

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
чл.-корр. РАН Еремин Н.Н.



«25» сентября 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Природные и синтетические наноструктуры и нанобъекты

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки/ специальность:

05.04.01 Геология

Образовательная программа магистратуры ИМ:

Кристаллография и кристаллохимия

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 6 от 8 сентября 2025 г.)

Москва 2025

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 05.04.01 Геология, утвержденным приказом по МГУ от 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции)

Год (годы) приема на обучение – 2025.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса "Геохимия природных вод" является освоение студентами теоретических основ геохимии природных вод, изучение химического состава гидросферы, слагающих ее частей, геохимических процессов, протекающих в различных частях гидросферы.

Задачи - освоение методов физико-химических расчетов, позволяющих прогнозировать поведение экологически важных компонентов в гидросфере, овладение приемами графического представления гидрогеохимических данных, знакомство с методами водоподготовки и очистки сточных вод.

Краткое содержание дисциплины (аннотация): В курсе "Природные и синтетические наноструктуры и нанообъекты" излагаются следующие проблемы:

- основы классификации и основные типы структур наноматериалов;
- физические причины специфики свойств наноструктур; структурные, термодинамические и физико-химические свойства;
- технологии получения наноструктур и наноматериалов, самоорганизация и самосборка;
- диагностика и методы исследования наноструктур и нанообъектов;
- объемные наноструктурированные материалы и углеродные наноструктуры.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Основы неорганической химии», «Общая физика», «Кристаллография», «Рост кристаллов: основы теории и методы». Студенты должны обладать навыками работы с информационными ресурсами в Интернете, компьютерными программами типа PowerPoint, Adobe Photoshop, Adobe Acrobat Professional, которые будут использоваться при самостоятельной работе в процессе подготовке рефератов и презентаций по ним.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
ОПК-2.М Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки при решении задач профессиональной деятельности.	М.ОПК-2. И-1. Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.	Знать: классификацию объектов наномира; современные методы диагностики и исследования нанообъектов, основные свойства наноструктур и наноматериалов, закономерности и физико-химические модели процессов получения наноструктурированных материалов; критерии выбора оптимальных методик синтеза; физические причины размерных эффектов; обладать.
ПК-2.М Способен самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;	М.ПК-2. И-1. Критически анализирует новейший отечественный и зарубежный опыт научно-исследовательских работ по тематике собственного исследования. М.ПК-2. И-2. Самостоятельно проводит научные исследования с помощью современного	Уметь: осуществлять анализ особенностей выращивания малоразмерных высокоэффективных монокристаллов для современной науки и техники; выбрать нужный метод для получения той или иной информации о свойствах наноструктур и наноматериалов; использовать информационные средства и технологии для интерпретации полученных результатов; оперировать различными современными методами исследования вещества; на основе результатов экспериментов моделирования разработать план получения

	<p>оборудования. М.ПК-2. И-3. Обрабатывает полученные результаты, формулирует выводы и рекомендации по использованию полученных результатов. М.ПК-2. И-4. Представляет результаты своей научной деятельности в письменной и устной форме (отчеты, статьи, доклады и презентации).</p>	<p>наноматериалов.</p>
<p>СПК-2.М Владение современными методиками синтеза и роста кристаллов</p>	<p>СПК-2 И-1. Понимает базовые принципы образования малоразмерных монокристаллов в многокомпонентных системах СПК-2 И-2. Знает технологические основы кристаллизации и критерии выбора оптимальных методик синтеза монокристаллов СПК-2 И-3. Владеет основными методами получения малоразмерных монокристаллических материалов,</p>	<p>Владеть: навыками составления обзоров по нанокристаллизации в лабораторных условиях и минералообразующих системах и их методов исследования; знаниями о практическом использовании и перспективах развития нанотехнологий; технологическими основами нанокристаллизации</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 72/28 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (24 часов – занятия лекционного типа, 4 часов – занятия семинарского типа), 44 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Тема 1. Введение		4				
Тема 2. Особенности свойств наноструктур и наноматериалов		4			Подготовка к контрольному опросу, 2 часа	
Тема 3. Диагностика и методы исследования наноструктур и наноматериалов .		6			Реферат, 1 час	
Тема 4. Технологии получения наноструктур и наноматериалов, самоорганизация и самосборка		6		4	Подготовка к контрольному опросу, 2 часа	
Тема 5. Объемные наноструктурированные материалы и углеродные наноструктуры		4			Тестирование , 1 час	
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>						
Итого	72			28	44	

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение.

