

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о.декана химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«30» августа 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основы радиохимии

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки (специальность):

04.04.01 Химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Управление проектами в области вывода из эксплуатации радиационно- и
ядерноопасных объектов

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.04.01 «Химия» (программа магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г., №1033.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок В-ПД
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор достижения - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

| Формируемые компетенции (код компетенции) | Индикатор достижений | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) |
|---|--|--|
| СПК-1.М Способен применять теоретические знания в области радиохимии для моделирования и оптимизации способов вывода из эксплуатации ядерно- и радиационноопасных объектов, включая обращение с радиоактивными отходами | СПК-1.М.2 Предлагает методы и подходы решения задач химической направленности в области ядерного топливного цикла и выводе из эксплуатации ядерно- и радиационноопасных объектов | <p>Знать основные термины, понятия и законы радиохимии</p> <p>Уметь использовать радиохимические методы в других областях науки</p> <p>Уметь выделить и сформулировать основную составляющую профессиональной проблемы в области радиохимии</p> <p>Иметь опыт в измерении различных типов радиоактивного излучения, приготовлении образцов для измерения радиоактивности, дозиметрическом контроле</p> |

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **4** зачетных единицы, всего **144** часа, из которых **76** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**36** часов - занятия лекционного типа, **36** часов - занятия семинарского типа, **2** часа – групповые консультации, **2** часа - мероприятия промежуточной аттестации), **68** часов составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.
 Для того чтобы формирование указанных компетенций было возможно, обучающийся должен
знать: основы химии элементов
уметь: анализировать материал химического содержания

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

| Наименование и краткое содержание | Всего | В том числе |
|-----------------------------------|-------|-------------|
|-----------------------------------|-------|-------------|

| жание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | (часы) | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы из них | | | |
|--|------------|---|---------------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|-------------------------|-----------|
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Групповые консультации | Индивидуальные консультации | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации | Всего | Выполнение домашних заданий | Подготовка рефератов.п. | Всего |
| Понятие радиоактивности | 36 | 12 | 12 | | | | 24 | | | 12 |
| Дозиметрия ионизирующих излучений | 20 | 6 | 6 | | | | 12 | | | 8 |
| Изотопный обмен | 14 | 4 | 4 | | | | 8 | | | 6 |
| Применение радиоактивных изотопов | 26 | 8 | 8 | | | | 16 | | | 10 |
| Радиоактивность окружающей среды | 22 | 6 | 6 | | | | 12 | | | 10 |
| Промежуточная аттестация <i>Зачет</i> | 26 | | | 2 | | 2 | 4 | | | 22 |
| Итого | 144 | 36 | 36 | 2 | | 2 | 76 | | | 68 |

6. Образовательные технологии:

-использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;

-преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю).

Самостоятельная работа студентов должна быть ориентирована на освоение научных текстов по радиохимии. Проверка усвоенного может производиться в виде собеседования на семинаре, письменной контрольной работы, в виде теста и др. При этом промежуточные проверки успеваемости не рекомендуется проводить исключительно в форме тестирования. Тесты, проверяющие, как правило, лишь поверхностный уровень усвоения материала, следует дополнять самостоятельными творческими работами, которые могут дифференцироваться по степени сложности. Ниже приведены примеры различных типов заданий для самоконтроля.

1. Теоретические вопросы

1. Основной закон радиоактивного распада.
2. Радиоактивные равновесия.
3. Регистрация ионизирующих излучений.
4. Ядерные реакции.
5. Основные понятия дозиметрии.
6. Расчет доз от источников бета- и гамма-излучения
7. Основы нормирования радиационного воздействия на человека и объекты окружающей среды
8. Изотопный обмен
9. Применение радионуклидов в аналитической химии
10. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии
11. Применение радиоактивных индикаторов в органической химии, биохимии и медицине
12. Ядерная энергетика, ядерный топливный цикл
13. Естественные радионуклиды в окружающей среде
14. Техногенные радионуклиды в окружающей среде
15. Радиоактивные отходы, их переработка, хранение и захоронение
16. Миграция радионуклидов в природе

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература.

