

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан географического факультета,  
академик РАН Добролюбов С.А.

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Изотопные методы в почвенно-геохимических исследованиях**

**Уровень высшего образования:**  
*магистратура*

---

**Направление подготовки:**  
**ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОПОПОЛЬЗОВАНИЕ**  
**05.04.06 "Экология и природопользование"**

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**«Геохимия окружающей среды»**

---

**Форма обучения:**  
**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
*Учебно-методической комиссией географического факультета*  
(протокол №21, дата 30.09.2023)

Москва 2023

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 «Экология и природопользование» (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от 30 декабря 2020 года (протокол №1368).

Год приема на обучение: 2023

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
*Программа не может быть использована без разрешения факультета.*

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП: относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: дисциплина читается в 1 семестре 1 года обучения в магистратуре. Учебный курс опирается на знания, полученные в бакалавриате по дисциплинам «Геохимия ландшафта», «Геохимия природных и техногенных ландшафтов», «Аналитические методы контроля окружающей среды».

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

<b>Компетенции выпускников (коды)</b>	<b>Индикаторы (показатели) достижения компетенций</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями</b>
МПК-4 (формируется частично). Владеет методологическими и методическими подходами к оценке состояния окружающей среды, знает основы экологического менеджмента и аудита, умеет проводить оценку и прогноз состояния экосистем, находящихся в сфере техногенного воздействия, оценку влияния качества среды на здоровье населения	Владеет методологическими и методическими подходами к проведению изотопного и радиоуглеродного анализа, знает основы изотопных исследований атмосферы, гидросферы, криосферы и педосферы, умеет проводить оценку изотопных данных в палеоклиматическом аспекте.	<b>Знать:</b> – современные теоретические основы изотопного и радиоуглеродного анализа; – современные подходы к изотопным исследованиям атмосферы, гидросферы, криосферы и педосферы. <b>Уметь</b> – решать научно-исследовательские и практические изотопно-палеоклиматические проблемы. <b>Владеть</b> – навыками анализа изотопных данных для оценки глобальных изменений окружающей среды, в том числе климатических.

4. Объем дисциплины (модуля) 3 з.е., в том числе 36 академических часов на контактную работу обучающихся (12 часов – лекции, 24 часа – семинарские занятия) с преподавателем, 72 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических 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							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Всего
<b>Тема 1.</b> Стабильные изотопы кислорода, водорода в атмосфере и гидросфере – термины и определения	10	1	3			4	6		6
<b>Тема 2.</b> Корреляция содержания стабильных изотопов кислорода и водорода с температурами.	10	1	3			4	6		6
<b>Тема 3.</b> Изотопные исследования ледников и подземных льдов	10	1	3			4	6		6
<b>Тема 4.</b> Изотопные исследования подземных льдов	10	1	3			4	6		6

<b>Тема 5.</b> Использование радиоуглеродного датирования для хронологических реконструкций	14	2	2			<b>4</b>	10		<b>10</b>	
<b>Тема 6.</b> Использование изотопного метода для палеоклиматических построений	14	2	2			<b>4</b>	10		<b>10</b>	
<b>Тема 7.</b> Изотопные исследования кислорода педогенных карбонатов	12	1	3			<b>4</b>	8		<b>8</b>	
<b>Тема 8.</b> Изотопные исследования углерода педогенных карбонатов	12	1	3			<b>4</b>	8		<b>8</b>	
<b>Тема 9.</b> Изотопный состав углерода почвенного органического вещества	12	2	2			<b>4</b>	8		<b>8</b>	
<b>Промежуточная аттестация зачет</b>	<b>4</b>	<i>Устный зачет</i>					<b>4</b>			
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>36</b>					<b>72</b>			

## Содержание лекций, семинаров

### *Содержание лекций*

#### **Тема 1. Стабильные изотопы кислорода, водорода в атмосфере и гидросфере – термины и определения.**

История изотопных исследований. Методы, приборы и стандарты. Формирование изотопного состава атмосферных осадков. Измерения изотопного состава атмосферных осадков по сети метеорологических станций ВМО/МАГАТЭ: атмосферных осадков (программа GNIP), речных вод (программа GNIR), водяного пара в биосфере и атмосфере (программа MIBA, в подземных водах, озерах, ручьях (программа IGLASS)).

Глобальная линия метеорных (атмосферных) вод и вариации дейтериевого эксцесса в атмосферных осадках. Временная и пространственная изменчивость изотопного состава атмосферных осадков. Сезонность вариаций изотопного состава атмосферных осадков. Широтный, континентальный, высотный и количественный изотопные эффекты в распределении атмосферных осадков, вод рек, озёр и т.п. Изотопные исследования рек: крупных, небольших рек и ручьев. Изотопные исследования речных льдов  
Изотопные исследования морей, эстуариев и водохранилищ. Изотопное обогащение воды озер при испарении. Изотопные исследования термальных подземных вод

#### **Тема 2. Корреляция содержания стабильных изотопов кислорода и водорода с температурами.**

Взаимосвязь изотопного состава атмосферных осадков с температурой.