Назначение и задачи курса. Понятие о наноматериалах. Общая характеристика проблемы. Наноявления в природе. История развития и области применения наноматериалов и нанотехнологий. Междисциплинарность и мультидисциплинарность. Объекты и методы. Основы классификации и основные типы структур наноматериалов.

2. Особенности свойств наноструктур и наноматериалов.

Физические причины специфики свойств наноструктур. Размерный эффект. Корреляционный радиус. Структурные, термодинамические и физико-химические свойства. Квантовые ямы, проволоки и точки. Размерность объекта и электроны проводимости. Потенциальные ямы. Частичная локализация.

3. Диагностика и методы исследования нанообъектов.

Атомные структуры. Определение размеров частиц. Структура поверхности. Микроскопия: просвечивающая электронная микроскопия (TEM); атомная силовая (AFM); ионно-полевая микроскопия, сканирующая микроскопия (STM, SEM). Спектроскопия: инфракрасная и рамановская спектроскопия, фотоэмиссионная и спектроскопия, магнитный резонанс. Рентгенографические методы. Компьютерное моделирование наносистем.

4. Технологии получения наноматериалов, самоорганизация и самосборка.

Формирование наноструктур по принципу «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Золь-гель метод. Получение наночастиц в конденсированных средах. Осаждение из газовой фазы. Самоорганизация и самосборка. Кристаллизация в аморфной фазе. Факторы, влияющие на стеклообразование. Стеклование. Вязкость. Кинетика кристаллизации стеклования. Стеклокерамика. Методы формирования объемных наноструктурированных материалов. Методы синтеза и свойства нанокристаллических порошков. Наноструктурированные многослойные материалы. Нанокompозиты.

5. Объемные наноструктурированные материалы и углеродные наноструктуры.

Углеродные молекулы. Природа углеродной связи. Углеродные кластеры. Углеродные наноструктуры: графен, фуллерены, углеродные нанотрубки и нановолокна и др. Минералогические примеры. Разупорядоченные твердотельные структуры. Наноструктурированные кристаллы. Наноструктурированные многослойные материалы. Теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров. Кристаллы из металлических наночастиц. Природные нанокристаллы. Нанореакторы: нанотрубки, мезопористые матрицы (1D), слоистые двойные гидроксиды, глины (2D), цеолиты (3D). Методы синтеза.

6. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

6.1 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Для текущего контроля знаний, умений и навыков студентов в соответствии с реализуемыми компетенциями в ходе семестра проводятся устные опросы и тесты.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине применяется для всех типов и этапов контроля.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля (устного)

1. Предмет и задачи изучения дисциплины: основные понятия, термины и определения, междисциплинарность и мультидисциплинарность. Направлений исследований и потенциальные приложения нанотехнологий.

2. Основные типы нанообъектов и наносистемы на их основе. Классификация наноматериалов.

3. Свободная энергия Гиббса образования поверхности раздела. Поверхностное натяжение. Равновесные состав объема и состав поверхности.

4. Особые свойства вещества в нанометровом диапазоне размеров. Размерные эффекты в наносистемах.

5. Пленочные технологии получения наноматериалов (химическое осаждение из газовой фазы (CVD), физическое осаждение из газовой фазы (PVD), электроосаждение, ионно – лучевая эпитаксия, золь – гель осаждение).

6. Механизмы роста пленок: по Фольмеру-Веберу, Франку-Ван дер Мерве, по Странски-Крастанову. Коэффициент поверхностного натяжения, как условие разграничивающие реализацию того или иного механизма роста.

