

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ястребов Олег Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 21.05.2026 17:29:31
Уникальный программный ключ:
ca953a01204891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

Инженерная академия

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:

05.04.01 ГЕОЛОГИЯ

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

2026 г.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Моделирование месторождений полезных ископаемых» входит в программу магистратуры «Горнопромышленная геология» по направлению 05.04.01 «Геология» и изучается в 1, 2 семестрах 1 курса. Дисциплину реализует Кафедра Вуза-Партнёра. Дисциплина состоит из 6 разделов и 27 тем и направлена на изучение методов построения месторождений полезных ископаемых с применением современных горно-геологических информационных систем.

Целью освоения дисциплины является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области анализа и интерпретации геологической информации, а также построении 2D и 3D моделей участков недр в соответствии с поставленной задачей и с применением современных горно-геологических информационных систем, характеризующих этапы формирования компетенций и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы. являются: построении ресурсных, литологических и других типов геологических моделей; формирование умений и навыков в области построения каркасных и блочных моделей участков недр; геостатистического анализа; геологическими информационными системами для решения задач в области профессиональной деятельности в соответствии с профилем образовательной программы.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Моделирование месторождений полезных ископаемых» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует проблему, решение которой напрямую связано с достижением цели проекта; УК-2.2 Определяет связи между поставленными задачами и ожидаемые результаты их решения; УК-2.3 В рамках поставленных задач определяет имеющиеся ресурсы и ограничения, действующие правовые нормы;
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Контролирует количество времени, потраченного на конкретные виды деятельности; УК-6.2 Вырабатывает инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, целей; УК-6.3 Анализирует свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные и т.д.), для успешного выполнения поставленной задачи;
УК-7	Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач;	УК-7.1 Осуществляет поиск нужных источников информации и данных, воспринимает, анализирует, запоминает и передает информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; УК-7.2 Проводит оценку информации, ее достоверность, строит логические умозаключения на основании поступающих информации и данных;

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
	эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных	
ОПК-2	Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач	ОПК-2.1 Знает основы и методы организации научно-исследовательской деятельности, методики постановки цели и способы ее достижения; ОПК-2.2 Умеет выполнять разработку методик исследований; ОПК-2.3 Владеет методами установления причинно-следственных связей и определения наиболее значимых среди них и навыками самостоятельного формулирования целей исследований;
ПК-1	Способен осуществлять обработку геологических данных, выполнять построение моделей рудных тел с использованием современного программного обеспечения, решать задачи по управлению качеством и запасами полезных ископаемых, разрабатывать мероприятия по инженерно-геологическому изучению территории	ПК-1.1 Знает основы геологического строения рудных месторождений, возможности применения специализированного программного обеспечения; ПК-1.2 Умеет применять методы обработки геологических данных, осуществлять построение моделей рудных тел, решать задачи по управлению качеством и запасами полезных ископаемых, разрабатывать мероприятия по инженерно-геологическому изучению территории; ПК-1.3 Владеет навыками обработки геологических данных и построения моделей рудных тел с использованием современного программного обеспечения;
ПК-2	Способен обосновывать необходимость, выбирать оптимальную методику, проектировать, осуществлять, интерпретировать результаты и руководить геофизическими работами на различных стадиях освоения участка недр	ПК-2.1 Знает теоретические основы геофизических исследований; ПК-2.2 Умеет выбирать оптимальную методику, проектировать, осуществлять, интерпретировать результаты геофизических работ;
ПК-4	Способен проектировать мероприятия, осуществлять сопровождение и руководство по геологическому изучению участка недр на различных стадиях его освоения	ПК-4.1 Знает теоретические основы и методики геологического изучения участка недр на различных стадиях его освоения; ПК-4.2 Умеет применять методические решения при проектировании и осуществлении сопровождения геологического изучения участка недр на различных стадиях его освоения;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Моделирование месторождений полезных ископаемых» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Моделирование месторождений полезных ископаемых».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-7	Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных		
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла		Groundwater Dynamics; Applied Groundwater Modeling;
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки		
ОПК-2	Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач		Research Work (Mining Geology). Part 1; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 1; Research Work (Mining Geology). Part 2; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 2; Applied Groundwater Modeling;
ПК-1	Способен осуществлять обработку геологических данных, выполнять построение моделей рудных тел с использованием современного программного обеспечения, решать задачи по управлению качеством и запасами полезных ископаемых, разрабатывать мероприятия по инженерно-геологическому изучению		Pre-Graduation Practice; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 1; Research Work (Mining Geology). Part 1; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 2; Research Work (Mining Geology). Part 2;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	территории		
ПК-2	Способен обосновывать необходимость, выбирать оптимальную методику, проектировать, осуществлять, интерпретировать результаты и руководить геофизическими работами на различных стадиях освоения участка недр		Mining Hydrogeology; Pre-Graduation Practice; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 1; Research Work (Mining Geology). Part 1; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 2; Research Work (Mining Geology). Part 2;
ПК-4	Способен проектировать мероприятия, осуществлять сопровождение и руководство по геологическому изучению участка недр на различных стадиях его освоения		Pre-Graduation Practice; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 1; Research Work (Mining Geology). Part 1; Research Work (Geological and Geophysical Survey). Part 2; Research Work (Mining Geology). Part 2; Mining Hydrogeology;