Уравнения глобальной взаимосвязи изотопного состава атмосферных осадков с температурой воздуха (В.Дансгора и др.).

Уравнения локальной взаимосвязи изотопного состава атмосферных осадков с температурой воздуха.

Уравнения взаимосвязи изотопного состава морских карбонатов осадков с температурой воды (Г.Юри-С.Эпстайна и др.).

Уравнения взаимосвязи изотопного состава повторно-жильных льдов с зимней температурой воздуха (Ю.К.Васильчука).

### **Тема 3. Изотопные исследования ледников**

Изотопные исследования льда Антарктиды: керны Бэрд, Восток, EPICA, купол С.

Изотопные исследования льда Гренландии: керны Кемп-Сенчури, GRIP, GISP, NorthGRIP.

### **Тема 4. Изотопные исследования подземных льдов.**

4.1. Плейстоценовых полигонально-жильных комплексов, Сеяхинского, Дуванный Яр, Батагайского

4.2. Голоценовых полигонально-жильных комплексов Сеяха и Щучья, Мерзлый Яр, Чара

### **Тема 5. Использование радиоуглеродного датирования для хронологических реконструкций.**

Основы геохимии радиоактивного изотопа углерода (исследования У.Либби). Теория и техника измерений радиоуглеродного возраста.

Определение возраста по измерению радиоактивности углерода. Определение возраста методом ускорительной масс-спектрометрии.

Образцы, используемые для датирования, их объём, подготовка к анализу, возрастные пределы датирования. Стратегия использования данных радиоуглеродных анализов в разных природных объектах. Контаминация древним и молодым радиоуглеродом.

### **Тема 6. Использование изотопного метода для палеоклиматических построений.**

6.1. Морские фораминиферовые колонки и палеотемпературные диаграммы.

6.2. Подземные льды: Западная Сибирь, Якутия

6.3. Наземные льды: Гренландия, Антарктида

### **Тема 7. Изотопные исследования кислорода педогенных карбонатов.**

7.1. Зависимость изотопного состава кислорода карбонатов от температуры.

7.2. Эмпирическое уравнение Церлинга и Куэйда, уравнение Дворкина.

### **Тема 8. Изотопные исследования углерода педогенных карбонатов.**

8.1. Факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода педогенных карбонатов.

8.2. Концепция «палеобарометра» Церлинга.

8.2. Изотопный состав углерода растительности  $C_3$ ,  $C_4$ , САМ. Возможности использования изотопных методов в реконструкции палеодиет.

## **Тема 9. Изотопный состав углерода почвенного органического вещества.**

9.1. Формула для вычисления доли  $C_3$  растительности по изотопному составу почвенной органики.

9.2. Изотопное фракционирование углерода почв относительно углекислого газа атмосферного воздуха.

### *План проведения семинаров*

Перевести с английского языка 1 статью из рецензируемого журнала, подготовить презентацию и доложить на семинаре.

### *Темы семинаров*

1. Методы, приборы и стандарты в изотопных исследованиях.
2. Стабильные изотопы кислорода, водорода, углерода и азота в атмосфере, гидросфере, педосфере
3. Корреляция содержания стабильных изотопов кислорода и водорода с температурами: уравнение Юри-Эпстайна, уравнения Дансгора, уравнения Васильчука
4. Изотопные исследования атмосферных осадков, воды рек, озер, морей
5. Изотопные исследования плейстоценовых и голоценовых полигонально-жильных комплексов
6. Изотопные исследования кислорода педогенных карбонатов.
7. Изотопные исследования углерода педогенных карбонатов.
8. Изотопный состав углерода растительности  $C_3$ ,  $C_4$ , САМ
9. Изотопный состав углерода почвенного органического вещества.
10. Обсуждение новейших англоязычных статей, содержащих исследования педогенных карбонатов, почвенного органического вещества и др.

### **7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):**

Текущие аттестации проходят в форме докладов по тексту научных статей с презентациями.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – устный зачет.

Примерный перечень вопросов к зачету:

1. История открытия и изучения стабильных и радиоактивных изотопов
2. Количественный эффект в атмосферных осадках
3. Изотопные вариации в крупных реках
4. Зависимость изотопного состава кислорода карбонатов от температуры.
5. Эмпирическое уравнение Церлинга и Куэйда.
6. Основы геохимии стабильных изотопов. Стабильные изотопы кислорода и водорода, распространение в разных объектах.
7. Программа GNIP МАГАТЭ по атмосферным осадкам.
8. Глобальные наблюдения на сети станций ВМО/МАГАТЭ
9. Широкий и континентальный эффект в атмосферных осадках.
10. Факторы, определяющие формирование изотопного состава кислорода педогенных карбонатов.
11. Теория и техника масс-спектрометрических исследований стабильных изотопов. Схема масс-спектрометра А.Нира. Методы лабораторных измерений.
12. Изотопно-температурная зависимость по осадкам и ледникам В.Дансгора
13. Дейтериевый эксцесс, что это, как рассчитать.
14. Уравнение Дворкина.
15. Вариации изотопного состава атмосферных осадков при переносе влаги от Атлантики на восток.
16. Программа GNIP МАГАТЭ по речным водам
17. Изотопные вариации в морях
18. Факторы, определяющие формирование изотопного состава углерода педогенных карбонатов. Концепция «палеобарометра» Церлинга.
19. Высотный эффект в атмосферных осадках
20. Изотопно-температурная зависимость по жилам Ю.К.Васильчука
21. Изотопный состав углерода растительности C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, САМ.
22. Процессы и химические соединения, влияющие на изотопное фракционирование углерода в растениях.
23. Работы Астона - вклад в изотопные исследования, три поколения масс-спектрографа с
24. Тренд изотопного состава снежных осадков на Северо-Востоке Европейской части России
25. Применение стабильных изотопов для исследования палеоклиматических условий развития фораминифер, изотопные стадии MIS Ч.Эмилиани
26. Изотопный состав углерода почвенного органического вещества.



27. Формула для вычисления доли  $C_3$  растительности по изотопному составу почвенной органики.
28. Глобальная линия метеорных (атмосферных) вод Х.Крейга
29. Измерения радиоуглеродного возраста У.Либби.
30. Изотопно-карбонатная шкала по морским моллюскам Эпстайна-Юри,
31. Изотопное фракционирование углерода почв относительно углекислого газа атмосферного воздуха.
32. Стабильные изотопы кислорода, водорода, углерода, азота - процентное соотношение.
33. Работы Резерфорда, Содди, Юри - вклад в изотопные исследования с.
34. Формирование изотопного состава осадков. Изотопное фракционирование. Равновесные условия.
35. Возможности использования изотопных методов в реконструкции палеодиет

### Шкала и критерии оценивания

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

### 8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

#### А) Основная литература

Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геохронологии и гляциологии. Учебник. М., Изд-во Моск. ун-та. 2000. – 616 с.  
Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Чинова Ю.Н. Изотопные методы в географии. Часть 3: Геохимия стабильных изотопов атмосферы и гидросферы. – Учебное пособие – М.: Географический факультет МГУ. 2013. – 216 с.

### **Б) Дополнительная литература**

Боуэн Д.К. Четвертичная геология: Стратиграфическая основа междисциплинарных исследований. Москва: Издательство «Мир»: Редакция литературы по геологии, 1981. – 278 с.  
Боуэн Р. Палеотемпературный анализ. 1969. – 208 с.  
Хёфс Р. Геохимия стабильных изотопов. 1986. – 200 с.  
Котляков В.М., Гордиенко Ф.Г. Изотопная и геохимическая гляциология. Л.: Гидрометеиздат. 1982. – 288 с.  
Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир. 2009. – 632 с.  
Васильчук Ю.К. Повторно-жильные льды; гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность Изд-во Моск. ун-та. М. 2006. – 404 с.  
Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Изотопные методы в географии. Часть 1: Геохимия стабильных изотопов природных льдов. – Учебное пособие – М.: Издательство Московского университета, 2011. – 228 с.  
Васильчук Ю.К. Изотопные методы в географии. Часть 2: Геохимия стабильных изотопов ледовых льдов. Том I. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 472 с.

- Перечень лицензионного программного обеспечения  
текстовый редактор (MSWord, OpenOfficeWriter или аналоги);  
редактор таблиц и диаграмм (MS Excel, OpenOfficeCalc или аналоги);  
редактор презентаций (MS PowerPoint, OpenOffice Impress или аналоги);  
интернет-браузер (MS Edge, GoogleChrome или аналоги);  
геоинформационная система (Qgis или аналоги).
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем  
Агентство по защите окружающей среды США <https://www.epa.gov/>  
репозиторий PANGAEA <https://www.pangaea.de/>

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)  
поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)  
электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)
- Описание материально-технической базы:  
Учебная аудитория с мультимедийным проектором  
чистая комната с масс-спектрометром Delta V в гидрокорпусе для проведения практических занятий по ознакомлению студентов с методами лабораторных измерений изотопного состава.  
Иные материалы:
  - PDF копии основных рекомендованных учебников и монографий.
  - PDF копии новейших англоязычных статей из журналов текущего года

9. Язык преподавания: русский.

10. Преподаватели: проф. Ю.К. Васильчук, м.н.с. Д.Ю. Васильчук

11. Разработчик программы: Васильчук Юрий Кириллович – профессор кафедры геохимии ландшафтов и географии почв