

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖАЮ**

Проректор по учебной работе  
и организационным вопросам

**Н. Здрок**

« 31 » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Регистрационный № УД-8389/уч.

**ГЕОТЕРМИЯ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

**1-51 80 04 Геология**

**Профилизация: Общая и региональная геология**

2020 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-51 80 04-2019 и учебного плана УВО № I 51-026/уч. от 11.04.2019 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

В.И. Зуй, профессор кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук, профессор.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

С.И. Кузьмин, заведующий НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, кандидат географических наук;

Я.Г. Грибик, заведующий лабораторией геотектоники и геофизики Института регионального природопользования Национальной Академии наук Беларуси, кандидат геолого-минералогических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой региональной геологии БГУ  
(протокол № 10 от 29.05.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 17.06.2020 г.).

Заведующий кафедрой  
региональной геологии, доцент



Лукашѣв О.В.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Геотермия» разработана для учреждений высшего образования Республики Беларусь в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования второй ступени по специальности 1-51 80 04 «Геология».

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины – подготовить высококвалифицированных специалистов геологов в области геотермии:

- обладающих глубокими знаниями в области геологического картирования, поиска рудных и нерудных месторождений осадочного, магматического и метаморфического генезиса; владеющих современными научными представлениями о закономерностях фациально-формационных и геодинамических обстановок формирования осадочных, магматических и метаморфических комплексов, тепловых полей земных недр и месторождений полезных ископаемых, в частности – ресурсов геотермальной энергии; владеющих углубленными знаниями по общим и специальным вопросам геологии и геофизики.

- способных анализировать данные стратиграфии, тектоники, данные по составу осадочных, магматических и метаморфических пород, месторождений и проявлений полезных ископаемых и выявлять общую картину и общие закономерности исторического развития отдельных регионов; расшифровывать структуру тепловых полей, палеотектонических и геодинамических условий их формирования; составлять геолого-геофизические карты различного содержания с целью выявления условий формирования и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, в том числе – ресурсов подземного тепла.

- умеющих работать в современных условиях развития геологии: проводить региональные палеогеографические, палеотектонические и геодинамические реконструкции на основе результатов полевых наблюдений с использованием геофизических (геотермических, сейсмических, гравиметрических и других) методов.

В рамках поставленной цели **задачи учебной дисциплины** состоят в следующем:

1. изучение производственно-технической, научно-исследовательской и проектной деятельности в области создания новых проектов с использованием новейших достижений в области геотермии, геодинамики и минерации, инженерной геологии и геофизики, современных средств получения и обработки информации;

2. овладение приемами решения научно-исследовательских и прикладных задач, связанных с прогнозированием и поисками месторождений полезных ископаемых, использования ресурсов подземного тепла для теплоснабжения/выработки электроэнергии для объектов различного назначения;

3. формирование навыков поиска и анализа профильной научно-технической информации, необходимой для решения конкретных задач, в том числе при выполнении междисциплинарных проектов.

Дисциплина «Геотермия» – раздел геологии/геофизики, изучающий геотермическое поле отдельных участков земной коры: (складчатых систем, платформ или их крупных частей) методами геологии, геофизики, геологической съемки и бурения скважин.

Поиски месторождений полезных ископаемых – комплекс геолого-геофизических работ, направленных на выявление и перспективную оценку месторождений полезных ископаемых, в частности – ресурсов подземного тепла.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Геотермия» относится к модулю «Геофизические исследования» компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Учебная дисциплина «Геотермия» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин «Геофизические методы исследований», «Методика буровых работ», «Геотектоника».

Программа составлена с учетом межпредметных связей с учебными дисциплинами «Геофизические исследования скважин» и «Геодинамические исследования Припятского прогиба».

В результате освоения учебной дисциплины магистрант должен:

**знать:**

- современные проблемы геофизики/геотермии, основные достижения и ключевые теоретические разработки по различным направлениям геологических исследований;

- новейшие геолого-геофизические методы и технологии и их применение в решении различных геолого-геофизических задач;

- закономерности строения платформенного чехла и кристаллического фундамента, в том числе – на территории Беларуси;

- основные этапы развития земной коры и формирования месторождений полезных ископаемых, в частности – ресурсов геотермальной энергии;

- важнейшие проблемы и перспективы поисков месторождений подземного тепла;

- современную аппаратуру, используемую при выполнении геотермических исследований;

- методы обработки полевых и лабораторных геотермических данных;

**уметь:**

- использовать фундаментальные геолого-геофизические представления в сфере профессиональной деятельности;

- формулировать задачи научно-исследовательских работ, анализировать и систематизировать геолого-геофизическую информацию, данные по тепловым полям, делать выводы, формулировать заключения и рекомендации;

- выбирать оптимальные варианты решения теоретических и прикладных задач, генерировать новые идеи на основе ознакомления с результатами региональных геолого-геотермических исследований;

- прогнозировать развитие научных направлений в области региональной геотермии и поисков геотермических аномалий на основе анализа и критического осмысления результатов полевых и лабораторных исследований;

- аргументировать свою точку зрения на перспективы изучения земной коры геолого-геотермическими методами;

- представлять итоги проделанной научно-исследовательской работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати;

**владеть:**

- методами применяемыми при региональных геотермических исследованиях;

- методическими приемами оценки прогноза и поисков, прогнозноминерагенической оценки территорий, в том числе на ресурсы подземного тепла;

- методологией научных исследований.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Геотермия» должно обеспечить формирование следующих специализированных компетенций:

СК-8. Владеть методологией геотермических исследований, используемых при поисках, разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и организации геотермального энергоснабжения.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Геотермия» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 126 часов, в том числе 52 аудиторных часа, из них: лекции – 36 часов (в том числе 10ч/ДО), практические занятия – 6 ч/ДО, семинарские занятия – 10 часов (в том числе 4ч/ДО).

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине «Геотермия» – экзамен.

