

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

УТВЕРЖДАЮ  
И.О. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_/Н.Н.Еремин/  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Аэрогеофизика**

**Airborne geophysics**

Авторы-составители: Керцман В.М., Попов М.Г.

**Уровень высшего образования:**  
*Бакалавриат*

**Направление подготовки:**  
**05.03.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**Геофизика**

Форма обучения:  
*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета  
(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва 2022

---

Рабочая программа дисциплины 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*). ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от \_\_\_\_ 2022 года (протокол №\_\_).

Год приема на обучение: 2022

© 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

**Цель** дисциплины «Аэрогеофизика» состоит в ознакомлении обучающихся с современными методами и особенностями различных аэронаблюдений: аэромагнитная, аэрогамма-спектрометрическая, аэроэлектроразведочная и тепловая инфракрасная съемки.

**Задачи** дисциплины «Аэрогеофизика» состоят в получении учащимися понимания преимуществ и возможностей каждого метода геофизических аэросъемок на примере практического решения различных геологических задач. В данной дисциплине рассматриваются вопросы аппаратуры, методики и основных методов обработки полевого материала и интерпретации данных аэромагнитометрии, аэрогамма-спектрометрии, аэроэлектроразведки, аэрогравиметрии и аэротепловой инфракрасной съемки.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В дисциплине «Аэрогеофизика» приводятся основные сведения об аппаратуре, методике, методах первичной обработки полевого материала и приемах интерпретации различных видах аэронаблюдений: аэромагнитная, аэрогамма-спектрометрическая, аэроэлектроразведочная и тепловая инфракрасная съемки. Анализируются преимущество и возможности каждого аэрометода разведочной геофизики при решении различных геологических задач.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный блок, дисциплина по выбору – подплан «Малоглубинная и глубинная геофизика», курс – IV, семестр – 8.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Гравиразведка», «Магниторазведка», «Электроразведка», «Сейсморазведка», «Термометрия и петротермальная геофизика», «Ядерная геофизика», «Геофизические методы исследования скважин», «Общая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых», «Геология нефти и газа», «Гидрогеология, инженерная геология и геокриология», «Литология» и др.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
<b>ОПК-3.Б</b> Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).	<b>Б.ОПК-3. И-1.</b> Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности. <b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<b>Знать:</b> виды и особенности топопривязки аэрогеофизических наблюдений, основные виды аэрогеофизических наблюдений. <b>Уметь:</b> определить оптимальный комплекс аэрогеофизических методов при решении разных геологических задач, задать оптимальную систему аэрогеофизических наблюдений.
<b>ОПК-6.Б</b> Способен использовать профессиональной	<b>Б.ОПК-6. И-1.</b> Использует знания информационно-коммуникационных технологий для решения	<b>Владеть:</b> методикой аэрогеофизических наблюдений (магнитная и гравиметрическая, тепловая инфракрасная, аэрогамма-

<p>деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии (формируется частично).</p>	<p>стандартных задач профессиональной деятельности.  <b>Б.ОПК-6. И-2.</b> Пользуется стандартными программными продуктами в области ГИС-технологий для обработки и визуализации геологических данных</p>	<p>спектрометрическая, электроразведочная (съемки), приемами качественной и первичной количественной интерпретации получаемых данных аэрогеофизических съемок.</p>
--	--	--

**4. Объем дисциплины** составляет **1** з.е. (36 часов), в том числе **22** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (11 часов лекций и 11 часов семинаров вместе), **14** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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

**6. Содержание дисциплины, 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,  Форма промежуточной аттестации по дисциплине	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 лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка контрольного опроса	Всего
Раздел 1. Навигационное обеспечение аэрогеофизических работ	2	1		1	2					
Раздел 2. Аэромагнитная съемка	6	2		2	4		2			2
Раздел 3. Аэрогамма-спектрометрическая съемка	6	2		2	4		2			2
Раздел 4. Аэроэлектроразведочные исследования	6	2		2	4		2			2
Раздел 5. Аэрогравиметрические работы	6	2		2	4		2			2
Раздел 6. Тепловая инфракрасная съемка	6	2		2	4		2			2
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>		<i>Зачет</i>				4				
<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>22</b>				<b>14</b>				