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование месторождений полезных ископаемых» составляет «7» зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)	
			1	2
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	70		36	34
Лекции (ЛК)	0		0	0
Лабораторные работы (ЛР)	0		0	0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	70		36	34
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	164		72	92
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	18		0	18
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	252	108	144
	зач.ед.	7	3	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Моделирование в горном деле: виды, основные задачи и способы	1.1	моделирование в геологии и горном деле	Моделирование в геологии и горном деле представляет собой процесс создания формализованного цифрового представления геологического объекта или процесса, отражающего его существенные свойства и позволяющего решать прогнозные, проектные и производственные задачи. Основными видами моделей являются геологические (структурные, литологические, минералогические), геохимические, геофизические, гидрогеологические, геомеханические и технологические. Цифровое моделирование обеспечивает возможность комплексного анализа разнородной геологической информации, визуализации пространственного распределения параметров, выполнения объемных расчетов и прогнозирования поведения геологической среды при техногенном воздействии. Применение моделирования на всех стадиях освоения месторождения позволяет повысить достоверность оценки запасов, оптимизировать параметры горных работ и снизить инвестиционные риски.	СЗ
		1.2	статистическая обработка геологических данных	Статистическая обработка является обязательным этапом подготовки геологических данных к моделированию и включает анализ распределения значений содержаний полезных и вредных компонентов, мощностей рудных тел и других геологических параметров. Выполняется построение гистограмм и вариационных кривых, расчет основных статистических характеристик (среднее, медиана, мода, дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс). Проводится проверка гипотезы о законе распределения (нормальный, логнормальный) для выбора методов интерполяции и оценки. Выявление и исключение аномальных значений (ураганных проб) производится с использованием статистических критериев. Результаты статистического анализа используются для обоснования параметров блочной модели, выбора метода интерполяции и оценки достоверности моделирования.	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		1.3	исходные данные для геологического моделирования на стадии разведки и освоения месторождения	Исходными данными для построения геологической модели месторождения служат координаты устьев и траектории буровых скважин, геологическая документация керна и горных выработок, результаты опробования (рядовые и групповые пробы), данные геофизических исследований скважин, результаты лабораторных определений физико-механических свойств пород и руд, данные топографо-геодезических съемок. На стадии разведки используются материалы поискового и разведочного бурения, на стадии эксплуатации добавляются данные эксплуатационной разведки, опробования взрывных скважин и забоев, данные маркшейдерских замеров. Полнота, достоверность и представительность исходных данных напрямую определяют качество и надежность создаваемой модели.	СЗ
		1.4	формирование базы данных, содержащих исходные геологические данные, для построения блочной модели месторождения твердых полезных ископаемых. Поиск ошибок в геологической базе данных	База геологических данных для блочного моделирования структурируется в виде набора взаимосвязанных таблиц, содержащих информацию о скважинах (координаты устьев, глубина, азимут и зенитный угол ствола), инклинометрии, литологических интервалах, интервалах опробования и результатах анализов. Обязательным этапом является валидация базы данных, включающая проверку на наличие дубликатов записей, контроль соответствия координат устьев и траекторий скважин, выявление пропусков в нумерации проб, проверку сумм интервалов опробования на соответствие общей длине скважины, контроль выхода керна, выявление некорректных значений содержаний (отрицательных, выходящих за пределы физически возможных). Специализированные ГГИС содержат встроенные инструменты автоматизированной проверки и визуализации ошибок. Качественная очистка базы данных является критически важной для получения достоверных результатов моделирования.	СЗ
		1.5	расчет условного компонента для комплексных месторождений	Для комплексных руд, содержащих несколько ценных компонентов, выполняется расчет условного компонента, позволяющий привести многокомпонентное сырье к единому эквиваленту и выполнить оконтуривание рудных тел по	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>единому показателю. Расчет производится путем пересчета содержаний попутных компонентов в содержание основного (условного) компонента с использованием переводных коэффициентов, основанных на соотношении цен на металлы, сквозного извлечения при обогащении и металлургическом переделе. Формула условного компонента имеет вид $C_{усл} = C_{осн} + \sum(k_i \times C_i)$, где k_i — коэффициент приведения i-го попутного компонента. Использование условного компонента позволяет выполнить геометризацию комплексного оруденения в единых контурах, подсчитать запасы в условном металле и выполнить экономическую оценку месторождения. Недостатком метода является зависимость коэффициентов приведения от текущей конъюнктуры рынка, что требует регулярного пересчета при изменении цен.</p>	