# **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

## **Тема 1. Введение в предмет**

Возникновение геотермии - науки о тепловом поле Земли и ее связь с другими геологическими науками. Цели и задачи курса «Геотермия», становление и развитие дисциплины. Этапы развития геотермических исследований в Российской империи, роль советских, отечественных и зарубежных ученых в развитии изучаемого предмета. Развитие геотермических исследований в Беларуси. Гелиотермозона и геотермозона. Понятие о геотермии, региональном геотермическом поле континентов и океанов, прикладных геотермических исследованиях на континентах, о генерации тепла в земных недрах, об аппаратурно-методическом обеспечении геотермических исследований в скважинах, морях и океанах.

## **Тема 2. Виды теплопередачи в земле. Основные геотермические параметры**

Составляющие внутренней энергии в горных породах. Механизмы теплопроводности. Кондуктивная передача тепла. Конвективный теплоперенос. Передача тепла излучением. Тепловые свойства горных пород (теплопроводность, объемная теплоемкость, температуропроводность) и единицы их измерения. Теплопроводность материалов при изменении температуры. Тепловые свойства осадочных горных пород и руд. Влияние литолого-минералогического состава горных пород на их тепловые коэффициенты. Термограммы скважин. Распределение температуры по глубине. Геотермический градиент и геотермическая ступень. Данные, получаемые из термограмм скважин. Тепловой поток и единицы его измерения.

## **Тема 3. Геотермические приборы и аппаратура для скважинных измерений**

Методы и аппаратура для измерений в скважинах. Типы скважинных термометров: «заленивленные», «максимальные», ртутные термометры и их недостатки; аналоговые термометры; промышленные цифровые термометры. Скважинные электротермометры, их термочувствительные элементы, погрешности измерения и чувствительность. Конструкции цифровых скважинных термометров для научных исследований и их градуировка. Терморезисторные термометры и их нелинейность, достоинства и ограничения. Требования к сопротивлению изоляции между жилами кабеля терморезисторного электротермометра. Скважинные электротермометры на основе металлических датчиков. Мостовая и потенциометрическая схемы скважинных измерений. Понятие о частотных кварцевых термометрах. Скважинные тепломеры, достоинства и недостатки, достоверность получаемых результатов.

#### **Тема 4. Методы и аппаратура для измерения тепловых свойств горных пород**

Методы установившегося (стационарного) и неуставившегося (нестационарного) теплового режима. Метод разделенного стержня, его принцип действия и возможности. Измеритель теплопроводности ИТ-3. Тепловой компаратор для измерения теплопроводности СибНИИ метрологии. Измеритель теплопроводности «Лямбда». В нестационарных методах используют процесс монотонного либо импульсного подведения тепла к испытываемому образцу горной породы и слежением за изменением его теплового режима. Измеритель теплопроводности ИТ-λ-400, принцип действия. Эталоны теплопроводности. Приборы для измерения коэффициентов температуропроводности и объемной теплоемкости. Зондовый нестационарный метод, разработанный Института физики Земли АН СССР и его реализация. Методы бесконтактного контроля тепловых свойств горных пород. Схема теплового воздействия движущимся точечным источником тепла на поверхность объекта. Бесконтактный метод оптического сканирования Ю.А. Попова для изучения тепловых свойств горных пород.

#### **Тема 5. Аппаратура для морских геотермических исследований**

Особенности геотермических исследований в акваториях озер, морей и океанов. Начало морского бурения. История развития морских геотермических исследований. Зонды для морских геотермических исследований. Первый электрический зонд для морских геотермических исследований Э. Булларда, А. Максвелла и К. Ревелла. Зонды Юинга и Листера. Первые геотермические зонды для морских и озерных исследований, разработанные в СССР. Геотермические зонд «ГЕОС-1» и «ГЕОС-2» и зонд компании «ЛЕНАРК». Их возможности и основные технические данные. Изучение теплового потока с подводных обитаемых аппаратов.

#### **Тема 6. Картирование геотермического поля**

Картирование параметров геотермического поля на примере территории Беларуси. Геологические структуры Беларуси. Глубокие осадочные бассейны и положительные структуры. Краткая история геотермических исследований в Беларуси. Геотермическая изученность Беларуси. Геотермическая изученность в Припятском прогибе. Изученные скважины геотермическим методом. Геотермические аномалии. Температура нейтрального слоя. Распределение температуры на глубине 100 и 300 м и геотемпературные аномалии. Геотермический градиент в интервале глубины 100–200; 200–300 и 300–400 м.

#### **Тема 7. Роль кондуктивного и конвективного теплопереноса в горных породах**

Вид термограмм при наличии конвективного теплопереноса. Отражение зон дренирования/отбора подземных вод на термограммах. Влияние вертикальной фильтрации подземных вод на форму термограмм и

геотермический градиент. Выстойка скважин и качество термограмм. Оценка времени выстойки скважины перед регистрацией надежной термограммы. Оценка по В. Е. Сальникову. Пример восстановления, нарушенного бурением распределения температуры (термограммы) по стволу скважины. Учет фильтрации в процессе конвективной передачи тепла. Дифференциальные уравнения процесса конвективного теплопереноса. Уравнения Н.А. Огильви при разных граничных условиях.

### **Тема 8. Региональная геотермия континентов**

Картирование теплового потока. Виды отображения теплового потока на картах. Отображение потока по градусной сетке трапеций на карте (метод «лоскутного одеяла»). Пример карты мирового кондуктивного теплового потока по трапециям  $5 \times 5^\circ$ . Способ вынесения на карту точек наблюдений потока без проведения изолиний. Интерактивная карта. Карты в изолиниях потока. Интервал между изолиниями (сечение изолиний). Учет независимой геологической информации: наличие пликативных и дизъюнктивных нарушений, проявление современного или палеовулканизма, гидротермальной деятельности и т. д. Сферический гармонический анализ и результаты распределения теплового потока. Региональные карты теплового потока.

Раздельный метод определения интервальных значений плотности теплового потока  $q = \lambda G$ . Рост измерений теплового потока на континентах.