## Содержание лекций, семинаров

### Содержание лекций

#### Раздел 1. Навигационное обеспечение аэрогеофизических работ.

##### 1.1 Введение.

**Визуальная привязка** с опознаванием ориентиров по топографическим планшетам.

**Фотопривязка:** типы аэрофотоаппаратов, фокусное расстояние, область захвата с заданной высоты полета, составление фотопланов необходимого масштаба, количество опознанных фотоориентиров, необходимое для уверенной прокладки курса.

**Радиогеодезические системы.** Погрешности определения планового положения летательного аппарата.

##### 1.2 Современные методы привязки и активного вождения.

**Доплеровские системы.** Антенны и частоты (вычисление путевой скорости и угла сноса летательного аппарата). Гироскопические курсовые системы (данные о пространственной ориентации, т.е. курс, крен, тангаж). Суммирующий бортовой навигационный вычислитель для счисления пройденного пути в географической или прямоугольной системе координат.

##### Спутниковые навигационные системы.

Понятия о созвездиях спутников **GPS** и **ГЛОНАСС**. Возможности их совместного использования и режим дифференциальной коррекции. Реальная точность определения местоположения.

#### Раздел 2. Аэромагнитная съемка.

**Феррозондовые магнитометры.** Физические принципы работы, чувствительность, источники погрешностей, объем выполненных исследований.

**Современные протонные и квантовые магнитометры.** Физические принципы работы. Свободная прецессия протонов в магнитном поле Земли. Частота прецессии и гиромангнитное отношение. Максимальная разрешающая способность протонных магнитометров. Эффект Зеемана. Принцип оптической накачки. Понятия о метастабильных уровнях. Чувствительность квантовых магнитометров.

**Методика аэромагнитной съемки.** Цели и задачи съемки. Масштаб съемки. Требования к организации вариационной службы. Полевая обработка и увязка профилейных наблюдений. Построение цифровых сетей. Точность съемки.

**Интерпретация результатов.** Методы разделения полей. Спектральный анализ и методы особых точек. Региональные и поисковые работы. Выявление слабых локальных аномалий различного периода и генезиса в структурах осадочного чехла.

#### Раздел 3. Аэрогамма-спектрометрическая съемка.

**Взаимодействие гамма-излучения с веществом.** Физика взаимодействия и энергия получаемых гамма-квантов (фотоэффект, комптоновское рассеяние и эффект образования электронных пар).

**Радиоактивные элементы в земной коре.** Материнские и дочерние продукты. Период полураспада и элементы гамма-излучатели в рядах распада. «Кларковые» содержания РАЭ в земной коре. Понятие о радиоактивном равновесии и его нарушении. Спектр гамма-излучения семейств естественных РАЭ.

**Детекторы гамма-излучения и физические принципы их работы.** Газоразрядные, сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы. Эффективность и энергетическое разрешение различных типов детекторов. Зависимость разрешения от энергии излучения. Однократно и многократно рассеянные гамма-кванты. Превращение исходного линейчатого спектра в непрерывный. Понятие о **пике полного поглощения**. Типичные формы спектра природного гамма-излучения и способы восстановления интенсивности излучения естественных нуклидов.

**Методы обработки полевых наблюдений.** Живое время детектора. Влияние высоты полета. Концентрационная чувствительность. Влияние свободного радона и способы его учета. Зона обзора с высоты полета. Построение карт концентраций РАЭ и мощности дозы гамма-излучения.