В.Б. Лукьянов, С.С. Бердоносков, И.О. Богатырев, К.Б. Заборенко, Б.З. Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М.: Высшая школа, 1985, 287 с.

В.Б. Лукьянов, С.С. Бердоносков, И.О. Богатырев, К.Б. Заборенко, Б.З. Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Проведение эксперимента и обработка результатов. М.: Высшая школа, 1977, 280 с.

Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.

G. Choppin, J. Rydberg, J.-O. Liljenzin. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. Third Edition, Butterworth-Heinemann, 2002, 709с.

Г. Чоппин, Я. Ридберг. Ядерная химия. Основы теории и применения. М.: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.

М.И. Афанасов, А.А. Абрамов, С.С. Бердоносков. Основы радиохимии и радиоэкологии. Сборник задач. М.: типография МГУ, 2012, 116 с.

Практикум «Основы радиохимии и радиоэкологии». Под ред. М.И. Афанасова. М.: Типография МГУ. 2012.

И.Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.

Дополнительная литература.

J. Lehto, Principles of radiochemistry. 2000, 200 с.

Ю.Б. Кудряшов. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М.: Физматлит. 2004, 442 с.

В.К. Власов, В.П. Овчаренко, Н.А. Карпов. Основы радиационной безопасности. М.: Химический факультет МГУ, 2009

Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006, 286 с.

Интернет-ресурсы

<http://nucleardata.nuclear.lu.se/database/nudat/>
<http://cdf.e.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
<http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/setToolTips.jsp?toolTips=on>
Страница кафедры радиохимии на сайте химического факультета МГУ

9. Язык преподавания – английский

10. Преподаватели: Петров Владимир Геннадиевич, к.х.н., доц.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачет. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций и ЗУВ, перечисленных в п.2.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

- образцы контрольных вопросов;

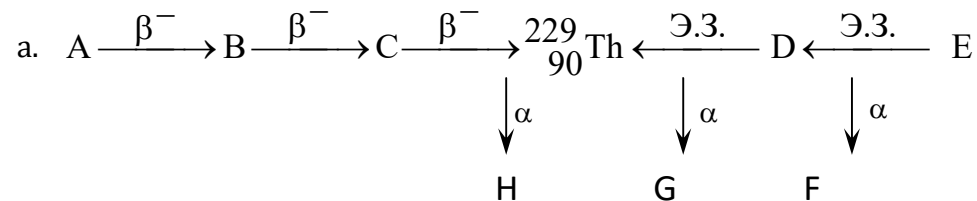
1. Сколько альфа- и бета-частиц образуется при переходе $^{228}\text{Ac} \rightarrow ^{212}\text{Bi}$?
2. Какая доля бета- и гамма-излучения пройдет через поглотители толщиной в 3 слоя половинного ослабления?
3. Имеется цепочка радиоактивных превращений
 - a. $A \rightarrow B \rightarrow C(\text{стаб})$
 - b. A: $N_1, T_{1/2}(1)$; B: $N_2, T_{1/2}(2)$. $T_{1/2}(1) \ll T_{1/2}(2)$
 - c. При $t=0$ число ядер материнского и дочернего нуклидов равны: $N_{1,0} = N_{2,0}$. Чему равно число ядер N_1 и N_2 через $t = 10 T_{1/2}(1)$?
4. Толщина активного слоя источника излучения, содержащего радионуклид ^{45}Ca , составляет 21 мг/см^2 . Активность источника равна 200 кБк. Рассчитайте скорость счета, которую зафиксирует счетчик Гейгера-Мюллера, если разрешающее время счетчика $4 \cdot 10^{-4} \text{ с}$, геометрический коэффициент 4 %, а толщина окна счетчика 5 мг/см^2 , расстояние от окна счетчика до источника 2 см.
5. Источник излучения, содержащий радионуклид ^{32}P , измеряют с помощью счетчика Гейгера-Мюллера со стенками толщиной 60 мг/см^2 и разрешающим временем $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}$. Толщина активного слоя источника 80 мг/см^2 , геометрический коэффициент 5 %, расстояние от источника до счетчика 2,5 см. Скорость счета (вместе с фоном) составила 800 имп/с, фон 0,6 имп/с. Определите активность радионуклида в источнике.
6. Рассчитайте толщину защитного экрана из свинца, снижающего дозу, создаваемую в течение 6-часового рабочего дня на расстоянии 0,5 м от источника ^{124}Sb активностью 37 МБк, до уровня 180 мкЗв/день.
7. Радиометром с блоком для измерения β -излучения (площадь детектора 150 см^2 , толщина стенок счетчиков 60 мг/см^2) при проверке чистоты поверхности стола, на котором проводилась работа с радионуклидом ^{32}P , была зарегистрирована скорость счета 1000 имп/мин (без фона). Определить, превышает ли загрязнение допустимый уровень, если геометрический коэффициент равен 0,2.
8. Используя изотопный обмен необходимо получить 8 мл меченого иодом-131 $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ с удельной активностью 1 МБк/мл. Какой минимальный объем исходного водного раствора Na^{131}I (концентрация 0,1 М, удельная активность 1 МБк/мл) необходимо взять для этой цели? Плотность иодистого этила равна $1,94 \text{ г/см}^3$.

