационные методы инициирования свободнорадикальных реакций в водных растворах. Свойства и основные реакции радикальных продуктов радиолиза воды. Гидратированный электрон [Физико-химические и термодинамические свойства. Реакции гидратированного электрона. Реакционная способность гидратированного электрона.]. Атом водорода [Свойства атома водорода. Реакции атома водорода. Реакционная способность атома водорода.]. ОН-радикал [Свойства ОН-радикала. Реакции ОН-радикала. Реакционная способность ОН-радикала.]. Ион-радикал $O^{\cdot-}$. Ионы водорода и гидроксила. Молекулярные продукты радиолиза воды.

Тема 1.4. Особенности радиационной химии воды в присутствии молекулярных продуктов ее радиолиза. Влияние поглощённой дозы на концентрации продуктов радиолиза воды. Константы скорости реакции радикальных интермедиатов радиолиза воды с молекулярными продуктами ее радиолиза. Радиоллиз воды в присутствии кислорода. Радиоллиз воды в присутствии водорода. Радиоллиз воды в присутствии смеси кислорода и водорода. Радиоллиз воды в присутствии кислорода и пероксида водорода. Радиоллиз воды в присутствии кислорода, водорода и пероксида водорода. Радиолитическое разложение пероксида водорода в водных растворах.

Тема 1.5. Радиоллиз разбавленных водных растворов неорганических соединений. (Часть 1). Радиоллиз аэрированных, оксигенированных и деаэрированных водных растворов Fe^{2+} . Механизм радиолиза. Радиоллиз водных растворов Fe^{2+} , содержащих органические вещества. Влияние ЛПЭ и мощности дозы на $G(Fe^{3+})$. Определение первичных выходов продуктов радиолиза воды на основе $G(Fe^{3+})$.

Радиолиз водных растворов Ce^{4+} . Механизм радиолиза. Влияние добавок органических и неорганических веществ. Влияние ЛПЭ и мощности дозы на $G(\text{Ce}^{3+})$. Применение растворов Ce^{4+} для определения первичных выходов продуктов радиолиза воды.

Тема 1.6. Радиолиз разбавленных водных растворов неорганических соединений. (Часть 2). Радиолиз водных растворов нитратов. Механизм радиолиза. Влияние органических веществ. Радиолиз азотной кислоты.

Радиолиз водных растворов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Радиолиз водных растворов Fe^{2+} и Cu^{2+} . Радиолиз водных растворов актининов [Радиолиз водных растворов, содержащих уран. Радиолиз водных растворов, содержащих нептуний. Радиолиз водных растворов, содержащих плутоний. Радиолиз водных растворов, содержащих америций.].

Тема 1.7. Основные типы реакций органических радикалов. Мономолекулярные реакции [Реакции α -распада. Реакции β -распада. Реакции двойного β -распада. Реакции перегруппировки или изомеризации органических радикалов. Реакции 1,2-миграции. Реакции 1,3-миграции. Реакции 1,4-миграции. Реакции 1,5-миграции. Реакции циклизации.

Радикал-молекулярные реакции. Реакции присоединения. Реакции замещения.

Бирадикальные реакции органических радикалов. Соотношение вероятности реализации диспропорционирования и рекомбинации от строения радикалов, температуры и типа среды.

Тема 1.8. Радиолиз спиртов и простых эфиров в водных растворах. Радиолиз водных растворов алифатических спиртов. Радиолиз водных растворов метанола. Радиолиз водных растворов этанола. Радиолиз щелочных растворов спиртов. Радиолиз водных растворов простых эфиров спиртов.

Тема 1.9. Радиолиз аминов, нитросоединений, нитрилов, меркаптанов и галогенорганических соединений в водных растворах. Радиолиз водных растворов аминов в зависимости от значения pH среды. Радиолиз водных растворов нитросоединений. Радиолиз водных растворов нитрилов. Радиолиз водных растворов тиолов. Радиолиз водных растворов галогенорганических соединений.

