Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Программа вступительных испытаний

в магистратуру

по направлению подготовки

18.04.01 Химическая технология

магистерская программа

«Химическая технология минеральных удобрений»

Москва 2026

Разработчики программы:
- профессор кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов,
д.х.н., профессор М.Б. Алехина;
- доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов,
к.т.н., доцент Н.В. Нефедова

1. Введение

Программа вступительных испытаний по образовательной программе высшего образования – программе магистратуры «**Химическая технология минеральных удобрений**» предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру РХТУ им. Д.И. Менделеева по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология.

Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников классических университетов, технологических и технических вузов, в основных образовательных программах подготовки которых содержатся дисциплины, рабочие программы которых аналогичны по наименованию и основному содержанию рабочим программам перечисленных ниже учебных дисциплин, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева по уровню бакалавриата.

Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева: «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Аналитическая химия», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование химико-технологических процессов», «Теоретические основы технологии неорганических веществ», «Техника экспериментальных исследований», «Основы проектирования и оборудование химических производств», « Технология неорганических веществ: каталитические процессы», «Технология неорганических веществ: минеральные удобрения и соли», «Технология катализаторов», «Адсорбция в технологии неорганических веществ», «Технология катализаторов» и других специальных учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

Подготовка обучающихся к профессиональной деятельности, объектами которой являются продукты и материалы неорганической химии: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты.

Цели обучения состоят в приобретении знаний, умений, владений и формировании компетенций в области теории и практики производственных процессов получения неорганических продуктов, представления о структуре сырьевой базы получения продуктов неорганического синтеза, способов и процессов защиты окружающей среды от выбросов производств неорганических продуктов, утилизации и обезвреживания неорганических производственных отходов; технологических расчетов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции.

Выпускники магистерской программы могут работать в международных и российских компаниях и на предприятиях по выпуску продуктов неорганической химии, заниматься научно-исследовательской

деятельностью, занимать должности, связанные с аналитической и консультационной деятельностью в сфере технологии неорганических веществ.

2. Содержание программы

2.1. Физико-химические основы современных неорганических технологий и синтез основных неорганических продуктов

Термодинамические основы получения умеренного и глубокого холода. Процессы разделения воздуха, природного и коксового газа криогенным методом с целью получения кислорода, азота, редких газов, водорода и азотоводородной смеси. Синтез неорганических веществ на базе газообразного сырья: азота, кислорода, метана, монооксида углерода, водорода и других газов.

Физико-химические основы каталитических, адсорбционных, абсорбционных и мембранных методов очистки и разделения газов.

2.2. Неорганические синтезы на основе газового сырья

Термодинамические основы синтеза аммиака. Тенденции повышения эффективности аммиачных производств. Особенности агрегатов третьего поколения при получении аммиака. Направление технологии катализаторов аммиачного производства.

Общность технологии аммиака и метанола. Физико-химические основы синтеза метанола. Катализаторы синтеза, их свойства и методы получения. Системы синтеза метанола. Процесс производства метанола и спиртов C_2 – C_4 на основе природного газа. Окислительный пиролиз метана.

Модернизация технологии азотной кислоты. Принципы организации технологии и пути интенсификации сернокислотного производства.

2.3. Научные основы перспективных технологий. Решение экологических проблем

Перспективные методы получения технологических газов и классификация основных процессов химической технологии. Альтернативные методы разделения воздуха, области использования получаемых газов. Связь развития криогенной технологии с прогрессом новых отраслей промышленности, широкое использование продуктов разделения воздуха, природного газа и различных газовых смесей в химической, металлургической и других отраслях промышленности.

Основные стратегии модернизации аммиачных производств (радикальная и точечная) с целью повышения технического ранга российских агрегатов в мировой классификации. Разработка концепции нового аммиачного агрегата. Система «Тандем». Разрабатываемые технологии и закладка принципов минимизации вредных выбросов. Принципы экологической толерантности технологических установок.