• образцы вопросов теоретического минимума;

1. Типы распадов.
2. В чем различие взаимодействия альфа-частиц и гамма-квантов с веществом?
3. Основные методы детектирования радионуклидов.

• образцы домашних заданий;

1. Вычислите максимальную энергию частиц, испускаемых при распаде свободного нейтрона. Массы покоя нейтрона и протия 1Н равны 1,008664967 и 1,007825036 а.е.м., соответственно. Энергетический эквивалент 1 а.е.м. принять равным 931501 кэВ.
2. Расшифруйте цепочку радиоактивных превращений.



3. В природной смеси изотопов рубидия содержится 27,85% долгоживущего ^{87}Rb . Определить период его полураспада, если установлено, что скорость счета навески RbCl массой 120 мг равна 447 имп/мин (коэффициент регистрации $\phi = 0,1$).
4. Определите радиоактивность 1 см³ (при н.у.) трития.
5. Рассчитайте минимально необходимое время облучения навески As_2O_3 массой 0,1 г потоком нейтронов (плотность $10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) для получения препарата $^{76}\text{As}_2\text{O}_3$ с удельной активностью 400 МБк/г. Единственный стабильный нуклид - ^{75}As , эффективное сечение (n, γ)-реакции равно $4,3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, период полураспада ^{76}As - 26,3 ч.
6. Параллельные потоки моноэнергетических электронов, β^- -частиц и α -частиц проходят через алюминиевые экраны, толщина которых равна 0,25 максимального пробега β^- -частиц. Энергия электронов, α -частиц и максимальная энергия β^- -спектра равны 0,7 МэВ. Какая доля электронов, β^- - и α -частиц задерживается экранами?
7. Найдите массу калия в препарате по естественной радиоактивности, если скорость счета (за вычетом фона) составляет 45 имп/мин, а коэффициент регистрации 0,3.
8. В воздухе на высоте уровня моря за счет космического излучения за 1 ч в среднем образуется 7560 пар ионов в 1 см³. Определите поглощенную дозу в воздухе за год, если на образование одной пары ионов затрачивается энергия 33,9 эВ.
9. В делительной воронке перемешивают 25 мл 0,01 моль/л раствора 1,3-дибромпропана в бензоле и 25 мл 0,02 моль/л раствора Na^{82}Br в воде с объемной активностью 500 Бк/мл. Через 1 ч объемная радиоактивность органической фазы достигла значения 75 Бк/мл. Определите степень изотопного обмена. Распадом ^{82}Br за время проведения эксперимента пренебречь.
10. Определить, какая активность ^{95}Zr ($\lambda = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$) может быть адсорбирована силикагелем с удельной поверхностью 80 м²/г, если мономолекулярный слой адсорбированных ионов занимает 40% поверхности, а площадь иона, содержащего один атом циркония на поверхности адсорбента, равна приблизительно $5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

• **образец теста;**

Тест. При α -распаде заряд дочернего ядра, по сравнению с материнским. (Правильный ответ – Б).