### **Тема 9. Тепловое поле экзагональных депрессий восточно-европейской платформы**

Экзагональные депрессии ВЕП: Прикаспийская синеклиза, Северогерманская и отчасти Балтийская, имеющая в геологическом разрезе отложения каменной соли с развитой соляной тектоникой; тепловой поток Тимано-Печорской и Причерноморской впадин, Предобруджского прогиба с отложениями каменной соли и развитой соляной тектоникой. Вклад соляной тектоники в формирование теплового режима Прикаспийской и Северогерманской впадин. Тепловой поток Припятского прогиба, Балтийской синеклизы, Тимано-Печорской эпибайкальской плиты.

### **Тема 10. Радиогенная теплогенерация**

Основные теплогенерирующие процессы внутри литосферы - распад изотопов радиоактивных элементов, экзотермические химические реакции, фазовые переходы (плавление и кристаллизация) и фрикционное тепло. Понятие о радиогенной теплогенерации. Ведущая роль распада радиоактивных элементов при выполнении термических расчетов в земной коре и литосфере. Вклад в тепловое поле литосферы распада долгоживущих изотопов:  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ . В природном уране содержится 99,28 %  $^{238}\text{U}$ , и 0,711 %  $^{235}\text{U}$ . В природном калии  $^{39}\text{K}$  содержится 0,0117 % радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$ . Энергия распада изотопов урана, тория и калия на три – четыре порядка превышает энергию распада других изотопов, например,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{115}\text{In}$  или  $^{148}\text{Sm}$ . В



породах кислого состава (гранитоиды) радиогенная теплогенерация ( $\mu\text{Вт}/\text{м}^3$  ( $\mu\text{W}/\text{m}^3$ )) выше, чем в породах основного состава. Константы теплогенерации. Вычисление радиогенной теплогенерации по концентрации урана, тория и калия ( $C_U$ ,  $C_{Th}$  и  $C_K$ ).

Оценка радиогенной теплогенерации горных пород на недоступных бурению глубинах по эмпирическим зависимостям, в том числе - скорости распространения продольных сейсмических волн  $V_p$ . Связь между сейсмической скоростью  $V_p$  и радиогенной теплогенерацией  $H$ . Теплогенерация пород фундамента Беларуси. Поток у земной поверхности и редуцированный поток. Линейная, ступенчатая и экспоненциальная зависимости изменения с глубиной радиогенной теплогенерации.

### **Тема 11. Тепловое поле эпипалеозойских платформ, молодых платформ и складчатых поясов**

В СНГ к *эпипалеозойским платформам* относятся Западно-Сибирская, Скифская и Туранская плиты. В Западной Европе – Центрально-Французский массив, Иберийская Месета. Тепловой поток Западно-Сибирской плиты. Высокий поток западной части полуострова Ямал, широтного Приобья, Павлодарского Прииртышья. Аномально низкий поток пограничный горно-складчатой области – Уральский антиклинорий. Геотермический режим в криолитозоне Западной Сибири.

Молодые платформы и складчатые пояса. Тепловое поле фанерозойских складчатых поясов на примере Центрально-Азиатского пояса, (от Пай-Хоя – на севере до Тянь-Шаня – на юге, от Мугоджар – на западе до Хингана – на востоке). Аллохтонный и автохтонный механизмы трансформации земной коры - два различных механизма преобразования коры. Различие в распределении плотности теплового потока в линейных и мозаичных зонах пояса – региональная особенность геотермического поля Центрально-Азиатского пояса. Тепловой поток в Магнитогорском, Селетинском и Кустанайском синклиниях, Кокчетавском и Тектурмасском антиклинориях. Поток в Жаман-Сарысуйском антиклинории и Успенской тектонической зоне, Западно-Балхашском синклинии и Дзезказганской впадине. Факторы, влияющие на тепловой поток в складчатых поясах.

Складчатые пояса и зоны современных континентальных рифтов: Байкальская рифтовая зона, рифт Шаньси в Китае, Рейнский грабен в Германии, грабен Викинг в Северном море, рифт Кентукки на востоке США, Восточно-Африканский рифт. Тепловой поток в пределах Байкальской рифтовой зоны и озера Хубсугул.

Тепловые поля областей континентального кайнозойского рифтогенеза и молодых областей альпийской складчатости (Карпаты, Альпы, Кавказ, Крым, Копет-Даг и др.). Особенности теплового потока районов с мощным четвертичным осадконакоплением (Нижне-Курунская низменность, Кахетия, Колхида, Черноморская впадина), Индоло-Кубанский прогиб, Ставропольское поднятие, Кавказ и Карпаты. Тепловое поле областей мезозойско-кайнозойской

тектоно-магматической активизации (горные сооружения Тянь-Шаня, Северного Памира, Алтае-Саянская зона, Хангай и Хэнтэй в Монголии и др.).

### **Тема 12. Геотермические исследования в сверхглубоких скважинах**

На континентах скважины глубиной 7 км и более относят к категории сверхглубоких. Самой глубокой скважиной в мире является Кольская СГ-3. Ее глубина 12 262 м. В СССР было пробурено 10 сверхглубоких скважин: Аралсорская (СГ-1) и Биикжальская (СГ-2) - Прикаспийская низменность; Кольская (СГ-3); Уральская (СГ-4) – г. Верхняя Тура, Свердловская область; Тимано-Печорская (СГ-5) – Вуктыльский район Республики Коми; Тюменская (СГ-6) – микрорайон г. Новый Уренгой; Ен-Яхинская (СГ-7) – восточнее г. Новый Уренгой, между Песцовым и Ен-Яхинским газоконденсатными месторождениями; Криворожская (СГ-8) – в районе г. Кривой Рог, Украина; Днепровско-Донецкая (СГ-9) – Украина; Мурунтауская (СГ-10) – в районе п. Мурунтау, Узбекистан. Все они не достигли проектного забоя. Их краткая характеристика. Зарубежное сверхглубокое бурение. Геотермические измерения в сверхглубоких скважинах. Проблемы регистрации температуры, отбора керна и сохранения вертикальности стволов скважин. Примеры термограмм. Скважины Кольская СГ-3, Ен-Яхинская СГ-6, КТБ-Оберпфальц.