Современные тенденции развития производства серной кислоты в России и за рубежом. Усовершенствованные схемы переработки пирита – разработки НИУИФ, фирмы Monsanto (США). Мокрый катализ ДКДА.

Проблемы загрязнения окружающей среды в производстве неорганических веществ и пути их решения.

2.4. Энергосберегающие технологические схемы. Аппаратурное оформление современных технологий

Эксергетический анализ и его основные элементы. Степень термодинамического совершенства химико-технологических процессов.

Термодинамика конверсии природного газа и окиси углерода водяным паром и кислородом. Равновесие конверсии метана. Термодинамический анализ различных способов конверсии. Конверсия в трубчатых печах и шахтных реакторах. Компрессоры, адсорберы и другое оборудование блоков риформинга.

Анализ эффективности промышленных схем производства синтетического аммиака. Оптимальный расход сырья и топлива в энерготехнологических схемах. Перспективы развития энерготехнологии в производстве аммиака. Аппаратурное оформление процесса в современных схемах.

Термодинамическая эффективность интенсификации процессов ТНВ. Методы снижения термодинамической необратимости химико-технологических процессов и экономии энергетических и материальных ресурсов при их проведении.

2**.5. Принципы графического анализа процессов солевых технологий по диаграммам равновесных солевых систем**

Способы графического изображения многокомпонентных (3-х и более) водно-солевых систем, использование метода вторичных проекций. Принципы построения на диаграммах растворимости полных технологических циклов процессов получения солей. Определение температурно-концентрационных параметров оптимального ведения процессов, постадийный и общий расчет материальных потоков.

2.6. Графо-аналитические исследования процессов получения основных удобрений и солей

Последовательно и систематически рассматриваются технологические циклы производств основных групп минеральных удобрений и некоторых солее (по диаграммам соответствующих систем):

- азотные удобрения: сульфат аммония (NH_3-H_2SO_4-H_2O); нитрат аммония (аммиачная селитра, NH_3-HNO_3-H_2O); карбамид (главные стадии);

- калийные удобрения: хлорид калия из сильвинита и других руд галургическими методами (KCl-NaCl-H_2O, KCl-$MgCl_2$-H_2O); сульфат калия различными способами;

- фосфорные удобрения: простой суперфосфат (CaO-P_2O_5-SO_3-H_2O); экстракционная фосфорная кислота (CaO-P_2O_5-SO_3-H_2O); двойной суперфосфат (CaO-P_2O_5-H_2O);

-сложные удобрения: нитрат калия (KCl-$NaNO_3$-H_2O и KCl-HNO_3-H_2O); фосфаты аммония (аммофос, диаммофос, NH_3-P_2O_5-H_2O); нитрофосы (CaO-N2O5-P2O5-H2O);

- некоторые соли: бора, фтора и др. по диаграммам соответствующих систем.

2.7. Промышленные адсорбционные процессы

Краткий обзор промышленных адсорбентов.

Адсорбционное равновесие. Расчет величин адсорбции с использованием современных теоретических подходов. Адсорбция смесей. Массо- и теплообмен в адсорбционных процессах. Динамика фронтальной адиабатической адсорбции и десорбции. Фронтальная динамика адсорбции газовых смесей.

Циклические процессы с регенерацией адсорбента теплоносителем – водяным паром. Рекуперация углеводородов. Особенности технологии и аппаратуры процессов. Принципы проектирования установок. Альтернативные процессы рекуперации углеводородов.

Циклические процессы с косвенным вводом тепла (с регенерацией адсорбента без контакта с теплоносителем). Достоинства и недостатки адсорбционных процессов, в которых ввод (отвод) тепла осуществляют за счет теплопроводности.

Короткоцикловые процессы с безнагревной регенерацией адсорбента (КЦА). Особенности кинетики и динамики процессов КЦА. Основные технологические и аппаратурные особенности процессов.

Получение чистого водорода методом КЦА. Основные технологические и аппаратурные особенности процесса. Очистка газов от диоксида углерода и его концентрирование методом КЦА.