A. Уменьшается на 4

B. Уменьшается на 2

V. Увеличивается на 2

• **Вопросы к зачету (полный список);**

Первый вопрос билета

1. Энергия связи нуклонов в ядре. Причины нестабильности атомных ядер. Нуклидная карта.
2. Понятие радиоактивности. Основные типы радиоактивных превращений.
3. Спонтанное и нейтронно-индуцированное деление ядер. Радионуклиды для ядерной энергетики.
4. Сверхтяжелые элементы. Способы получения и причины нестабильности.
5. Типы радиоактивных превращений. Альфа-распад. Энергетические спектры альфа-излучения.
6. Типы радиоактивных превращений. Бета-распад с испусканием электронов. Энергетические спектры бета-излучения.
7. Типы радиоактивных превращений. Бета-распад ядер с испусканием позитронов. Энергетические спектры бета-излучения.
8. Типы радиоактивных превращений. Электронный захват. Вторичные процессы в атоме, происходящие при электронном захвате.
9. Испускание гамма-квантов при радиоактивном распаде. Изомерные переходы. Энергетические спектры гамма-излучения.
10. Стохастический характер радиоактивного распада. Виды распределений, описывающие статистику радиоактивного распада и регистрации излучений.
11. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Способы определения периода полураспада. Единицы измерения радиоактивности.
12. Цепочки радиоактивных превращений. Радиоактивные равновесия.
13. Ядерные реакции. Энергетический эффект и энергетический порог ядерных реакций.
14. Ядерные реакции. Эффективное сечение. Расчет выходов ядерных реакций.
15. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием заряженных частиц.
16. Ядерные реакции под действием нейтронов. Получение радионуклидов с помощью различных источников нейтронов.
17. Применение ядерных реакций и современной энергетике. Реакции деления и реакции нуклеосинтеза.
18. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Эффекты, сопровождающие прохождение излучения через вещество.
19. Взаимодействие альфа-частиц с веществом. Пробег альфа-частиц в веществе. Кривая Брэгга.
20. Взаимодействие бета-частиц с веществом. Ослабление бета-излучения.
21. Взаимодействие бета-частиц с веществом. Тормозное излучение. Черенковское излучение.
22. Механизмы взаимодействия гамма-излучения с веществом.
23. Взаимодействие гамма-излучения с веществом. Ослабление гамма-излучения различными материалами.
24. Общая характеристика методов регистрации ионизирующих излучений. Типы детекторов.
25. Регистрация ионизирующих излучений. Влияние свойств радионуклида и условий измерений на величину регистрируемой активности.
26. Газовые ионизационные детекторы.
27. Методы регистрации гамма-излучения. Гамма-спектрометрия.
28. Регистрация альфа- и бета-излучений с помощью жидкостной сцинтилляционной спектрометрии.
29. Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения. Радиолиз воды.

30. Действие ионизирующих излучений на живые организмы. Негативные эффекты облучения. Взаимосвязь эффект–доза.
31. Понятие доза облучения. Дозы, характеризующие непосредственно ионизирующие и косвенно ионизирующие излучения.
32. Поглощенная доза. Единицы измерения. Способы определения.
33. Керма. Экспозиционная доза. Единицы измерения. Связь между ионизацией воздуха гамма-излучением и поглощенной дозой в биологической ткани.
34. Доза от точечного источника со сложным составом гамма-излучения. Керма-постоянная.
35. Эквивалентная и эффективная дозы. Допустимые уровни облучения для различных категорий населения.
36. Защита от ионизирующих излучений. Защита временем, расстоянием, с использованием экранов. Расчет защиты от внешнего бета- и гамма-излучения.
37. Принципы, лежащие в основе радиационной защиты. Правила работы с радиоактивными веществами.