Тема 1.10. Радиолиз водных растворов алифатических кислот. Особенности радиационной химии разбавленных водных растворов алифатических кислот. Влияние pH среды на ход радиолитических превращений. Радиолиз водных растворов муравьиной кислоты. Радиолиз водных растворов уксусной кислоты. Радиолиз водных растворов щавелевой кислоты. Реакции декарбоксилирования сложных органических соединений.

Тема 1.11. Радиационная химия альдегидов и кетонов в водных растворах. Особенности нахождения карбонильных соединений в разбавленных водных растворах. Радиолиз водных растворов формальдегида. Реакции присоединения α -гидроксиалкильных радикалов к карбонильным соединениям. Радиационно-химический синтез α -диолов. Радиолиз водных растворов ацетальдегида. Радиолиз водных растворов ацетона. Радиолиз водных растворов гликолевого альдегида.

Тема 1.12. Радиолит водных растворов ароматических соединений. Радиолит водных растворов бензола. Радиолит водных растворов толуола. Радиолит водных растворов фенола. Радиолит водных растворов галогензамещенных ароматических соединений. радиолит водных растворов бензойной кислоты. Радиолит водных растворов ароматических аминокислот. Радиолит водных растворов гетероциклических соединений.

Тема 1.13. Радиационная химия бифункциональных органических соединений. Радиолит α -диолов и их эфиров. Общие закономерности реакции свободнорадикальной фрагментации бифункциональных органических радикалов в водных растворах. Ключевые субстраты для фрагментации. Доказательство механизма реализации процесса. Влияние кислорода рН среды, ионов металлов и борной кислоты. Константы скорости процесса в зависимости от природы уходящей группы.

Радиационная химия α -диолов. Гомолитическая дегидратация этиленгликоля в водных растворах. Реакции деструкции α -диолов. Радиолит бутандиола-2,3. Радиационная химия простых и сложных эфиров α -диолов в водных растворах.

Тема 1.14. Радиационная химия аминокислов и их эфиров в водных растворах. Особенности радиационной химии бифункциональных органических соединений. Радиолит водных растворов α -диолов. Гомолитические превращения эфиров α -диолов. Влияние кислорода на радиационно-химические превращения α -диолов и их эфиров. Радиолит водных растворов аминокислов. Влияние формы нахождения аминокислоты в водных растворах на разнообразие гомолитических превращений аминокислов.

Тема 1.15. Радиационная химия водного теплоносителя ядерных энергетических установок. Основные параметры эксплуатации водного теплоносителя в реакторах с водой под давлением (ВВЭР-1000/1200 и PWR) и кипящих (BWR). Радиолит воды при высоких мощностях дозы. Влияние ЛПЭ, рН и примесей на ход радиолитических процессов. Зависимость изменения выходов основных продуктов радиолита воды от температуры: результаты расчетов и экспериментальные данные. Радиолит воды при 300 градусах Цельсия. Последствия изменения состава продуктов радиолита воды для эксплуатации ядерной энергетической установки. Способы «управления» и «подавления» радиолита воды в условиях облучения в реакторе. Особенности радиолита тяжелой воды D₂O в ядерной энергетической установке.

Тема 1.16. Прикладные аспекты химии высоких энергий. Радиационно-химическая технология. Изготовление радиационно-модифицированных материалов. Прикладные аспекты радиационной полимеризации. радиационно-химический синтез. Радиационная очистка сточных вод и выбросных газов. радиационная деструкция высокомолекулярных соединений. Радиационная стерилизация медицинской продукции. Радиационная обработка пищевых продуктов. Радиационно-химические проблемы ядерной энергетики и радиохимической промышленности