Адсорбционная очистка от соединений серы. Достоинства и недостатки методов.

2.8. Технология продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов

Общие сведения и классификация продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов. Номенклатура и области их потребления.

Классификация веществ по степени чистоты. Технические характеристики и эксплуатационные свойства продуктов целевого назначения. Взаимосвязь между способом, условиями получения, составом и свойствами получаемых продуктов. Особенности производства и контроля продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов. Особенности проектирования, эксплуатации и оптимизации производств. Гибкие автоматизированные системы. Хранение и транспортирование продуктов. Сырьевая, энергетическая и другие составляющие себестоимости продукции тонкого неорганического синтеза. Экологические проблемы производства. Пути снижения количества отходов, выбросов и сточных вод.

Классификация методов технологии тонкого неорганического синтеза. Физико-химические аспекты выбора метода синтеза. Получение растворимых кристаллических соединений. Получение труднорастворимых соединений способами химического осаждения. Химическое загрязнение осадков. Типы соосаждения примесей: адсорбция, окклюзия. Получение

неорганических продуктов для высокотехнологичных направлений: фотоника, сенсорика, спинтроника, катализ и микроэлектроника. Неорганические материалы для токопроводящих прозрачных покрытий. Способы создания наноструктурных неорганических пленок. Электрохимические методы синтеза продуктов химической технологии. Физико-химические основы синтеза соединений с нестехеометрическим составом. Создание фотоактивных материалов с широким спектром поглощения на основе диоксида титана. Синтез неорганических соединений в специальных средах.

Соединения реактивной квалификации и особо чистые вещества. Теоретические основы очистки веществ и классификация методов очистки. Химические методы очистки веществ. Очистка осаждением основного вещества. Очистка с переводом примеси и основного вещества в газовую фазу. Галогенидный метод. Гидридный метод. Очистка с использованием элементорганических соединений. Карбонильный метод. Химические транспортные реакции. Физико-химические методы очистки веществ. Дистилляционные (ректификационные) методы очистки неорганических соединений. Кристаллизационные методы. Кристаллизация из растворов и расплавов. Фракционирование примесей в процессах кристаллизации. Основные показатели и закономерности фракционирования. Экстракционные методы. Классификация экстрагентов. Экстракционные системы для очистки неорганических веществ. Адсорбционные методы. Основные закономерности и особенности адсорбции примесей из газов, паров, растворов. Хроматографический метод получения чистых веществ. Ионообменный метод получения чистых веществ. Электрохимические и мембранные методы разделения и очистки жидких и газовых сред.

2.9. Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов химической технологии

Типовое оборудование для проведения основных химико-технологических процессов. Конструкции аппаратов, принцип действия которых основан на физических свойствах обрабатываемых объектов. Реакторное оборудование, тепло- и массообменные аппараты.

Анализ аппаратурного оформления технологических схем. Способы повышения эффективности технологических процессов. Инструменты оценки эффективности технологических процессов. Анализ основных уравнений тепло- и массопередачи. Компьютерные системы проектирования для оформления технологических схем и внесения конструктивных решений в типовые аппараты.

Технико-экономическое обоснование и выбор типового высокоинтенсивного оборудования для оформления промышленных технологических схем, опытно-промышленных установок, научно-исследовательских лабораторий и инжиниринговых компаний.

2.10. Катализаторы и гетерогенно-каталитические процессы

Теоретические основы катализа. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций. Определение активности, числа оборотов (TOF), селективности,

элементарного акта, маршрута реакции.. Ленгмюровская кинетика каталитических реакций. Кинетика сложных каталитических реакций по М.И. Темкину. Диффузионная кинетика. Каталитические реакции в нестационарном режиме.