### **Тема 13. Геотермальная энергия.**

#### **Высокоэнтальпийная геотермальная энергия**

Понятие о геотермальной энергии и геотермальных ресурсах. Количество тепловой энергии, содержащейся в недрах земного шара. Первый опыт выработки электроэнергии за счет подземного пара в населенном пункте Лардерелло, Северная Италия (1904 г.). Использование месторождений высокоэнтальпийной геотермальной энергии для выработки электроэнергии в странах мира (Аргентина, Восточная Африка, Исландия, США, Италия, Мексика, Новая Зеландия, Россия, Турция, Япония, Гваделупа, Филиппины и др.). Выработка геотермальной электроэнергии ведется в 22 странах мира. К 2020 г. предполагается, что их количество возрастет до 41. В Европе 88 действующих крупных электростанций суммарной мощностью 2285 МВт, из них 52 – в Евросоюзе - суммарной мощностью 991 МВт. В декабре 2014 г. было 77 электростанций суммарной мощностью 2000 МВт. В России действуют геотермальные электростанции на Камчатке: Паужетская – 14 МВт; Верхне-Мутновская – 12 МВт и Мутновская – 50 МВт, на Курильских островах: Итуруп – 4 МВт и Кунашир – 2 МВт. Темпы роста мощности электрогенераторов и выработка “геотермальной” электроэнергии в Мире. Типы геотермальных электростанций.

#### **Тема 14. Низкоэнтальпийная геотермальная энергия**

Освоение низкотемпературных геотермальных источников ведется в Мире с давних пор. Подземное тепло используется в промышленности для всех видов сушки и мытья органических и неорганических материалов, выпаривания

в химической промышленности, приготовления пищи, разведения животных, водоплавающей птицы, ускорения роста рыбы, отопления жилых домов, зданий и сооружений, теплиц, подогрева почвы, кондиционирования воздуха, выращивания овощей и цветов зимой и других целей.

Тепловая мощность установок прямого использования геотермальной энергии в Мире возросла с 8664 МВт в 1995 г. до 70 329 МВт на начало 2015 г. практически в 9 раз, это дает  $\approx 45$  % прироста по отношению к 2010 г. Ежегодный прирост - 7,7 % в год. Выработка тепловой энергии составила 587,786 ТДж/год (163,287 ГВтч/год), это  $\approx 38,7$  % прироста с 2010 г., или 6,8 % в год. В Европе действует около 1,4 млн геотермальных теплонасосных установок суммарной тепловой мощностью  $\approx 19\,000$  МВт. Возобновляемые источники занимают около 5 % в энергетическом балансе Евросоюза, их роль возрастет до 10–12 % в ближайшие годы. В Евросоюзе поставлена цель достичь 20 % выработки энергии от всех возобновляемых ее видов к 2020 г. и сократить выбросы парниковых газов в атмосферу.

### **Тема 15. Виды термометрических измерений в скважинах**

Термограммы производственного каротажа, их достоинства и недостатки. Термограммы выстоявшихся скважин. Одиночные измерения температуры на промежуточных забоях скважин. Геликсы и другие термограммы. Температура бурового раствора, выносимого при бурении из скважин.

### **Тема 16. Региональная геотермия морей и океанов**

Становление геотермических исследований в Мировом океане. Начало морского научного бурения относится к 1960-м гг. В 1968 г. в США было спущено на воду буровое судно «Glomar Challenger» и началась реализация международной программы глубоководного бурения в океанах. В Мировом океане пробурили сотни скважин, они, пройдя рыхлые отложения, углубились в подстилающие базальты. Самая глубокая скважина, пробуренная в Тихом океане к югу от берегов Коста-Рики, достигла 2105 м ниже океанского дна. Условия геотермических исследований в дне акваторий. Первые геотермические зонды и грунтовые трубки. Первые геотермические измерения Э. Булларда, 1954 г. и других исследователей. Другие геотермические зонды (Юинга, Листера, Хындмана и др). Метод Рэтклифа. Геотермические измерения на акваториях (глубоководные, среднеглубинные, мелкоглубинные). Тепловой поток срединно-океанических рифтов. Тепловой поток в Тирренском море и Троре Орла; поток в котловине Черного моря.

### **Тема 17. Тепловое поле областей докембрийской складчатости**

Области докембрийской складчатости изучены по тепловому потоку весьма неравномерно. Хорошо изучена Восточно-Европейская платформа, особенно ее южная, западная, а также восточная окраины. Тысячи скважин изучены в геотермическом отношении на Канадском щите, особенно в его южной части, и Бразильском щите. Геотермические измерения имеются на

Индийской платформе. Недостаточно полно исследован тепловой режим Африканской и Сибирской платформ. Основные аномалии потока выявлены в зонах дислокаций фундамента, в экзогенальных впадинах платформ с широким развитием солянокупольной тектоники.

### **Тема 18. Геотермальные ресурсы в платформенном чехле Беларуси и технология извлечения подземного тепла**

Геотермальные ресурсы кембрийских отложений Подляско-Брестской впадины. Геотермальные ресурсы в зоне распространения пресных вод для интервалов глубины 100-200 и 200-300 м. Геотермальные ресурсы межсолевого комплекса Припятского прогиба. Ресурсы геотермальной энергии верхней соли Припятского прогиба. Понятие о геотермальном потенциале и его значения для геотермальных комплексов Припятского прогиба.

Использование тепла глубоких геотермальных горизонтов. Теплые и горячие воды, рассолы, отбор и использование подземного водяного пара и пароводяной смеси. Пар и пароводяная смесь на доступных бурению глубинах в районах развития вулканизма и сейсмической активности.

В глубоких нефтепоисковых скважинах Припятского прогиба зарегистрировано несколько значений температуры, достигающих либо превышающих +100 °С. Для скважины Барсуки – 63 на глубине 4 км - +118 °С. В южной зоне прогиба на сопоставимой глубине температура не превышает +55 °С. Максимальная температура около 140 °С – на глубине 6,4 км в скважине Предречицкая-1. Из-за высокой солености рассолов (до 400-450 г/дм<sup>3</sup>, а также для толщ каменной соли возможен отбор тепла через скважинные теплообменники. Примеры теплообменников и схемы извлечения тепла. Опыт создания теплообменника в скважине Березинская-1. Использование тепла сухих горных пород.