**Интерпретация данных съемки.** Влияние ландшафтных факторов. Первичные и вторичные ореолы. Региональная и локальная радиогеохимическая зональность. Поиски радиоактивного сырья. Поиски нерадиоактивных полезных ископаемых и анализ корреляционных связей между РАЭ (редкие металлы и редкие земли, бокситы, золото, нефть и газ, коренные и россыпные месторождения алмазов).

**Радиозоологические исследования.** Искусственные радионуклиды как гамма-излучатели. Понятие о ядерном топливном цикле. Радиоактивное загрязнение местности в результате аварий (ЧАЭС), испытаний ядерного оружия, деятельности предприятий ЯТЦ.

#### **Раздел 4. Аэроэлектроразведочные исследования.**

**Физические основы метода.** Основные модификации аэроэлектроразведки. Временные и частотные способы возбуждения первичного поля. Различная геометрия измерительных установок (генератор и приемник в одной гондоле или разнесенные в пространстве системы).

**Методика съемки.** Применяемые частоты и измеряемые компоненты первичного и вторичного поля. Масштаб съемки. Связь частоты и глубины исследования для различных типов геоэлектрического разреза. Профильные данные, фильтрация помех, контроль за изменением и учетом реальной геометрии установки, построение первичных карт.

**Интерпретация результатов.** Построение различных почастотных карт сопротивлений и проводимости или карт комплексных параметров типа **S**-плоскости и **H**-ее эффективной глубины. Построение разрезов кажущихся сопротивлений по набору частот. Районирование полей по условиям ведения поиска на основе совместного анализа с картами рельефа и четвертичных отложений. Выявление локальных аномалий проводимости.

**Геологическое назначение.** Поиски высокопроводящих объектов различной природы: медно-никелевые руды, бокситы, кимберлиты. Картирование мощности рыхлых отложений и анализ их генезиса (карст, палеорельеф, сплошная и островная мерзлота, поиск зон трещиноватости).

#### **Раздел 5. Аэрогравиметрические работы.**

**Аппаратура.** Типы применяемых аэрогравиметров. Основные сложности аэрогравиметрии. Непериодические ускорения, связанные с эволюциями самолета. Гиросtabilизационные платформы.

**Методика съемки.** Способы учета пространственной ориентации самолета. Особенности технологии пилотирования. Частота регистрации, исключение случайных помех, базис накопления и осреднения сигнала. Требования к вариационной навигационной службе. Необходимая точность определения пространственного положения. Масштаб съемки. Основные территории для современной аэрогравиметрии. Опытные и производственные работы на территории России. Построение карт и предварительные результаты. Оценка точности съемки и сравнение с результатами предыдущих наземных работ аналогичного масштаба.

#### **Раздел 6. Тепловая инфракрасная съемка.**

**Физические основы метода.** Спектр инфракрасного излучения, окна прозрачности атмосферы. Дальний и ближний ИК-диапазоны. Понятие о радиационной температуре.

**Типы существующих тепловизоров.** Тепловизоры матричного принципа действия. Тепловизоры с использованием оптических головок. Вещество детекторов, системы охлаждения. Принцип сканирования местности.

**Методика съемки.** Высота полета и ширина захвата. Частота сканирования и пространственное разрешение. Температурное разрешение.

**Обработка материалов.** Влияние суточных вариаций температуры и увязка по вылетам. Превращение сканированных данных в масштабированное изображение. Построение карт теплового поля поверхности земли.

**Интерпретация результатов.** Поиск источников повышенных теплотерь в подземных теплотрассах. Разделение по степени риска (нормальные, аномальные и предаварийные участки). Учет теплопроводности вмещающих грунтов. Совместный анализ с материалами съемки в оптическом диапазоне. Поиск участков подтопления авто и железнодорожных путей. Поиск повреждений в магистральных газопроводах.

### **Содержание семинаров**

1. Сведения о моделях геоида и проекциях изображения карт. Преимущества и недостатки доплеровских и спутниковых систем.
2. Аэромагниторазведка. Ошибки привязки, как источник ложных аномалий. Аномалии над углеводородными залежами, бокситоперспективные участки, кимберлитоконтролирующие структуры и аномалии от кимберлитовых тел на уровне современного эрозионного среза и под слоем перекрывающих отложений.
3. Вариации естественного фонового гамма излучения горных пород в различных геологических условиях.
4. Особенности интерпретации аэроэлектроразведочных данных в условиях наклонных границ раздела сред с разной проводимостью. Контакты и узкие линейные зоны. Локальные субвертикальные проводники. Комплексная интерпретация с другими аэрогеофизическими методами.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при защите рефератов и при контрольных опросах.

#### **Примерный перечень вопросов (тестов) для проведения текущего контроля:**

1. Классификация методов аэрогеофизики.
2. Методы современного навигационного обеспечения аэрогеофизических съемок.
3. Технология аэромагниторазведки.
4. Технология аэрогравиразведки.
5. Технология аэроэлектроразведки.
6. Технология тепловой инфракрасной съемки.
7. Технология аэрогамма-спектрометрической съемки.
8. Условия применения аэрогеофизических методов.
9. Геологические задачи, решаемые с помощью аэрогеофизики.

#### **Примерные темы рефератов**

1. Классификация методов аэрогеофизики
2. Современные методы навигационного обеспечения аэрогеофизических съемок
3. Тепловая инфракрасная аэросъемка
4. Аэроэлектроразведка
5. Аэрогравиметрические съемки
6. Аномалии магнитного поля Земли и геология
7. Применение исследований магнитного поля Земли в археологии



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

### Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачете):

1. Топопривязка аэрогеофизических наблюдений.
2. Современные методы привязки и активного вождения летательных аппаратов, применяющиеся при аэрогеофизической съемки.
3. Спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС.
4. Типы современных аэромагнитометров.
5. Технология (особенности методики) аэромагнитной съемки.
6. Принципы интерпретации данных аэромагнитной съемки.
7. Области применения аэромагнитной съемки.
8. Детекторы гамма и гамма-спектрометрических излучений.
9. Технология и принципы интерпретации радиологических съемок.
10. Задачи гамма и гамма-спектрометрической аэросъемки.
11. Методы аэроэлектроразведки.
12. Методика разных вариантов аэроэлектроразведки.
13. Сущность интерпретации данных аэроэлектроразведки.
14. Особенности устройства аэрогравиметров.
15. Методика аэрогравиметрической съемки.
16. Приборы для инфракрасной съемки – тепловизоры.
17. Особенности технологии тепловой аэросъемки.
18. Значение комплексирования разных методов аэрогеофизики.

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

Оценка результатов обучения, <i>соответствующие виды оценочных средств</i>	<b>Незачет</b>	<b>Зачет</b>
<b>Знания</b> ( <i>устный опрос</i> )	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> ( <i>устный опрос</i> )	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 непринципиального характера)
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> ( <i>устный опрос</i> )	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:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература

1. Геофизика. Под ред. В.К.Хмелевского. М. КДУ. 2009, 2012, 2015. С.320.

2. Хмелевской В.К., Костицин В.И. Основы геофизических методов. Пермь. Изд-во ПГУ. 2010 С. 400.
3. Хмелевской В.К., Костицин В.И. Геофизика. Пермь. Изд-во ПГУ. 2018 С. 380.
4. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов, учебник, Москва 2012г.

#### **Д) Материально-техническое обеспечение**

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Аэрогеофизика» используются специализированная аудитория с ПК и компьютерным цифровым проектором, компьютерный класс отделения Геофизики и библиотека Геологического факультета МГУ.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватели:** Ответственный за курс — доц. Попов М.Г., преподаватели: в.н.с Керцман В.М., н.с. Мойланен Е.В.

**11. Разработчики программы** доц. Попов М.Г., в.н.с Керцман В.М.