Применение катализа для решения экологических проблем. Кислотно-основной катализ. Кислотные и основные катализаторы и их активные центры. Катализ на оксидах и каталитическое окисление. Каталитическое окисление простых молекул. Глубокое окисление углеводородов. Роль катализа в решении экологических проблем. Каталитическая очистка от вредных газов: CO, C_xH_Y, NO_X, SO_2 и др. Очистка природного газа от серы. Синтез Фишера-Тропша.

Научные основы синтеза катализаторов. Классификация методов получения катализаторов. Осажденные катализаторы. Нанесенные катализаторы. Носители катализаторов, их свойства и методы получения.

2.11. Основы процессов водоподготовки и очистки сточных вод

Классификация сточных вод и загрязняющих примесей.

Нормирование качества воды. Требования к качеству воды: питьевой, для промышленных производств.

Классификация методов очистки сточных вод. Способы водоподготовки.

Механические методы очистки сточных вод. Фильтрационные методы.

Мембранные методы очистки сточных вод. Технические характеристики и классификация мембран. Мембранные аппараты для очистки сточных вод.

Физико-химические методы очистки воды. Коагуляция, флокуляция. Флотация. Адсорбционные методы. Ионный обмен. Оборудование для обработки сточных вод.

Ректификационные методы. Экстракция. Кристаллизация из водных растворов.

Химические методы очистки воды. Нейтрализация. Окислительные методы. Восстановительные методы. Осадительные методы.

Электрохимические методы: электрохимическое окисление и восстановление, электрокоагуляция, электродиализ, электрофлотация.

Биохимические методы очистки сточных вод.

Аэробные методы очистки. Анаэробные методы очистки.

3. Профильные дисциплины:

- Технология основного неорганического синтеза
- Графо-аналитические исследования солевых технологий
- Промышленные адсорбционные процессы
- Технология продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов
- Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов химической технологии»
- Катализаторы и гетерогенно-каталитические процессы в технологии неорганических веществ
- Основы процессов водоподготовки и очистки сточных вод

4. Партнеры программы

Партнеры программы - предприятия и организации, которые тесно сотрудничают с факультетом/кафедрой и могут предложить студентам места прохождения практики и дальнейшее трудоустройство.

- Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений (ГНИИХТЭОС)
- Компания "Акрон"
- Компания "ФосАгро"
- Корпорация "Росхимзащита"
- ОАО «ГИАП».

5. Вопросы для подготовки к вступительным испытаниям

1. Сырье в технологии основного неорганического синтеза: виды, доступность, методы подготовки к переработке.
2. Катализаторы. Классификация катализаторов. Факторы, определяющие каталитическую активность.
3. Катализ. Слитный и раздельный механизмы. Определение активности, селективности, маршрута реакций.
4. Диффузионная кинетика гетерогенных реакций. Внешнедиффузионная область.
5. Диффузионная кинетика гетерогенных реакций. Внутридиффузионная область.
6. Физико-химические основы конверсии метана.
7. Физико-химические основы конверсии оксида углерода.
8. Механизм и кинетика синтеза аммиака, катализаторы, восстановление. Каталитические яды.
9. Механизм и кинетика окисления аммиака в контактном отделении производства азотной кислоты, катализаторы, обоснование выбора технологических параметров.
10. Физико-химические основы получения разбавленной азотной кислоты.
11. Концентрирование разбавленной азотной кислоты.
12. Блок-схема производства неконцентрированной азотной кислоты., параметры технологического процесса, устройство контактного аппарата окисления аммиака.
13. Блок - схема очистки технологических газов от диоксида углерода в производстве синтетического аммиака, параметры процесса, устройство абсорбера.
14. Технология конвертирования CO в современных агрегатах синтеза аммиака.
15. Физико-химические основы окисления диоксида серы в триоксид.
16. Катализаторы окисления диоксида серы в триоксид: составы, свойства, синтез.
17. Двойное контактирование в производстве серной кислоты.
18. Получение водорода методом конверсии углеводородного сырья.