Малоглубинные скважинные теплообменники, их устройство и принцип действия. Горизонтальные циркуляционные контуры и их устройство. Практические схемы отбора тепла теплонасосными установками. Схемы отбора тепла с открытым и закрытым подземными циркуляционными контурами. Абсорбционные и парокompрессионные тепловые насосы и геотермальные установки на их основе. Использование тепла сухих горных пород и принцип действия соответствующих геотермальных установок для выработки электроэнергии.

### **Тема 19. Кондуктивный теплоперенос и методы определения теплового потока**

Методы определения теплового потока: с использованием термограмм и коэффициента теплопроводности образцов керна; его определение в илах морских и океанических акваторий; определение потока с помощью тепломеров; изотопно-геохимический метод оценки теплового потока; другие методы (метод РТВ, одиночные измерений температуры забоя скважины). Вертикальная изменчивость интервальных значений теплового потока.

Виды теплопередачи в Земле. Кондуктивный механизм теплопередачи и зависимость теплопроводности от температуры горных пород. Теплопроводность кварца. Тепловые свойства осадочных, магматических и метаморфических горных пород, руд. Теплопроводность слоистой среды. Понятие дебаевской температуры, разделяющей интервалы высокотемпературного от низкотемпературного поведения параметров теплопередачи. Экситонная теплопроводность.

## **Тема 20. Методика оценки ресурсов геотермальной энергии**

Геотермальные ресурсы - доля геотермальной энергии, которая может быть экономически рентабельно извлечена в ближайшем будущем. Геотермальные резервы – часть ресурсов, эксплуатируемых в настоящее время, что подтверждается данными бурения, геологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Имеется несколько методов оценки геотермальных ресурсов. Для предварительной оценки плотности ресурсов геотермальной энергии по методике, разработанной в 90-х гг. XX в. в Ленинградском горном институте [Дядькин и др., 1991], принято выделять категории ресурсов – перспективные ( $C_3$ ) и прогнозные ( $P_1$  и  $P_2$ ). Ресурсы категории  $P_1$  применяют при доказанной возможности освоения подземного тепла, ресурсы категории  $P_2$  учитывают лишь потенциальную возможность формирования и промышленной локализации месторождений этой энергии для конкретной территории либо геологической структуры. Ресурсы категории  $P_1$  принято рассчитывать до глубин, серийно освоенных бурением – 6 км, а ресурсы категории  $P_2$  – до достижимой современными способами глубины бурения, обычно до 10 км. Категория  $C_3$  учитывает экономическую целесообразность освоения геотермальной энергии и используется на стадии проектирования реальных геотермальных установок.

Методика Санкт-Петербургского горного института. Формула для расчета плотности прогнозных запасов геотермальной энергии категории  $P_1$  (т у. т./м<sup>2</sup>) и полученные значения для Припятского прогиба.

Методика, принятая в странах Западной Европы, использующая модель объемного содержания тепла в пористых коллекторах и предполагающая извлечение геотермальной энергии через дублиеты скважин (эксплуатационная и нагнетательная). Расчетные соотношения для оценки плотности извлекаемых ресурсов. Параметры, учитываемые для расчетов.

## **Тема 21. Качество термограмм скважин**

Термограммы скважин как первичный материал при изучении плотности теплового потока. Гелиотермозона и геотермозона. Термограммы скважин в геотермозоне и гелиотермозоне. Термограммы производственного термокаротажа. Роль продолжительности выдержки скважины в покое перед регистрацией термограммы. Термограммы скважин в массивах горных пород с нарушенным бурением тепловым состоянием. Отражение на термограммах

интервалов нарушения герметичности обсадной колонны скважины. Отражение интервалов циркуляции подземных вод на термограмме.

### **Тема 22. Косвенные методы определения теплового потока**

Определение плотности теплового потока по содержанию гелия и кремнезема, растворенного в подземных водах. Оценка плотности теплового потока из анализа параметров магнитного поля изучаемой территории. Понятие о кровле и подошве магнитоактивного тела. Изотерма Кюри.

### **Тема 23. Конвективный теплоперенос и перенос тепла излучением**

Конвекция и перенос тепловой энергии при фильтрации подземных вод, рассолов, нефти, газа в пористой, либо трещиноватой горной породе. Тепловое излучение и его связь с температурой среды, различные виды излучения. Процесс совместного распространения теплоты (посредством механизмов теплопроводности, конвекции и теплового излучения). Радиационно-кондуктивный теплообмен. Роль механизмов теплообмена в земной коре, в мантии и в земном ядре. Отношение коэффициента теплопроводности к удельной электрической проводимости - Закон Видемана-Франса и пределы его применимости. Фононный газ. Конвекция в мантии, срединно-океанические рифты и горячие пояса Земли

### **Тема 24. Экзагональные впадины и роль соляной тектоники в формировании геотермических аномалий**

Относительно Восточно-Европейской платформы экзагональные впадины это: Прикаспийская и Северогерманская впадины, Тимано-Печорское обрамление, обрамление вдоль западного края платформы, ограниченной зоной Тейссейра-Торнквиста. Тепловой поток платформ и его две составляющие: поток тепла, поступающим в подошву земной коры из мантии, и его составляющая, формирующаяся за счет распада долгоживущих радиоактивных элементов. Тепловой поток на Балтийском и Украинском щитах, Сибирской платформе, Московской и Балтийской синеклизах, Волго-уральской, Белорусской, Воронежской антеклизах. Внутриплатформенные рифты. Роль соляной тектоники (соляные валы, купола и диапиры) в формировании геотермических аномалий в целом и теплового потока в частности.

### **Тема 25. Связь геотермических и других геофизических параметров**

Связь геотермических и сейсмических данных. Скорости распространения сейсмических волн в литосфере и их изменение с глубиной, что соотносят с изменением петрографического состава слоев земной коры при выполнении ГСЗ. Зоны пониженных скоростей продольных волн. Зависимость продольных волн  $V_p$  от температуры и давления. Соотношение теплового потока и мощности земной коры по сейсмическим данным.