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ
Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы, занятия	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Радиационная химия воды и водных растворов	32		6	36		4	
1.1	Вводная лекция по дисциплине. История развития радиационной химии.	2 (ДО)						Диалог вопрос-ответ
1.2	Радиолиз воды. Временная шкала радиолиза, структура трека.	2						Диалог вопрос-ответ
1.3	Свойства радикальных продуктов радиолиза воды.	2 (ДО)			6			Диалог вопрос-ответ. Защита отчетов по лабораторным работам.
1.4	Особенности радиационной химии воды в присутствии молекулярных продуктов ее радиолиза.	2		2				Диалог вопрос-ответ. Устный опрос
1.5	Радиолиз разбавленных водных растворов неорганических соединений (часть 1)	2 (ДО)			6			Диалог вопрос-ответ. Защита отчетов по лабораторным работам
1.6	Радиолиз разбавленных водных растворов неорганических соединений. (Часть 2)	2		2	6		2	Устный опрос. Тест. Контрольная работа. Защита отчетов по лабораторным работам. Презентация результатов выполнения

								задания УСР.
1.7	Основные типы реакций органических радикалов.	2 (ДО)						Диалог вопрос-ответ
1.8	Радиолиз спиртов и простых эфиров в водных растворах.	2			6			Диалог вопрос-ответ. Защита отчетов по лабораторным работам
1.9	Радиолиз аминов, нитросоединений, нитрилов, меркаптанов и галогенорганических соединений в водных растворах.	2 (ДО)						Диалог вопрос-ответ
1.10	Радиолиз водных растворов алифатических кислот.	2						Диалог вопрос-ответ
1.11	Радиационная химия альдегидов и кетонов в водных растворах.	2 (ДО)						Диалог вопрос-ответ
1.12	Радиолиз водных растворов ароматических соединений.	2						Диалог вопрос-ответ
1.13	Радиационная химия бифункциональных органических соединений. Радиолиз α -диолов и их эфиров.	2 (ДО)			6			Диалог вопрос-ответ. Защита отчетов по лабораторным работам
1.14	Радиационная химия аминспиртов и их эфиров в водных растворах.	2		2				Диалог вопрос-ответ. Устный опрос
1.15	Радиационная химия водного теплоносителя ядерных энергетических установок.	2 (ДО)						Диалог вопрос-ответ
1.16	Прикладные аспекты химии высоких энергий.	2					2	Тест. Контрольная работа. Презентация результатов выполнения задания УСР.
	ИТОГО	32 (16 ДО)		6	36		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы:

1. 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, 2021. - 493 с.
2. Петрова, Тамара Ивановна. Технология организации водно-химического режима атомных электростанций: учеб. пособие / Т. И. Петрова, В. Н. Воронов, Б. М. Ларин. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2012. – 272 с.
3. Экспериментальные методы химии высоких энергий: учеб. пособие / [М. Я. Мельников и др.]; под общ. ред. М. Я. Мельникова. – Москва : Изд-во Московского ун-та, 2009. - 823 с.
4. Recent Trends in Radiation Chemistry / ed. James F. Wishart, B. S. M. Rao. – New Jersey [etc.] : World Scientific, 2010. – 607 с.

Дополнительная литература

1. Пикаев, Алексей Константинович. Современная радиационная химия : основные положения : экспериментальная техника и методы / А. К. Пикаев ; отв. ред. В. И. Спицын ; АН СССР, Ин-т физической химии. - Москва : Наука, 1985. - 374 с.
2. Пикаев, Алексей Константинович. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей / А. К. Пикаев ; отв. ред. В. И. Спицын ; АН СССР, Ин-т физической химии. - Москва : Наука, 1986. – 439 с.
3. Бугаенко, Ленар Тимофеевич. Химия высоких энергий / Л. Т. Бугаенко, М. Г. Кузьмин, Л. С. Полак ; под общ. ред. Л. С. Полака. - Москва : Химия, 1988. - 364 с.
4. Петряев, Евгений Петрович. Радиационная химия бифункциональных органических соединений / Е. П. Петряев, О. И. Шадыро. - Минск : Университетское, 1986. – 165 с.
5. Владимиров В.Г., Красильников И.И., Арапов О.В. Радиопротекторы: структура и функция. Под ред. Владимирова В.Г. Киев: Наукова думка, 1989 - 284 с.
6. Бяков, Всеволод Михайлович. Радиолит воды в ядерных реакторах / В.М.Бяков, Ф.Г.Ничипоров. - М. : Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
7. Пикаев, Алексей Константинович. Высокотемпературный радиолит воды и водных растворов / А. К. Пикаев, С. А. Кабакчи, И. Е. Макаров. - Москва : Энергоатомиздат, 1988. - 132 с.
8. Radiation Chemistry : Present Status and Future Trends / ed. by C. D. Jonah, B.S. M. Rao. - Amsterdam [etc.] : Elsevier, 2001. - 755 с.

Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

1. Контрольные работы по темам 1.1-1.6, 1.7-1.16.
2. Устный опрос по темам 1.2-1.4, 1.5-1.6, 1.7-1.14.
3. Устный экзамен по дисциплине.

Форма текущей аттестации – экзамен.

Итоговая отметка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189 – ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2013).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование отметки за текущую успеваемость:

- ответы на семинарских и практических занятиях – 40 %;
- участие в экспресс-опросах – 10 %.
- контрольные работы по темам – 50 %;

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и экзаменационной отметки с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1.6. Радиоллиз разбавленных водных растворов неорганических соединений. (2 ч.)

Использование радиоллиза разбавленных водных растворов неорганических соединений для химической дозиметрии ионизирующих излучений и определения первичных радиационно-химических выходов продуктов радиоллиза воды.

Провести поиск научных и научно-популярных публикаций, посвященных развитию представлений об использовании радиоллиза разбавленных водных растворов неорганических веществ для дозиметрии

ионизирующих излучений, определения первичных радиационно-химических выходов продуктов радиолиза воды.

(Форма контроля – прислать преподавателю перечень научных публикаций с кратким анализом их содержания; подготовить презентацию и доклад с анализом полученной информации).

Тема 1.16. Прикладные аспекты химии высоких энергий. (2 ч.)

Использование представлений радиационной химии воды и водных растворов для решения прикладных задач в различных отраслях хозяйства.

Провести поиск информации о современных сферах использования результатов исследования радиационно-химических превращений воды и водных растворов в различных условиях для решения разнообразных задач в различных областях хозяйства (радиационно-химический синтез, очистка воды и отходов предприятий, стерилизация и др.).

(Форма контроля – подготовить презентацию и доклад с анализом полученной информации).

Тематика лабораторных работ

1. Радиолиз водных растворов одноатомных спиртов и аминов.
2. Радиолиз водных растворов α -диолов.
3. Радиационная химия насыщенного водного раствора бензола.
4. Радиационно-химические превращения нитрита и нитрата натрия в водных растворах.
5. Определение радиационно-химического выхода окисления Fe^{2+} и восстановления Se^{4+} в сернокислом растворе.
6. Радиационно-химическое образование и разложение пероксида водорода.
7. Определение первичных радиационно-химических выходов акватированного электрона, Н- и ОН-радикалов.

Примерная тематика семинарских занятий

1. Радиационная химия воды. Влияние рН, ЛПЭ, температуры, примесей и других факторов на выходы промежуточных и конечных продуктов радиолиза.
2. Радиолиз разбавленных водных растворов неорганических соединений.
3. Радиолиз разбавленных водных растворов органических соединений. Механизмы радиолитических превращений.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

методы и приемы развития критического мышления, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией

в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

практико-ориентированный подход, который предполагает освоение дисциплины через решение практических задач.