19. Физическая сущность процесса криогенного разделения газов. Получение низких температур методом изоэнтальпного расширения газа. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффекты.
20. Термодинамические основы получения глубокого холода. Дросселирование газа. Эффект Джоуля – Томпсона.
21. Производство азото-водородной смеси методом глубокого охлаждения коксового газа.
22. Особенности катализаторов конверсии СО.
23. Криогенный метод очистки и разделения газов.
24. Конструктивные особенности реакторов конверсии метана и СО.
25. Физико-химические основы разделения воздуха криогенным методом/
26. Блок-схема установки разделения воздуха типа Г-6800, параметры процесса, основные продукты.
27. Физико-химические основы синтеза аммиака.
28. Принципы комплексного производства аммиака и карбамида.
29. Физико-химические основы окисления аммиака в производстве азотной кислоты.
30. Производство концентрированной азотной кислоты. Блок – схема процесса. Детоксикация отходящих газов.
31. Каталитическое гидрирование оксидов углерода в системе синтеза аммиака.
32. Катализаторы конверсии метана: составы, свойства, синтез.
33. Виды конверсии метана (паровая, кислородная, углекислотная), составы конвертированного газа.
34. Адсорбционная осушка газов. Физико-химические основы. Технологическая схема. Оборудование.
35. Производство водорода различными методами. Сравнение методов получения водорода.
36. Блок-схема синтеза аммиака.
37. Производство синтез-газа путем конверсии метана. Физико-химические основы процесса.
38. Производство синтетического метанола. Физико-химические основы процесса.
39. Синтез карбамида. Блок-схема производства карбамида с полным жидкостным рециклом.
40. Блок- схема стриппинг-процесса синтеза карбамида, особенности технологии, отличие от схемы с жидкостным рециклом.
41. Физико-химические основы производства серной кислоты.
42. Обжиг серосодержащего сырья.
43. Контактное отделение в производстве серной кислоты, промышленные катализаторы.
44. Абсорбция триоксида серы в производстве серной кислоты.
45. Экологические проблемы в производстве серной кислоты.
46. Теоретические основы получения водорода электрохимическим методом.

47. Физико-химические основы адсорбционного разделения воздуха, применяемые адсорбенты.
48. Переработка оксидов азота в разбавленную азотную кислоту.
49. Производство концентрированной азотной кислоты. Блок – схема процесса.
50. Детоксикация отходящих газов в производстве концентрированной азотной кислоты.
51. Механизм и кинетика окисления аммиака в контактном отделении производства азотной кислоты, катализаторы, обоснование выбора технологических параметров.
52. Абсорбционные методы очистки газов от оксидов углерода.
53. Каталитическое гидрирование серосодержащих соединений.
54. Методы очистки газовых выбросов.
55. Очистка технологических газов от кислородсодержащих соединений в производстве аммиака производительностью 1360 т NH_3/сутки.
56. Получение редких газов и их применение.
57. Газификация твердого и жидкого топлива.
58. Методы каталитического обезвреживания отходящих газов.
59. Проблемы и перспективы отечественной минерально-сырьевой базы.
60. Влияние генезиса на состав, структуру и свойства минерального сырья.
61. Кинетика процессов в водносолевых и солеплавовых системах.
62. Методы концентрирования растворов в технологии неорганических веществ и технологические оборудование, применяемое для этих целей
63. Сырьевые материалы для производства минеральных удобрений и солей и методы их подготовки к переработке.
64. Азотные удобрения. Ассортимент, качество, агрохимическая эффективность.
65. Жидкие азотные удобрения, требования к свойствам, методы получения.
66. Физико-химические основы производства аммиачной селитры. Пути уменьшения слеживаемости нитрата аммония.
67. Блок-схема процесса получения KCl галургическим методом.
68. Получение KCl из сильвинита методом пенной флотации, требования, предъявляемые к сырью.
69. Способы получения KCl из карналлита.
70. Физико-химические основы и методы получения экстракционной фосфорной кислоты.
71. Концентрирование фосфорной кислоты выпаркой.
72. Физико-химические основы получения простого суперфосфата, блок-схема процесса.
73. Физико-химические основы и технология двойного суперфосфата.
74. Улавливание и утилизация фторсодержащих соединений в производстве фосфорсодержащих удобрений.
75. Способы утилизации фосфогипса – побочного продукта производства экстракционной фосфорной кислоты

76. Физико-химические основы, блок-схема и продукты процесса переработки фосфатного сырья азотнокислотным методом.
77. Физико-химические основы получения фосфатов аммония и свойства продуктов.
78. Технологическая схема производства фосфатов аммония с трубчатым реактором.
79. Слеживаемость минеральных удобрений: причины, способы борьбы с ней.
80. Физико-химические основы технологии медленнодействующих минеральных удобрений, примеры фазового состава.
81. Технологическая схема производства нитрата аммония в агрегате АС-72.
82. Физико-химические основы и блок-схема процесса получения сульфата аммония сатураторным способом.
83. Физико-химические основы технологии нитрата аммония. Свойства и обрасти применения продукта.
84. Кристаллизация солей из водных растворов, движущая сила процесса, условия направленной кристаллизации.
85. Целевой компонент и способы его выделения из минерального сырья.
86. Рассмотреть на примере фосфатного сырья различного генезиса взаимосвязь технологии и свойств солевых продуктов.
87. Механизмы образования гранул в грануляторах различных типов.
88. Методы гранулирования продуктов в технологии неорганических веществ и оборудование, применяемое для этих целей.
89. Каталитическая очистка промышленных выбросов от CO, C_xH_y, NO_x
90. Блок-схема процесса получения NPK-удобрений, условия, предотвращающие реакцию ретроградации фосфора.

6. Рекомендованная литература

1. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии. Л.: Химия, 1985. 369 с.
2. Криогенные технологии в производстве неорганических веществ. Курс лекций: учеб. пособие /С.А. Ануров, Н. В. Нефедова, М. Б. Алехина. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2021. – 121 с.
3. Кидней А., Пэрриш У., Мак-Картни Д. Основы переработки природного газа. Перевод с англ. 2-го изд. Под ред. Лыкова О.П., Голубевой И.А. СПб: Профессия. 2013. 650 с.
4. Соколовский А.А., Яхонтова Е.Л. Применение равновесных диаграмм в технологии минеральных солей. М.: Химия, 1982. 256 с.
5. Петропавловский И.А., Дмитревский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Технология минеральных удобрений: Учебное пособие. СПб.: Проспект Науки, 2018. 312 с.
6. Данквертс П.В. Газо-жидкостные реакции. М.: Химия, 1973. 296 с.
7. Кувшинников И.М. Минеральные удобрения и соли. Свойства и способы их улучшения. М.: Химия, 1987. 256 с.

8. Третьяков Ю.Д. Твердофазные реакции. М.: Химия, 1978. 359 с.
9. Электротермические процессы химической технологии./ Под ред. Ершова В.А. Л.: Химия, 1984. 464 с.
10. Свит Т.Ф. Основы разделения воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации: учебное пособие/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005 132 с
11. Технология связанного азота / Под ред. В.И. Атрощенко. Киев: Вища школа, 1985. 326 с.
12. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / Под. ред. В.М. Олевского. М.: Химия, 1985. 398 с.
13. Очистка технологических газов / Под ред. Т.А. Семеновой. М.: Химия, 1977. 488 с.
14. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. М.: Химия, 1983. 350 с.
15. Позин М.Е Технология минеральных удобрений и солей. Л.: Химия, 1983. 354 с.
16. Яхонтова Е.Л., Петропавловский И.А., Кармышов В.Ф., Спиридонова И.А. Кислотные методы переработки фосфатного сырья. М. : Химия. 1988. 288 с.
17. Современные методы очистки техногенных сточных вод от токсичных примесей: учеб. пособие / В.В. Милютин, М.Б. Алехина. Б.Е. Рябчиков, – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. 132 с.
18. Алехина М.Б. Промышленные адсорбенты: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. 112 с.