Соотношение параметров геотермического, гравитационного и магнитного полей. Пример Япономорского региона. Эмпирическое соотношение плотности

теплового потока и гравитационного поля, неоднозначность этой связи. Намагниченность горных пород и изотерма Кюри. Соответствие магнитного и теплового полей определяется в основном наличием магнитных минералов и радиоактивных элементов в горных породах земной коры. Отрицательные аномалии магнитного поля и зоны повышенных значений теплового потока.

Сравнение геотермических и электромагнитных данных. Неоднородность земной коры и верхней мантии по электрической проводимости. Связь электропроводности зависит и температуры. Зоны с повышенной электропроводностью районов с высоким тепловым потоком.

## **Тема 26. Геотермометры**

Понятие о геотермометрах. Типы геотермометров: газовые, изотопные и гидрохимические геотермометры. Содержание растворенных в воде газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{NH}_3$  зависит от температуры водоносного горизонта, по их концентрации можно определить температуру воды в пласте. Ее можно оценить, зная: а) содержание растворенных  $\text{SiO}_2$ , мг/л; б) атомное и ионное отношение Na/K; в) отношение концентраций Na, K и Ca, моль/л. Кремнеземный, или Si-геотермометр, является одним из наиболее распространенных гидрохимических геотермометров. Оценка температуры в высокотемпературных ( $>150\text{ }^\circ\text{C}$ ) и низкотемпературных (ниже  $+140 \dots +150\text{ }^\circ\text{C}$ ) системах по эмпирическим соотношениям. Расчетная температура по модели Бодварссона. Изотопный состав земного He (отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) и оценка по нему плотности теплового потока.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы, занятия	Название темы	Количество аудиторных часов					Внеаудитор. контроль УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия (коллоквиумы)	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в предмет	2						Устный опрос
2	Виды теплопередачи в Земле. Основные геотермические параметры	2						Собеседование
3	Геотермические приборы и аппаратура для скважинных измерений	2						Собеседование
4	Методы и аппаратура для измерения тепловых свойств горных пород	2						Устный опрос
5	Аппаратура для морских геотермических исследований	2						Собеседование
6	Картирование геотермического поля	2						Устный опрос
7	Роль кондуктивного и конвективного теплопереноса в горных породах	2						Собеседование
8	Региональная геотермия континентов	2						Собеседование
9	Тепловое поле экзагональных депрессий Восточно-Европейской платформы	2						Устный опрос
10	Радиогенная теплогенерация	2						Собеседование
11	Тепловое поле эпипалеозойских платформ, молодых платформ и складчатых поясов	2						Устный опрос
12	Геотермические исследования в сверхглубоких скважинах	2						Собеседование



13	Геотермальная энергия. высокоэнтальпийная геотермальная энергия	2						Устный опрос
14	Низкоэнтальпийная геотермальная энергия	2 (ДО)						Сообщения в электронном виде
15	Виды термометрических измерений в скважинах	2 (ДО)						Сообщения в электронном виде
16	Региональная геотермия морей и океанов	2 (ДО)						Сообщения в электронном виде
17	Тепловое поле областей докембрийской складчатости	2 (ДО)						Сообщения в электронном виде
18	Геотермальные ресурсы в платформенном чехле Беларуси и технология извлечения подземного тепла	2 (ДО)						Сообщения в электронном виде
19	Кондуктивный теплоперенос и методы определения теплового потока		2 (ДО)					Отчет по практической работе
20	Методика оценки ресурсов геотермальной энергии		2 (ДО)					Отчет по практической работе
21	Качество термограмм скважин		2 (ДО)					Отчет по практической работе
22	Косвенные методы определения теплового потока			2				Реферат
23	Конвективный теплоперенос и перенос тепла излучением			2 (ДО)				Реферат
24	Экзагональные впадины и роль соляной тектоники в формировании геотермических аномалий			2 (ДО)				Реферат
25	Связь геотермических и других геофизических параметров			2				Реферат
26	Геотермометры			2				Реферат
	<b>ИТОГО:</b>	<b>36</b>	<b>6</b>	<b>10</b>				

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Зуй В.И. Основы геотермии. Пособие. – Мн.: БГУ, 2017. – 288 с. (<http://elib.bsu.by/handle/123456789/194213>).
2. Зуй В.И. Тепловое поле платформенного чехла Беларуси. - Мн.: Экономпресс, – 2013. – 256 с.
3. Геотермический Атлас Беларуси / под ред. В.И. Зуя. – Минск: Национальная библиотека Беларуси, 2018. – 89 с.

### Перечень дополнительной литературы

1. Атрощенко П. П. Геотермические условия северной части Припятской впадины. - Минск, 1975. –104 с.
2. Боганик Н. С. Радиогенное тепло земной коры Русской платформы и ее складчатого обрамления. - М.: Наука, 1975. –159 с.
3. Богомоллов Г.В., Цыбуля Л.А., Атрощенко П.П. Гидродинамика и геотермия нефтяных структур. – Мн.: Наука и техника, 1975. –240 с
4. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии. – М.: МГУ, 2007. 440 с. (<http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-vsevolzhskiy-va-osnovy-gidrogeologii.pdf>).
5. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.] / под ред. А. С. Махнача (отв. ред.) [и др.]. – Мн.: Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. –815 с.
6. Геотермия арктических морей / М. Д. Хуторской [и др.]. – Мн.: ГЕОС. - 2013. – 232 с. (<http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geotermiya-arkticheskikh-morey.pdf>).
7. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала. - М.: Наука, 2005. – 187 с. ([http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_66907](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_66907)).
8. Голубев В. А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – 222 с.
9. Дучков А. Д., Соколова Л. С. Геотермические исследования в Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – 280 с. (<http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geotermicheskie-issledovaniya-v-sibiri.pdf>).
10. Курчиков А. Р., Ставицкий Б. Л. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири. - М.: Недра, 1987. – 136 с. (<http://www.geokniga.org/books/14212>).
11. Левашкевич В.Г. Геотермия запада Восточно-Европейской платформы. Мн.: Беларуская навука, 2013, – 153 с.
12. Кутас Р. И., Гордиенко В. В. Тепловое поле Украины. – Киев:

- Наукова Думка, 1971. – 140 с.
13. Лысак С. В. Тепловой поток континентальных рифтовых зон. - Новосибирск, Наука, 1988. – 200 с.
  14. Моисеенко У. И., Смыслов А. А. Температура земных недр. - Л.: Недра, 1986. – 180 с.
  15. Опыт применения нефтегазовой терморазведки / Х. И. Амирханов [и др.]. – Махачкала: Наука, 1975. – 230 с.
  16. Поляк Б. Г. Тепломассопоток из мантии и главных тектонических структур земной коры. - М.: Наука, 1988. – 216 с.
  17. Просёлков Ю. М. Теплопередача в скважинах. – М.: Недра, 1975. – 223 с.
  18. Сальников В. Е. Геотермический режим Южного Урала. - М.: Наука, 1984. – 89 с.
  19. Смыслов А. А., Моисеенко У. И., Чадович Т. З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. - Л.: Недра, 1979. – 191 с.
  20. Урбан Г. И., Цыбуля Л. А. Тепловой поток Балтийской синеклизы (+5 карт). - М.: ИФЗ РАН, 2004. – 158 с.
  21. Хуторской М.Д. Геотермия Центрально-азиатского складчатого пояса. – М.: Российский университет дружбы народов, 1996. – 289 с. (<http://www.geokniga.org/books/13037>).
  22. Хуторской М.Д. Введение в геотермию. – М.: РУДН, 1996. – 155 с.
  23. Тепловое поле территории Украины / В. В. Гордиенко [и др.]. – Киев: Знания, 2002. – 170 с. (<http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-vvedenie-v-geotermiyu.pdf>).
  24. Atlas of geothermal resources in Europe / ed. S. Hurter, R. Haenel. – Hannover, (+ 89 plates), 2002. – 92 p.
  25. Buntebarth G. Geothermics: An Introduction. B.; Heidelberg; N. Y. – Tokyo, 1984. – 144 p.
  26. Eppelbaum L., Kutasov I., Pilchin A. Applied Geothermics. B., 2014. – 751 p.
  27. Geothermal Atlas of Europe / Members of the Working Group “Geothermal Atlas Of Europe” of the International Heat Flow Commission; editors: E. Hurtig, R. Haenel, V. Čermak, V. Zui. – Germany: Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha. – Explanatory Note (+ 36 maps), 1991. – 156 p.
  28. Handbook of terrestrial heat-flow density determination: guidelines and recommendations of the International Heat Flow Commission / edited by: R. Haenel, L. Rybach, L. Stegena. – Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1988. – 486 p.
  29. The KTB borehole – Germany’s superdeep telescope into the Earth’s crust [Электронный ресурс] / K. Bram [et al.]. URL: <https://www.slb.com/~media/Files/>

## **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

Для текущего контроля качества усвоения знаний студентами используется следующий диагностический инструментарий:

- собеседования;
- устный опрос;
- сообщения в электронном виде;
- реферат
- отчет по практической работе;

Формой текущей аттестации по дисциплине «Геотермия» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний магистранта, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

формирование оценки за текущую успеваемость:

- собеседования – 20 %;
- устный опрос – 20 %;
- сообщения в электронном виде – 10 %;
- отчет по практической работе – 25 %;
- реферат – 25 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и зачетной сессии с учетом их весовых коэффициентов. Оценка по текущей успеваемости составляет 40%, экзаменационная оценка – 60 %.

### **Примерная тематика практических занятий с использованием дистанционных образовательных технологий**

Занятие 1. Использование подземного тепла в Беларуси (2 ч.).

Занятие 2. Геотермальные ресурсы в платформенном чехле Беларуси и технология извлечения подземного тепла (2 ч.).

Занятие 3. Региональная геотермия морей и океанов (2 ч.).

### **Примерная тематика семинарских занятий**

Занятие 1. Косвенные методы определения теплового потока (2 ч.).

Занятие 2. Конвективный теплоперенос и перенос тепла излучением (2 ч/ДО).

Занятие 3. Экзагональные впадины и роль соляной тектоники в формировании геотермических аномалий (2 ч/ДО).

Занятие 4. Связь геотермических и других геофизических параметров (2 ч.).  
Занятие 5. Геотермометры (2 ч.).

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используются:

**практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций;

**метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения;

**технология развития критического мышления** (представляет собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма); методы чтения различного рода учебных текстов предполагают использование графических организаторов, дневников чтения, концептуальных карт, таблиц, кластеров, а также приемов, направляющих работу студентов с информацией.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины «Геотермия» рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- научно-исследовательские работы;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, составление схем и моделей на основе статистических материалов;
- подготовка и написание рефератов на заданные темы;
- подготовка к участию в конференциях и конкурсах.

Используются современные информационные технологии: размещен в сетевом доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, методические указания к практическим занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, задания, тесты, вопросы для самоконтроля и др.; список рекомендуемой литературы). Эффективность самостоятельной работы студентов проверяется в ходе текущего и итогового контроля знаний. Для общей оценки качества усвоения студентами учебного материала используется рейтинговая система.

### **Методические указания по выполнению и контролю тем практических заданий**

Практикум вводится в технологию обучения с целью формирования у студентов умения и навыков в приобретении и постоянном пополнении своих профессиональных знаний. Этого требует современное динамично развивающееся общество, использующее преимущества информационных технологии.

По курсу «Геотермия» предусмотрено выполнение практических заданий по наиболее важным темам учебной дисциплины.

При выполнении запланированных тем практикума магистрант должен ознакомиться с конкретным заданием по данной теме, в котором сформулирована цель работы, порядок и методика ее выполнения, приведен список необходимой литературы.

В дополнении к указанным литературным источникам магистрант должен самостоятельно использовать информационные ресурсы Internet.

Возникающие трудности при выполнении заданий практикума могут быть обсуждены с преподавателем в дни консультаций.