Методические рекомендации

по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется:

1. Разработка и составления банка групповых или индивидуальных заданий; пояснение основных требований к их выполнению;
2. Использование современных информационных технологий: размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа учебной дисциплины, задания в тестовой форме, темы кратких рефератов, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

- 1) Предмет радиационной химии (основные термины, определения и этапы становления).
- 2) Методы инициирования свободнорадикальных реакций.
- 3) Физические методы инициирования свободнорадикальных процессов. Экспериментальные методы химии высоких энергий: стационарный и импульсный радиолиз.
- 4) Свободные радикалы: свойства, факторы стабилизации и реакционная способность.
- 5) Временная шкала и процессы взаимодействия излучений с водой.
- 6) Выходы и свойства радикальных продуктов радиолиза воды.
- 7) Локальные области ионизации и возбуждения: треки, шпоры и блобы. Трековые эффекты в радиационной химии воды (влияние ЛПЭ, мощности дозы ионизирующих излучений).
- 8) Продукты радиолиза воды: свойства, выходы, эффекты температуры, рН, ЛПЭ, мощности дозы излучения.
- 9) Свойства и реакционная способность $\bullet\text{OH}$ радикалов.
- 10) Свойства и реакционная способность сольватированного электрона и $\bullet\text{H}$ радикалов.
- 11) Свойства и реакционная способность H_2O_2 , $\text{HO}_2\bullet$ и $\text{O}_2\bullet^-$.
- 12) Радиационная химия воды в присутствии H_2 , в присутствии O_2 .
- 13) Радиационная химия воды в присутствии смеси O_2 и H_2 .
- 14) Радиационная химия воды в присутствии H_2O_2 .

- 15) Радиационная химия разбавленных водных растворов Fe^{2+} . Влияние состава раствора на протекающие радиационно-химические процессы.
- 16) Радиационная химия разбавленных водных растворов Se^{4+} . Влияние состава раствора на протекающие радиационно-химические процессы.
- 17) Определение радиационно-химических выходов продуктов радиолиза воды с использованием водных растворов ионов железа.
- 18) Определение радиационно-химических выходов продуктов радиолиза воды с использованием водных растворов ионов железа и церия.
- 19) Радиационная химия водных растворов неорганических нитратов.
- 20) Радиационная химия водных растворов азотной кислоты.
- 21) Радиолиз водных растворов ароматических соединений.
- 22) Радиационная химия бензола в водных растворах.
- 23) Монорадикальные реакции.
- 24) Радикал-молекулярные и бирадикальные реакции.
- 25) Радиолиз водных растворов одноатомных спиртов.
- 26) Радиолиз водных растворов аминов.
- 27) Радиолиз водных растворов азотсодержащих органических соединений в водных растворах.
- 28) Радиационная химия карбоновых кислот в водных растворах.
- 29) Радиационная химия эфиров в водных растворах.
- 30) Радиационная химия серосодержащих органических соединений в водных растворах.
- 31) Радиолиз водных растворов алкилгалогенидов.
- 32) Радиолиз водных растворов карбонильных соединений.
- 33) Радиолиз формальдегида в водных растворах.
- 34) Радиолиз ацетальдегида, ацетона в водных растворах.
- 35) Общие закономерности и механизм свободнорадикальной фрагментации гидроксилсодержащих органических соединений. Константы скорости реакции свободнорадикальной фрагментации гидроксилсодержащих органических соединений.
- 36) Радиолиз α -диолов в водных растворах.
- 37) Радиолиз эфиров α -диолов в водных растворах.
- 38) Радиолиз аминспиртов в водных растворах.
- 39) Радиолиз галогеноспиртов в водных растворах.
- 40) Пути образования свободных радикалов в организме человека. Система антиоксидантной защиты человека.
- 41) Радиобиологический парадокс. Радиопротекторы. Методы оценки эффективности радиопротекторов и их классификация.
- 42) Радиационно-химическая технология. Радиационно-химические производства.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Химические основы радиационной биологии	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	нет	Согласование не требуется (протокол № 12 от 24.06.2022 г.)
Современные методы радиометрического и дозиметрического контроля	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	нет	Согласование не требуется (протокол № 12 от 24.06.2022 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на _____ / _____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № __ от _____ г.)

Заведующий кафедрой

кандидат химических наук

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета,

доктор химических наук,

член-корр. НАН Беларуси

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

Д.В. Свиридов

(И.О.Фамилия)