7. Известно, что объемный образец сульфида кадмия CdS при нормальных условиях имеет структуру сфалерита, однако при получении его в наноразмерной форме стабилизируется структура типа NaCl. Каким образом можно это объяснить?
8. Дайте определение 0-D нанообъекта. Примеры.
9. Дайте определение 1-D нанообъекта. Примеры.
10. Дайте определение 2-D нанообъекта. Примеры.
11. Что такое диспергирование твердых тел?
12. Аллотропные формы углерода и их классификация. Структурные особенности различных модификаций углерода.
13. Классификация методов получения наноразмерных частиц (nanoparticles): методы «снизу-вверх» (bottom-up) и методы «сверху-вниз» (top-down).
14. Аллотропные модификации углерода: фуллерены. Особенности структуры фуллеренов и фуллеритов.
15. Теорема Эйлера и современные представления о структуре фуллеренов. Разновидности фуллеренов: эндофуллерены, гетерофуллерены, экзофуллерены. Методы синтеза фуллеренов.
16. Аллотропные модификации углерода: углеродные нанотрубки. Геометрическая структура нанотрубок. Методы синтеза УНТ.
17. Аллотропные модификации углерода: графен. Структурные особенности графена. Структурные дефекты графена. Методы получения графена. Соединения на основе графена.
18. Общая характеристика методов физического осаждения из паровой фазы.
19. Синтез наночастиц в упорядоченных матрицах. Классификация пористых материалов.
20. Наночастицы в нульмерных нанореакторах. Цеолиты для синтеза нанокompозитов.
21. Наночастицы в двумерных нанореакторах. Слоистые гидроксидные системы.

Расчетные домашние задания:

1. Расположите перечисленные нанотрубки в ряд по возрастанию диаметра. Во сколько раз диаметр самой толстой из перечисленных нанотрубок больше диаметра самой тонкой из них ?
а) (6, 6); б) (10, 10); в) (12, 0); г) (9, 3); д) (10, 2); е) (11, 7); ж) (4, 3); з) (11, 5); и) (5, 1); к) (12, 4).
2. Могут ли трубки с различной хиральностью иметь одинаковый угол свертки?
3. Существуют многослойные нанотрубки типа «матрешка». В «матрешках» расстояние между стенками трубок d_0 лежит в интервале 0.34-0.36 нм (расстояние между слоями в идеальном графите – 0.3354 нм). Могут ли трубки различного диаметра с $m = n$ образовывать «матрешку»?
4. Определите формулу и опишите структуру для наименьшего из всех возможных фуллеренов. Рассчитайте его диаметр.
5. Сколько пятиугольников (F5) и шестиугольников (F6) содержит произвольный фуллерен C_n ? Найдите F5 и F6 для фуллерена C2016.
6. Имеются два наноматериала одного и того же химического состава, состоящие из частиц сферической формы. Средний радиус частиц первого материала – 15 нм, а второго – 90 нм. Какой из двух материалов имеет большую удельную поверхность и во сколько раз?

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень вопросов к тестам при промежуточной аттестации:

Кто раскритиковал утверждение Аристотеля, согласно которому всё на Земле состоит из 4 элементов:

- (a) Демокрит
 - (b) Лейбниц
 - (c) Ламарк
 - (d) Роберт Бойль
- (a) К внутренним размерным эффектам относится:
- (b) сопротивление
 - (c) температура плавления
 - (d) увеличение растворимости
 - (e) тепловое расширение
2. С уменьшением размера зёрен в наноструктурах объёмная доля границ раздела:
- (a) уменьшается

(b) увеличивается

(c) не изменяется

(d) сначала увеличивается, потом уменьшается

3. С уменьшением размера зёрен в наноструктурах твёрдость материала:

(a) уменьшается

(b) увеличивается

(c) не изменяется

(d) сначала увеличивается, потом уменьшается

4. Функции распределения наночастиц по размерам определенным образом связаны со следующими параметрами – инвариантами:

(a) удельная поверхность

(b) фрактальность высокодисперсных порошковых образцов

(c) усредненный форм-фактор рассеяния

(d) интенсивность

5. Механизм роста ПЖК («пар-жидкость-кристалл») был открыт:

(a) Вагнером и Эллисом

(b) Бринкером и Шерером

(c) Нельсоном

(d) Странским и Крастановым

6. Классические аллотропы углерода, являющиеся прототипами наноаллотропов:

(a) графит, лонсдейлит, алмаз

(b) графит, карбин, алмаз

(c) алмаз, карбин, лонсдейлит

(d) графит, карбин, лонсдейлит

7. В методе SAXS наибольшую информативную роль играет:

(a) относительный уровень интенсивности рассеянного излучения отдельной наночастицей.