Форма контроля выполнения практикума определяется в задании практикума и контролируется преподавателем (защита компьютерных заданий). Каждая из выполненных тем практикума оценивается преподавателем и, в соответствии с принятой системой рейтинговой оценки, учитывается в итоговой оценке по дисциплине.

### **Темы реферативных работ**

1. Картирование геотермического поля.
2. Экзагональные впадины и роль соляной тектоники в формировании геотермических аномалий.
3. Связь геотермических и других геофизических параметров.
4. Определение плотности теплового потока по содержанию гелия и кремнезема, растворенного в подземных водах.
5. Оценка плотности теплового потока из анализа параметров магнитного поля изучаемой территории.
6. Понятие о кровле и подошве магнитоактивного тела. Изотерма Кюри.

7. Конвекция и перенос тепловой энергии при фильтрации подземных вод, рассолов, нефти, газа в пористой, либо трещиноватой горной породе.
8. Тепловое излучение и его связь с температурой среды, различные виды излучения.
9. Процесс совместного распространения теплоты (посредством механизмов теплопроводности, конвекции и теплового излучения).
10. Радиационно-кондуктивный теплообмен. Роль механизмов теплообмена в земной коре, в мантии и в земном ядре.
11. Отношение коэффициента теплопроводности к удельной электрической проводимости - Закон Видемана-Франса и пределы его применимости.
12. Фононный газ. Конвекция в мантии, срединно-океанические рифты и горячие пояса Земли.
13. Формирование тепловых потоков и их составляющие.
14. Роль соляной тектоники (соляные валы, купола и диапиры) в формировании геотермических аномалий в целом и теплового потока в частности.
15. Связь геотермических и сейсмических данных.
16. Скорости распространения сейсмических волн в литосфере и их изменение с глубиной, что соотносят с изменением петрографического состава слоев земной коры при выполнении ГСЗ.
17. Зоны пониженных скоростей продольных волн.
18. Зависимость продольных волн  $V_p$  от температуры и давления.
19. Соотношение теплового потока и мощности земной коры по сейсмическим данным.
20. Соотношение параметров геотермического, гравитационного и магнитного полей.
21. Эмпирическое соотношение плотности теплового потока и гравитационного поля.
22. Намагниченность горных пород и изотерма Кюри.
23. Отрицательные аномалии магнитного поля и зоны повышенных значений теплового потока.
24. Сравнение геотермических и электромагнитных данных.
25. Неоднородность земной коры и верхней мантии по электрической проводимости.
26. Понятие о геотермометрах. Типы геотермометров: газовые, изотопные и гидрохимические геотермометры.
27. Содержание растворенных в воде газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{NH}_3$ .
28. Оценка температуры в высокотемпературных ( $>150$  °C) и низкотемпературных (ниже  $+140 \dots +150$  °C) системах по эмпирическим соотношениям.
29. Расчетная температура по модели Бодварссона.
30. Изотопный состав земного He (отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) и оценка по нему плотности теплового потока

## Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Тепловое поле в разрезе Земли.
2. Суточные, сезонные, вековые колебания температуры земной поверхности и их распространение в горные породы.
3. Теоретические, региональные и прикладные геотермические исследования.
4. Гелиотермозона и геотермозоны, глубины распространения колебаний температуры с земной поверхности. радиогенные источники тепла.
5. Кондуктивный, конвективный и лучистый механизмы теплопередачи в горных породах.
6. Факторы, влияющие на тепловые свойства горных пород.
7. Отражение циркуляции подземных вод на термограммах скважин.
8. Отражение на термограммах продолжительности выстойки скважин.
9. Основные виды скважинных термометров, их достоинства и недостатки.
10. Методы определения теплопроводности донных илов при морских геотермических исследованиях.
11. Измерение коэффициента теплопроводности методом разделенного стержня.
12. Зондовые и бесконтактные методы определения теплопроводности.
13. Распределение температуры на глубинах 100 и 200 метров в Беларуси.
14. Распределение геотермического градиента в интервале глубины 100 – 200 м в Беларуси.
15. Распределение температуры в глубоких горизонтах Припятского прогиба.
16. Влияние вертикальной фильтрации подземных вод на вид термограмм скважин.
17. Вертикальная изменчивость плотности теплового потока и ее причины.
18. Зависимость теплового потока от возраста геологических структур.
19. Методы отображения теплового потока на картах.
20. Тепловое поле областей докембрийской складчатости.
21. Тепловое поле областей палеозойского возраста.
22. Долгоживущие радиоактивные элементы и радиогенная теплогенерация.
23. Модели распределения теплогенерации в земной коре.
24. Роль соляной тектоники в формировании геотермических аномалий.
25. Особенности теплового поля молодых платформ и складчатых поясов, пример Черного моря.
26. Тепловой режим скважин сверхглубокого бурения, пример Кольской скважины СГ-3.



27. Основные результаты изучения теплового потока на акваториях океанов, зоны спрединга и субдукции.
28. Методы определения теплопроводности морских илов.
29. Классификация акваторий по пригодности для геотермических измерений.
30. Тепловой поток вблизи океанических рифтов.
31. Тепловой поток в разломных зонах Байкала.
32. Тепловой поток Беларуси.
33. Высокоэнтальпийная геотермальная энергия и ее использование.
34. Прямое использование геотермальных ресурсов.
35. Теплонасосные геотермальные установки.
36. Использование геотермальной энергии в Беларуси.
37. Формирование гидротермальных ресурсов.
38. Геотермальные ресурсы Припятского прогиба.
39. Методы извлечения подземного тепла.
40. Теплонасосные геотермальные установки и циркуляционные контуры.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Геофизические исследования скважин	Региональной геологии	нет	Изменений не требуется (протокол № 10 от 29.05.2020 г.)
Геодинамические исследования Припятского прогиба	Региональной геологии	нет	Изменений не требуется (протокол № 10 от 29.05.2020 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год**

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (степень, звание)      \_\_\_\_\_ (подпись)      \_\_\_\_\_ (И.О.Фамилия)

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан факультета

\_\_\_\_\_