Второй вопрос билета

38. Естественный радиационный фон на Земле. Вклад различных факторов в дозу облучения населения.
39. Естественный радиационный фон на Земле. Радон как фактор облучения.
40. Радионуклиды в окружающей среде. Естественные ряды первичных радионуклидов и их вклад в дозу облучения населения.
41. Радионуклиды в окружающей среде. Космогенные радионуклиды и их вклад в дозу облучения населения.
42. Методы изотопной геохронологии. Определение возраста Земли.
43. Космогенные радионуклиды в геохронологии. Радиоуглеродное датирование
44. Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду, их вклад в дозу облучения населения.
45. Миграция радионуклидов в природе. Атмосферные выпадения. Распространение и концентрирование радионуклидов в водных экосистемах, в почвах, в растениях.
46. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Радионуклидная и радиохимическая чистота.
47. Получение радионуклидов на ускорителях заряженных частиц.
48. Получение радионуклидов в ядерных реакторах.
49. Изотопные генераторы.
50. Экстракционные методы выделения радионуклидов.
51. Хроматографические методы выделения радионуклидов.
52. Особенности синтеза меченых соединений и их номенклатура.
53. Основные принципы синтеза меченых органических соединений (прямой химический синтез, специфические радиохимические методы, биосинтез, физико-химические методы).
54. Изотопный обмен. Причины протекания изотопного обмена. Равнораспределение изотопов.
55. Изотопный обмен. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Степень обмена.
56. Изотопный обмен. Механизмы реакций изотопного обмена.

57. Изотопный обмен. Использование изотопного обмена для синтеза меченых соединений.
58. Особенности поведения радионуклидов в ультраразбавленных растворах.
59. Эффекты, обусловленные радиационной отдачей. Химия горячих атомов. Реакции Сцилларда–Чалмерса.
60. Изотопные эффекты. Их использование в научных исследованиях и для обогащения урана.
61. Радионуклиды как изотопные метки. Принципы применения и возможные ограничения. Метод радиоактивных индикаторов.
62. Применение радионуклидов в аналитической химии. Метод изотопного разбавления.
63. Применение радионуклидов в аналитической химии. Методы анализа, основанные на использовании стехиометрических реакций (анализ, основанный на использовании избытка осадителя; радиометрическое титрование).
64. Применение радионуклидов в аналитической химии. Активационный анализ.
65. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии. Определение растворимости малорастворимых веществ. Определение давления насыщенных паров.
66. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии. Определение коэффициентов диффузии и самодиффузии в твердых телах и в жидкостях. Определение удельной поверхности.
67. Применение радионуклидов биогенных элементов в биохимии и медицине.
68. Применение короткоживущих позитрон-испускающих радионуклидов в медицине. Радиохимические синтезы в ПЭТ-лаборатории.
69. Применение радионуклидов для однофотонной эмиссионной томографии. Изотопные генераторы для этих целей.
70. Применение радионуклидов в медицине для терапии.
71. Ядерная энергетика, топливный ядерный цикл. Типы ядерных реакторов.
72. Ядерный топливный цикл. Регенерация ядерного топлива, радиоактивные отходы.
73. Экологические проблемы ядерного топливного цикла. Радиационные аварии. Сопоставление радиационных рисков от различных источников техногенных радиоактивных загрязнений и ионизирующих излучений.
74. Радиоактивные отходы, их переработка, хранение и захоронение. Многобарьерная защита хранилищ радиоактивных отходов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

| ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Оценка \ Результат | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Знания | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| Умения | Отсутствие | В целом успешное, но не | В целом успешное, но содержащее | Успешное и систематическое |

| | | | | |
|-------------------|--------------------|---------------------------|---|--|
| | умений | систематическое умение | отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера) | умение |
| Навыки (владения) | Отсутствие навыков | Наличие отдельных навыков | В целом, сформированные навыки, но не в активной форме | Сформированные навыки, применяемые при решении задач |

| РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) | ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ |
|---|--|
| знать основные термины, понятия и законы радиохимии | мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете |
| уметь использовать радиохимические методы в других областях науки уметь выделить и сформулировать основную составляющую профессиональной проблемы в области радиохимии | мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете |
| иметь опыт деятельности в измерении различных типов радиоактивного излучения, приготовлении образцов для измерения радиоактивности, дозиметрическом контроле. | мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете |