

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

УТВЕРЖДАЮ

**Декан Геологического факультета
академик**

_____/Д.Ю.Пущаровский/

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Применение изотопных методов в гидрогеологии

Автор-составитель: Харитоновна Н.А.

Уровень высшего образования:

Магистратура (ММ)

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Магистерская программа:

Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № _____, _____)

Москва 20__

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 «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год приема на обучение – 2018.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

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

Цели и задачи дисциплины

Цель курса «Применение изотопных методов в гидрогеологии» - формирование у магистрантов углубленных профессиональных знаний о химическом и изотопном составе природных вод, о закономерностях поведения химических элементов и их изотопов в природных и техногенных процессах, а также о методах исследования изотопных характеристик водных объектов и методиках использования изотопно-геохимических маркеров при реконструкции основных гидрогеологических, геохимических и экологических процессов.

Задачи:

- познакомить студентов с изотопными системами и показать, как использовать данные по изотопам для выяснения источников питания, разгрузки и режима водопритоков, установления взаимосвязи водоносных горизонтов, водообильности, расчета временных параметров водообмена в водоносной системе и т. д.;
- овладение студентами навыков реконструкции генезиса природных вод и их эволюции, выявления характера взаимосвязи между геохимическим и изотопным составом вод и их гидрогеологическими характеристиками, литологическим составом и возрастом вмещающих пород, нефтегазонакоплением и гидротермальным рудообразованием.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – II, семестр – 3.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия

Курс предполагает наличие у магистрантов знаний по общей и аналитической химии, общей физике, общей геологии, геохимии, минералогии и петрографии, гидрогеологии, геоэкологии и геокриологии в объеме программы высшего профессионального образования (бакалавр).

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3 Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных 3 разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки

ПК-1 Способность самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта

СПК-1 Способность систематизировать, обобщать и анализировать результаты региональных гидрогеологических исследований формирования естественных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

Знать: о месте изотопной геохимии (гидрогеологии) в системе геологических наук; об эволюции изотопных систем в природных объектах; возможности получения достоверной информации о характере природных процессов на основании изотопных данных; возможности и ограничения изотопно-геохимического исследования природных вод, компонентов водной системы, минералов и пород, особенности аппаратуры и методических подходов, применяемых для изучения изотопных систем;

Уметь: определять возможные направления изучения конкретных объектов методами изотопной гидрогеологии; оценивать достоверность аналитических данных; анализировать и интерпретировать полученную информацию; излагать в устной и

письменной форме результаты своего исследования и аргументировано отстаивать свою точку зрения в дискуссии.

Владеть: методами обработки, анализа и синтеза полевой, а также лабораторной гидрохимической и изотопной информации; выявлять генезис основных типов вод и основных компонентов природных вод; датировать воды методом изотопной геохронологии; владеть методами графической интерпретации изотопных данных, основными расчетными методами (простая модель, дисперсионная модель, модель полного перемешивания (экспотенциальная модель) и т.д.).

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия

5. Объем дисциплины составляет **2** зачетные единицы, **72** академических часа, в том числе **14** часов – занятия лекционного типа, **14** часов – занятия семинарского типа, **44** часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет

6. Краткое содержание дисциплины

Основными вопросами гидрогеологии являются выяснение условий формирования и последующей эволюции подземных вод, а также оценка времени пребывания водных масс под землей. Вопросы генезиса подземных вод часто решаются на основании находящихся в водном растворе минеральных, газовых, органических и бактериальных компонентов, которые нестабильны и могут видоизменяться на протяжении длительной циркуляции природных вод в недрах Земли. Поэтому устанавливать генезис вод на их основе становится весьма затруднительно и может приводить к ошибкам. В то же время проведенные в последние десятилетия многочисленные исследования показали возможность использования изотопного состава для выявления происхождения подземных вод и газов, условий их формирования, динамики и разгрузки. Преимущества изотопных методов заключается в том, что они позволяют устанавливать генезис и «возраст» подземных вод и газов, определять пропорции смешения вод разного происхождения, оценивать взаимосвязь отдельных водоносных горизонтов, определять направления движения подземных вод, выявлять связь подземных вод с поверхностными водоемами, устанавливать вертикальную и горизонтальную зональность подземные вод и их газовой составляющей, прогнозировать режим минеральных и термальных вод и т.д. Основной целью изучения дисциплины является формирование у магистрантов углубленных профессиональных знаний по геохимии и изотопии природных вод, об общих закономерностях поведения химических элементов и их изотопов в природных и техногенных процессах, а также о методах их изучения и методиках применения при реконструкции основных гидрогеологических, геохимических и экологических процессов.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение в основы изотопной геохимии. Теория и методы изучения.		4	4	8	Контрольная работа, 8 часов
Раздел 2. Основные характеристики и особенности стабильных изотопов легких элементов.		4	4	8	Контрольная работа, 8 часов
Раздел 3. Основные характеристики и особенности радиогенных изотопов.		2	2	4	Контрольная работа, 8 часов
Раздел 4. Основные характеристики и особенности радиоактивных изотопов. Методы датирования подземных вод.		4	4	8	Контрольная работа, 10 часов
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>					10
Итого	72		28		44

Содержание разделов дисциплины:

Содержание лекционных занятий

Раздел 1. Введение в основы изотопной геохимии. Теория и методы изучения.

1. Понятие об изотопных системах. История открытия изотопов, основные теоретические положения. Классификация изотопов и их фракционирование (равновесное и кинетическое). Распространенность, особенности поведения и способы измерения изотопного состава разных элементов в природных объектах. Методы измерения и используемые стандарты.

Раздел 2. Основные характеристики и особенности стабильных изотопов легких элементов

2. Изотопы кислорода и водорода. Изотопный состав океана. Эффект испарения и вертикальный водообмен. Формирование изотопного состава атмосферы. Сезонные вариации. Изотопный состав атмосферных осадков как функция высоты. Эволюция изотопного состава атмосферных осадков во времени. Изотопный состав поверхностных вод континентов. Формирование изотопного состава рек и озер. Изотопный состав подземных вод. Установление областей питания подземных вод. Взаимосвязь водоносных горизонтов. Смещение. Изотопный состав подземных вод артезианских бассейнов. Изотопный состав осадочных пород и поровых вод. Изотопный состав эвапоритов. Изотопный состав подземных вод областей современного вулканизма. Изотопные геотермометры.

3. Изотопная систематика углерода. Основные резервуары углерода. Углерод в современной биосфере, гидросфере и осадках. Изотопное фракционирование углерода при фотосинтезе. C3 и C4 типы фотосинтеза. Распределение $\delta^{13}\text{C}$ в природных водах. Применение изотопов углерода в гидротермальных системах. Причины колебаний изотопного состава и температуры палеоокеана. Изотопы азота. Фракционирование. Цикл азота в биосфере. Изотопные сдвиги при фиксации и ассимиляции азота, нитрификации и денитрификации. Палеодиета, трофические ступени и пищевые цепи. Источники азота в водных растворах. Изотопы серы. Фракционирование. Сера в современных осадках и нефтях. Применение. Изотопы бора. Изотопный состав бора в минеральных водах и грязевых вулканах.

Раздел 3. Основные характеристики и особенности радиогенных изотопов.

Раздел 4. Основные характеристики и особенности радиоактивных изотопов. Методы датирования подземных вод.

4. Принципы изотопной геохронологии. Явление радиоактивности, закон радиоактивного распада, цепи деления ядер, основные уравнения. Модели расчета периода водообмена. Критерии надежности изотопного датирования. Нарушение замкнутости изотопной системы, «омоложенные» возрасты, сравнение возрастов, полученных разными методами. Тритиевое датирование. Тритиевый мониторинг природных вод России: особенности распределения в поверхностных водах; тритий в морях России; тритий в природных водах в зонах радиационно-опасных объектов. Тритий-гелиевая система. Использование изотопов хлора и радиоуглерода для датирования подземных вод. Основы радиоуглеродного датирования. Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура.

Возможности и ограничения. Изотопы кремния-32, аргона-39 и их применение в гидрогеологии. Изотопы инертных газов (гелий, неон, аргон, ксенон). Гелиевое датирование. Гелий-неоновая система в подземных водах.

Содержание семинарских занятий

Основная часть отведенного времени посвящается решению прикладных задач по определению генезиса природных вод и сопутствующих (растворенных) газов, расчету периода водообмена подземных вод, выяснению процессов разделения стабильных изотопов кислорода и водорода в условиях подземной циркуляции вод, которые позволяют студентам приобрести практические навыки обработки данных по изотопии природных вод.

- Геохимия стабильных изотопов кислорода и водорода. Глобальная линия метеорных вод. Формирование изотопного состава атмосферы (континентальный, широтный эффекты, сезонные вариации, высотный эффект). Формирование изотопного состава рек и озер. Изотопный состав подземных вод. Выявление областей питания подземных вод.

- Применения изотопных данных $\delta^{18}\text{O}$ и δD при выявлении взаимосвязи водоносных горизонтов, смешение вод. Изотопный состав подземных вод артезианских бассейнов. Изотопный состав подземных вод областей современного вулканизма. Применение изотопных геотермометров.

- Геохимия стабильного изотопа углерода. Основные резервуары $\delta^{13}\text{C}$ в современной биосфере, гидросфере и осадках. Изотопное фракционирование $\delta^{13}\text{C}$ при фотосинтезе. C3 и C4 типы фотосинтеза. Распределение $\delta^{13}\text{C}$ в природных водах. Применение изотопов ^{13}C -углерода в гидротермальных системах. Генезис карбонатов в природных водных системах: $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$. Источники углекислого газа в минеральных водах горноскладчатых областей. Содовые воды Кузбасса.

- Применение стабильных изотопов азота в гидрогеологических и геоэкологических исследованиях. Цикл азота в биосфере. Изотопные сдвиги при фиксации и ассимиляции азота, нитрификации и денитрификации. Фракционирование. Источники азота в водных растворах.

- Применение стабильных изотопов серы. Цикл серы в гидросфере и биосфере. Фракционирование. Сера в современных осадках и нефтях. Методы измерения и используемые стандарты. Подготовка водных проб для анализа.

- Изотопы стронция. Понятие начального или первичного изотопного отношения, причины вариаций начальных изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Радиогенные изотопы в метеоритах, начальный изотопный состав Земли. Особенности геохимии радиогенных изотопов коры континентального типа, океанической коры, мантии, понятие обогащенного и истощенного источников. Изотопный состав стронция при круговороте в гидросфере.

- Изотопы элементов уран-ториевого ряда в природных водах. Определение возраста подземных вод. Изотопы радиогенных элементов как индикаторы гидрогеологических процессов.

- Принципы изотопной геохронологии. Явление радиоактивности, закон радиоактивного распада, цепи деления ядер, основные уравнения. Модели расчета периода водообмена. Критерии надежности изотопного датирования. Нарушение замкнутости изотопной системы, «омоложенные» возрасты, сравнение возрастов, полученных разными методами.

- Тритиевое датирование. Тритиевый мониторинг природных вод России: особенности распределения в поверхностных водах; тритий в морях России; тритий в природных водах в зонах радиационно-опасных объектов. Тритий-гелиевая система.
- Использование изотопов хлора и радиоуглерода для датирования подземных вод. Основы радиоуглеродного датирования. Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения. Изотопы кремния-32, аргона-39 и их применение в гидрогеологии. Изотопы инертных газов (гелий, неон, аргон, ксенон). Гелиевое датирование. Гелий-неоновая система в подземных водах.

Рекомендуемые образовательные технологии

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных и интерактивных технологий;
- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Internet-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
- закрепление теоретического материала при проведении семинарских работ с использованием картографического и наглядного материалов, атласов, специальной литературы, выполнение проблемно-ориентированных индивидуальных заданий.

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

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

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные работы

Типовые упражнения и расчетные задания

1. Построить глобальную линию метеорных вод в координатах бинарной диаграммы $\delta^{18}\text{O}$ и δD . Нанести данных природных объектов на эту диаграмму, рассчитать локальную линию метеорных вод и выявить условия формирования исследуемых вод.
2. На основе данных для конкретных объектов рассчитать влияние высотного эффекта на изотопный состав осадков ($\delta^{18}\text{O}$ и δD). Определить возможные места питания подземных вод. Построить схему формирования вод.
3. Определить генезис карбонатных, сульфатных (сульфидных) и азотсодержащих фаз на основе представленных данных по изотопному составу C, N и S.
4. Рассчитать «возраст» подземных вод применяя различные радиоактивные и радиогенные изотопы и модели расчета периода водообмена. Сравнение возрастов, полученных разными методами.

Рекомендуемые темы докладов, рефератов

1. Гидрогеохронология. Возраст подземных вод и период водообмена. Типы трассеров, используемых для определения возраста подземных вод.
2. Применение стабильных изотопов Li^6 и Li^7 в гидрогеологии.
3. Стабильные изотопы бора и их использование в гидрогеологии.
4. Гидродинамические модели неглубоких комплексов подземных вод на основе изотопного анализа

5. Стабильные изотопы брома $\delta^{81}\text{Br}$ и хлора $\delta^{37}\text{Cl}$ в подземных водах и их применение.
6. Датирование подземных вод при помощи ^{40}Ar . Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения.
7. Датирование подземных вод при помощи ^{32}Si и ^{39}Ar . Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения.
8. Применение изотопов элементов уран-ториевого ряда для определения возраста подземных вод.
9. Датирование «старых» подземных вод при помощи ^{81}Kr . Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения.
10. Влияние гидродинамических эффектов и гетерогенности среды на возраст воды, определенный по ^{14}C .

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

Перечень вопросов для текущего контроля успеваемости и

1. Понятие об изотопных системах. Классификация изотопов и их фракционирование (равновесное и кинетическое). Масштабы природных вариаций стабильных изотопов легких элементов в природных резервуарах.
2. Распространенность, особенности поведения и способы измерения изотопного состава разных элементов в природных объектах. Методы измерения и используемые стандарты.
3. Принципы изотопного анализа O, C, H, S, N. Методы подготовки проб для изотопного анализа легких элементов. Изотопный анализ воды и карбонатов. Принципы изотопной масс-спектрометрии. Рабочий эталон и международная шкала для выражения изотопного состава элементов.
4. Изотопы углерода, азота, серы в экосистемах. Обзор природных вариаций изотопов лития, бора, хлора.
5. Изотопы кислорода и водорода. Эффект испарения и вертикальный водообмен. Формирование изотопного состава атмосферы. Сезонные вариации. Изотопный состав атмосферных осадков как функция высоты. Эволюция изотопного состава атмосферных осадков во времени.
6. Изотопный состав поверхностных вод континентов. Формирование изотопного состава рек и озер. Изотопный состав подземных вод. Установление областей питания подземных вод. Взаимосвязь водоносных горизонтов. Смешение.
7. Изотопный состав подземных вод артезианских бассейнов. Изотопный состав осадочных пород и поровых вод. Изотопный состав эвапоритов. Изотопный состав подземных вод областей современного вулканизма. Изотопные геотермометры.
8. Изотопная систематика углерода. Основные резервуары углерода. Углерод в современной биосфере, гидросфере и осадках. Изотопное фракционирование углерода при фотосинтезе.
9. Распределение $\delta^{13}\text{C}$ в природных водах. Применение изотопов углерода в гидротермальных системах. Причины колебаний изотопного состава и температуры палеоокеана.
10. Изотопы азота. Фракционирование. Цикл азота в биосфере. Изотопные сдвиги при фиксации и ассимиляции азота, нитрификации и денитрификации. Палеодиета, трофические ступени и пищевые цепи. Источники азота в водных растворах.
11. Изотопы серы. Фракционирование. Сера в современных осадках и нефтях.

Применение.

12. Изотопы бора. Изотопный состав бора в минеральных водах и грязевых вулканах.
13. Принципы изотопной геохронологии. Явление радиоактивности, закон радиоактивного распада, цепи деления ядер, основные уравнения. Модели расчета периода водообмена. Критерии надежности изотопного датирования.
14. Нарушение замкнутости изотопной системы, «омоложенные» возрасты, сравнение возрастов, полученных разными методами.
15. Тритиевое датирование. Тритиевый мониторинг природных вод России: особенности распределения в поверхностных водах; тритий в морях России; тритий в природных водах в зонах радиационно-опасных объектов. Тритий-гелиевая система.
16. Использование изотопов хлора и радиоуглерода для датирования подземных вод. Основы радиоуглеродного датирования. Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения.
17. Изотопы кремния-32, аргона-39 и их применение в гидрогеологии. Изотопы инертных газов (гелий, неон, аргон, ксенон). Гелиевое датирование. Гелий-неоновая система в подземных водах.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации

1. Изотопные системы. Классификация изотопов и их фракционирование. Природные вариации стабильных изотопов легких элементов в природных резервуарах.
2. Распространенность, особенности поведения и способы измерения изотопного состава разных элементов в природных объектах. Методы измерения и используемые стандарты.
3. Принципы изотопного анализа O, C, H, S, N. Методы измерения и используемые стандарты.
4. Методы подготовки проб для изотопного анализа легких элементов. Изотопный анализ воды и карбонатов. Рабочий эталон и международная шкала для выражения изотопного состава элементов.
5. Изотопы углерода, азота, серы в экосистемах. Обзор природных вариаций изотопов лития, бора, хлора.
6. Изотопы кислорода и водорода. Эффект испарения и вертикальный водообмен. Формирование изотопного состава атмосферы.
7. Изотопы кислорода и водорода. Сезонные вариации. Изотопный состав атмосферных осадков как функция высоты. Эволюция изотопного состава атмосферных осадков во времени.
8. Изотопный состав поверхностных вод континентов. Формирование изотопного состава рек и озер.
9. Изотопный состав подземных вод. Установление областей питания подземных вод. Взаимосвязь водоносных горизонтов. Смешение.
10. Изотопный состав подземных вод артезианских бассейнов. Изотопный состав осадочных пород и поровых вод. Изотопный состав эвапоритов.
11. Изотопный состав подземных вод областей современного вулканизма. Изотопные геотермометры.
12. Изотопная систематика углерода. Основные резервуары углерода. Углерод в современной биосфере, гидросфере и осадках. Изотопное фракционирование углерода при фотосинтезе.

13. Распределение $\delta^{13}\text{C}$ в природных водах. Применение изотопов углерода в гидротермальных системах. Причины колебаний изотопного состава и температуры палеоокеана.
14. Изотопы азота. Фракционирование. Цикл азота в биосфере. Изотопные сдвиги при фиксации и ассимиляции азота, нитрификации и денитрификации. Палеодиета, трофические ступени и пищевые цепи. Источники азота в водных растворах.
15. Изотопы серы. Фракционирование. Сера в современных осадках и нефтях. Применение.
16. Изотопы бора. Изотопный состав бора в минеральных водах и грязевых вулканах.
17. Принципы изотопной геохронологии. Явление радиоактивности, закон радиоактивного распада, цепи деления ядер, основные уравнения. Модели расчета периода водообмена. Критерии надежности изотопного датирования.
18. Нарушение замкнутости изотопной системы, «омоложенные» возрасты, сравнение возрастов, полученных разными методами.
19. Тритиевое датирование. Тритиевый мониторинг природных вод России: особенности распределения в поверхностных водах; тритий в морях России; тритий в природных водах в зонах радиационно-опасных объектов. Тритий-гелиевая система.
20. Использование изотопов хлора и радиоуглерода для датирования подземных вод. Основы радиоуглеродного датирования. Методика исследований, подготовка проб для изотопного анализа и применяемая аппаратура. Возможности и ограничения.
21. Изотопы кремния-32, аргона-39 и их применение в гидрогеологии. Изотопы инертных газов (гелий, неон, аргон, ксенон). Гелиевое датирование. Гелий-неоновая система в подземных водах.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты обучения	«Незачет»	«Зачет»
<u>Знания:</u> о месте изотопной геохимии (гидрогеологии) в системе геологических наук; об эволюции изотопных систем в природных объектах; возможности получения достоверной информации о характере природных процессов на основании изотопных данных; возможности и ограничения изотопно-геохимического исследования природных вод, компонентов водной системы, минералов и пород, особенности аппаратуры и методических подходов, применяемых для изучения изотопных систем.	Фрагментарные знания	Общие достаточно структурированные знания
<u>Умения:</u> определять возможные направления изучения конкретных объектов методами изотопной гидрогеологии; оценивать достоверность аналитических данных; анализировать и интерпретировать полученную информацию; излагать в устной и письменной форме результаты своего исследования и аргументировано отстаивать свою точку зрения	не систематическое умение, допускает принципиальные ошибки	В целом успешное умение владения современными методами опробования и анализа

в дискуссии.		природных вод
<u>Владения:</u> методами обработки, анализа и синтеза полевой, а также лабораторной гидрохимической и изотопной информации; выявлять генезис основных типов вод и основных компонентов природных вод; датировать воды методом изотопной геохронологии; владеть методами графической интерпретации изотопных данных, основными расчетными методами (простая модель, дисперсионная модель, модель полного перемешивания (экспотенциальная модель) и т.д.).	Фрагментарное владение приемами и методами	В целом навыки сформированы

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы

- основная литература:

1. Claude J. Allegre. Isotope Geology. 2008. Cambridge University Press. 512 p.
2. Г.Фор. Основы Изотопной Геологии. 1998. Москва. Мир. 590 с.
3. В.И.Ферронский, В.А.Поляков. Изотопия Гидросферы земли. 2009. Москва. Научный мир. 632 с.
4. Isotope methods for dating old groundwater : — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2013.

- дополнительная литература:

1. В.Н.Сойфер, В.А.Горячев, С.М.Вакуловский, И.Ю. Катрич. Тритиевые Исследования Природных Вод в России. 2008. Москва. Геос. 286 с.
2. Jochen Hoefs. Stable Isotope Geochemistry. 2009. Springer. 285 p.
3. Robert E. Criss. Principles of Stable Isotopes Distribution. 1999. Oxford University Press. 265 p.
4. Isotope tracers in catchment hydrology. Ed. Carol Kendall. 1998. Elsevier. 847 p.
5. Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and applications. Groundwater. Saturated and unsaturated zone. Ed. W.G. Mook. v. IV. 2000. UNESCO/IAEA Series. 200 p.
6. Isotopes in the Water Cycle Past, Present and Future of a Developing Science. Eds. Pradeep K. Aggarwal, Joel R. Gat, Klaus F.O. Froehlich. 2005. Springer. 377 p.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения

программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется);

В) Интернет-ресурсы

Костицын Ю.А. Геохимия изотопов и геохронология. Курс лекций. - <http://wiki.web.ru/wiki>
Титаева Н.А. Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra). - [http:// geo.web.ru.db/msg.html?mid=1171496](http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1171496)

Официальный

сайт

МАГАТЭ

[https://www-](https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/Serial_Publications)

[pub.iaea.org/books/IAEABooks/Serial_Publications](https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/Serial_Publications)

Г) Материально-техническое обеспечение: помещения – аудитория, рассчитанная на

группу из 15 учащихся; оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет;

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель: Харитонова Н.А.

11. Автор программы: Харитонова Н.А.