(b) абсолютный уровень интенсивности рассеянного излучения отдельной наночастицей

(c) абсолютный уровень интенсивности рассеянного излучения всего вещества

(d) относительный уровень интенсивности рассеянного излучения всего вещества

8. Механизм Франка-Ван-Дер-Мерве описывают:

(a) формирование поверхностных структур послойным ростом.

(b) формирование поверхностных структур островковым ростом.

(c) стадию формирования зародыша

(d) стадию поверхностных структур комбинированным методом.

9. Какой тип гибридизации у атома углерода в алмазе?

(a) sp^3

(b) sp^2

(c) sp^1

(d) sp^n ($1 < n < 2$)

10. Квантовые нити являются:

(a) одномерными структурами

(b) двумерными структурами

(c) трехмерными структурами

11. Цеолиты интересны в практическом применении прежде всего:

(a) эффективной шириной структурных каналов

(b) сложным химическим составом

(c) доступными методами синтеза

(d) широким применением в электронике

12. Экситон - это:

(a) пара дырка-электрон

(b) электрон, находящийся в движении

(c) элементарная частица

(d) энергетический спектр электрона

13. Вывод о квантовании энергии электронного движения относится:
- (a) к движению поперёк потенциальной ямы
 - (b) к движению параллельно границе плёнки
 - (c) к движению перпендикулярно границе плёнки
 - (d) к движению в k-мерном пространстве
14. Квантовое ограничение включает в себя (выделить нужное, может быть несколько вариантов):
- (a) ограничение движения электрона минимум в одном направлении
 - (b) ненулевой значение энергии
 - (c) дискретность энергии разрешённых состояний
 - (d) ограничение максимума энергии электрона
15. Причиной падения твердости при уменьшении размера частиц может служить:
- (a) увеличение количества тройных стыков зёрен
 - (b) появление дополнительных границ зёрен
 - (c) внутреннее структурное напряжение
 - (v) недостаточность прочности химической связи
16. Механизм Франка-Ван-Дер-Мерве описывают:
- (a) формирование поверхностных структур послойным ростом.
 - (b) формирование поверхностных структур островковым ростом.
 - (c) стадию формирования зародыша
 - (d) стадию поверхностных структур комбинированным методом.
17. Какой тип цеолитов может быть использован в качестве одномерных твердотельных нанореакторов?
- (a) FAU
 - (b) MFI
 - (c) MAS
 - (d) ZSN
18. Квантово-размерные эффекты связаны с:
- (a) изменением энергетического спектра электронов и дырок
 - (b) изменением размера нано-частиц
 - (c) движением микро-частиц
 - (d) появлением упорядоченного движения наночастиц
19. Кто дал более полное определение *золя*
- (a) Бринкер и Шерер
 - (b) Крото и Кёрл
 - (c) Вагнер и Эллис
 - (d) Странский и Крастанов
20. Основным методом получения нанокompозитных материалов на основе цеолитов является обмен катионов ...
- (a) Na^+
 - (b) H^+
 - (c) NH^+ и $\text{H}^+ \text{Na}^+$, H^+ , NH^+
21. Формы УНТ с гексагонами расположенными не под прямым углом и не равным 0 :
- (a) хиральные
 - (b) нехиральные
 - (c) аквиальные
22. Слоистые двойные гидроксиды стабильны прежде всего по причине:
- (a) за счет электростатического взаимодействия между положительно заряженными гидроксидными слоями и межслоевыми анионами
 - (b) за счёт статического распределения ионов в структуре
 - (c) за счёт минимизации межслоевого пространства
23. Коллоидные гели, как правило, создаются в результате:
- (a) Ван-дер-Валльсовых сил между агрегатами
 - (b) Электронного взаимодействия между ионами
 - (c) спекания частиц при высоких температурах
 - (d) диффузии частиц

24. Вид дифракционной картины и возможности извлечения из нее структурной информации существенно зависят от:

- (а) усредненная интенсивность рассеяния
- (b) стандартных аналитических функций (Гаусса, Максвелла и др.)
- (с) наличия упорядоченности в структуре исследуемого объекта
- (d) длины волны рентгеновского излучения

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (зачет).

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<p>Знание: классификация объектов наномира; современные методы диагностики и исследования нанобъектов, основные свойства наноструктур и наноматериалов, закономерности и физико-химические модели процессов получения наноструктурированных материалов; критерии выбора оптимальных методик синтеза; физические причины размерных эффектов; обладать.</p>	<p>Фрагментарные знания или отсутствие знаний</p>	<p>Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания</p>
<p>Умение: осуществлять анализ особенностей выращивания малоразмерных высокоэффективных монокристаллов для современной науки и техники; выбрать нужный метод для получения той или иной информации о свойствах наноструктур и наноматериалов; использовать информационные средства и технологии для интерпретации полученных результатов; оперировать различными современными методами исследования вещества; на основе результатов экспериментов моделирования разработать план получения наноматериалов.</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений</p>	<p>Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)</p>

<p>Владение: навыками составления обзоров по нанокристаллизации в лабораторных условиях и минералообразующих системах и их методов исследования; знаниями о практическом использовании и перспективах развития нанотехнологий; технологическими основами нанокристаллизации</p>	<p>Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков</p>	<p>Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме</p>
--	---	--

7. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Леонюк Н.И. Копорулина Е.В., Волкова Е.А., Мальцев В.В. Рост кристаллов: лабораторный практикум с основами теории. Учебное пособие. М.: ГЕОС, 2014, 145 с.

- дополнительная литература

1. Bhushan B. Handbook of nanotechnology. Part 1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 953 p.
2. Nanoscale Science and Technology Edited by R. W. Kelsall, I. W. Hamley and M. Geoghegan, 2005 John Wiley & Sons, Ltd
3. Nanostructure Control of Materials. Edited by R. H. J. Hannink and A. J. Hill. Cambridge, England: Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of the Institute of Materials, Minerals & Mining, 2006, 344 p.
4. Палатник Л.С, Папилов И.И. Эпитаксиальные пленки. М: Изд. «Наука», 1971, 480 с.
5. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: «Техносфера», 2005, 336 с.
6. Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов. М.: Изд. «Наука», 1980, 430 с
7. Федоров А.В., Баранов А.В., Литвин А.П., Черевков С.А. Специальные методы измерения физических величин. Уч.пособие. С-Петербург 2014, 131 с.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

В) Дисциплина реализуется с использованием электронного обучения и дистанционных технологий кафедры кристаллографии и кристаллохимии, в том числе баз данных кристаллических структур American Mineralogist, MINCRYST

Г) Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

NanoNewsNet - новости нанотехнологий - <http://subscribe.ru/catalog/science.news.nanonews>

Интернет-журнал о нанотехнологиях - <http://www.nanojournal.ru/>

Национальная нанотехнологическая сеть - <http://www.rusnanonet.ru/>

Сайт нанотехнологического сообщества Нанометр - <http://www.nanometer.ru>

Д) Материально-техническое обеспечение: для проведения занятий, интерактивных лекций-визуализаций, презентаций рефератов на семинарах используется LCD проектор; для самостоятельной работы студентов используется компьютерный класс с выходом в Интернет, коллекция кристаллических структур кафедры кристаллографии и кристаллохимии, доступная через учебный кабинет кафедры, доступ к базам данным по кристаллохимии и структурным данным, программное обеспечение для решения задач кристаллохимических задач, библиотека геологического факультета МГУ. Для интерактивной самоподготовки используется компьютер с выходом в Интернет.

8. Язык преподавания – русский.

9. Преподаватель (преподаватели): Волкова Е.А.

10. Разработчики программы: –доцент Волкова Е.А.