Раздел 2	Горно-геологические информационные системы	2.1	горно-геологические информационные системы, основной функционал и различия программных продуктов	<p>Горно-геологические информационные системы (ГГИС) представляют собой специализированное программное обеспечение, предназначенное для сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации геологической информации, построения трехмерных моделей месторождений, подсчета запасов и планирования горных работ. Основной функционал ГГИС включает ведение баз геологических данных, статистический анализ, построение каркасных и блочных моделей, геостатистическую оценку, подсчет запасов, оптимизацию контуров карьера, проектирование буровзрывных работ и календарное планирование. На мировом рынке представлены такие системы как Datamine, Surpac, Micromine, Leapfrog, MineScare, в России развиваются собственные разработки — Геомикс, Горный инженер, MineFrame. Основные различия между продуктами заключаются в алгоритмах интерполяции, реализованных геостатистических методах, удобстве пользовательского интерфейса, возможностях интеграции с другими системами и стоимости лицензий. Выбор конкретной ГГИС определяется масштабом предприятия, сложностью геологического строения месторождения и финансовыми возможностями компании.</p>	СЗ
Раздел 3	Оконтуривание и	3.1	оконтуривание рудных тел	Оконтуривание рудных тел представляет собой процесс	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
	построение каркасных моделей рудных месторождений			<p>проведения границ промышленного оруденения на геологических разрезах, планах и в трехмерном пространстве по совокупности кондиционных показателей. Основным критерием оконтуривания является бортовое содержание полезного компонента, устанавливаемое технико-экономическим обоснованием. Различают внутреннее оконтуривание (выделение безрудных и некондиционных участков внутри рудного тела) и внешнее (проведение внешней границы рудного тела). Методы оконтуривания включают ручной способ на основе геологических разрезов с последующей увязкой между сечениями, автоматизированное оконтуривание по заданному бортовому содержанию в ГГИС и математическое оконтуривание с использованием геостатистических методов. Качество оконтуривания определяет достоверность подсчета запасов и эффективность последующей отработки месторождения.</p>	
		3.2	кондиции и их интерпретация при геометрическом и математическом моделировании	<p>Кондиции на минеральное сырье представляют собой совокупность требований к качеству и количеству полезных ископаемых в недрах, соблюдение которых определяет возможность их рентабельной промышленной отработки. Основными параметрами кондиций являются бортовое содержание полезного компонента, минимальная мощность рудного тела, максимальная мощность безрудных прослоев, минимальный метрпроцент (произведение содержания на мощность), минимальные запасы в блоке. При геометрическом моделировании кондиции используются для ручного или автоматизированного оконтуривания рудных тел на разрезах и в плане. При математическом (блочном) моделировании кондиции применяются на этапе оценки запасов для отнесения блоков к рудным или породным, а также для оптимизации границ карьера при заданных экономических параметрах. Интерпретация кондиций должна учитывать геологические особенности месторождения и технологию его отработки.</p>	СЗ
		3.3	каркасное моделирование	<p>Каркасная модель представляет собой трехмерное геометрическое представление рудных тел, тектонических нарушений, литологических разностей и других геологических</p>	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>объектов в виде замкнутых поверхностей (триангуляционных сетей). Построение каркасов производится на основе оцифрованных контуров рудных тел на геологических разрезах и планах путем соединения их в трехмерном пространстве. Каркасная модель является основой для создания блочной модели, поскольку ограничивает пространство, в пределах которого производится интерполяция содержаний и подсчет запасов. Основными требованиями к каркасным моделям являются замкнутость поверхностей, отсутствие самопересечений, корректная топология и геологическая непротиворечивость. Современные ГГИС предоставляют инструменты автоматизированной генерации каркасов, а также методы бескаркасного моделирования на основе неявных функций.</p>	
		3.4	<p>оконтуривание рудных тел в разрезах с помощью горно-геологической информационной системы</p>	<p>В среде ГГИС оконтуривание рудных тел выполняется в интерактивном режиме на вертикальных или горизонтальных сечениях с отображением скважин, данных опробования и геологических границ. Процесс включает создание контуров по заданному бортовому содержанию с учетом минимальной мощности рудного тела и максимальной мощности безрудных прослоев. ГГИС позволяет оперативно перестраивать контуры при изменении кондиционных параметров, оценивать объем и среднее содержание в оконтуренном блоке. Инструменты автоматизированного оконтуривания используют алгоритмы интерполяции для определения границы между рудными и безрудными интервалами. Результатом является набор векторных полигонов на каждом разрезе, которые затем используются для построения трехмерных каркасных моделей рудных тел.</p>	СЗ
		3.5	<p>обоснование кондиционных параметров на основе повариантного перебора (бортового содержания, минимальной мощности рудных тел, максимальной мощности безрудных прослоев)</p>	<p>Повариантный перебор (вариантное моделирование) применяется для выбора оптимальных значений кондиционных параметров, обеспечивающих максимальную экономическую эффективность отработки месторождения. Методика заключается в построении серии каркасных и блочных моделей при различных значениях бортового содержания, расчете для каждого варианта объемов руды, среднего содержания,</p>	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>количества металла и технико-экономических показателей отработки. На основе полученных данных строятся графики зависимости запасов и среднего содержания от бортового содержания (кривые «тоннаж-содержание»). Оптимальное бортовое содержание определяется как значение, при котором достигается максимум чистого дисконтированного дохода или другой критерий эффективности. Повариантный перебор является стандартной процедурой при технико-экономическом обосновании кондиций и подсчете запасов по международным стандартам.</p>	
		3.6	операции над каркасами	<p>В процессе построения геологической модели месторождения возникает необходимость выполнения различных операций над каркасными объектами. К основным операциям относятся объединение нескольких каркасов в один, разделение каркаса на части, пересечение каркасов для выделения областей их взаимного наложения или разности, буферизация для создания зон заданной мощности вокруг каркаса, сглаживание поверхностей для устранения артефактов триангуляции. Операции над каркасами используются для моделирования разрывных нарушений (разделение рудного тела по плоскости сместителя), вычитания объемов отработанных запасов, создания модели рельефа и поверхностей скольжения. Корректное выполнение операций над каркасами требует контроля топологии и отсутствия ошибок в исходной геометрии.</p>	СЗ
		3.7	построение литологической модели рудного месторождения	<p>Литологическая модель описывает пространственное распределение различных типов пород и руд в пределах месторождения и является важнейшей составляющей геологической модели. Построение литологической модели начинается с кодирования литологических разностей по данным документации керна скважин и горных выработок. Для каждой литологической разности создается отдельный каркас или используется бескаркасный подход на основе неявного моделирования. Литологическая модель должна отражать стратиграфическую последовательность, условия залегания, фациальные переходы, зоны выклинивания и тектонические</p>	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				нарушения. Корректная литологическая модель необходима для достоверной интерполяции содержаний (поскольку распределение полезного компонента часто контролируется литологией), оценки физико-механических свойств пород, выбора технологии отработки и управления качеством руды.	
Раздел 4	Блочное моделирование рудных месторождений полезных ископаемых	4.1	блочное моделирование	Блочное моделирование является стандартным методом цифрового представления месторождения для подсчета запасов, календарного планирования и проектирования горных работ. Блочная модель представляет собой регулярную трехмерную сеть элементарных ячеек (блоков), заполняющих объем месторождения, каждой из которых присвоены атрибуты, характеризующие геологические и технологические свойства пород и руд в данном элементарном объеме. Основными атрибутами являются литологический код, плотность породы, содержание полезных и вредных компонентов, категория запасов, технологический тип и сорт руды. Блочная модель создается на основе каркасных моделей рудных тел и данных опробования скважин. Преимуществами блочного представления являются возможность выполнения объемных расчетов, гибкость при изменении кондиций, интеграция с алгоритмами оптимизации горных работ и удобство визуализации.	СЗ
		4.2	построение блочной модели рудного месторождения в горно-геологической информационной системе	Процесс построения блочной модели в ГГИС включает следующие этапы: создание пустой блочной модели в пределах заданных границ (обычно по каркасам рудных тел или в объеме, охватывающем все разведочные скважины), присвоение блокам литологических кодов и плотности на основе каркасных моделей, композитирование исходных проб для приведения их к единой длине, соответствующей высоте уступа или другой технологической единице, статистический анализ композитов, вариография для определения параметров пространственной изменчивости, интерполяция содержаний в блоки выбранным методом (IDW, кригинг), классификация блоков по категориям запасов на основе плотности разведочной сети и геостатистических критериев. Результатом является наполненная блочная модель, готовая к подсчету запасов и	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				дальнейшему использованию в горном планировании.	
		4.3	выбор и обоснование размера элементарной единицы блочной модели	<p>Размер элементарного блока является критическим параметром блочной модели, влияющим на точность оценки запасов, производительность вычислений и возможность адекватного отображения геологических границ. Размер блока по вертикали обычно принимается равным высоте добычного уступа. Размеры блока по горизонтали определяются с учетом густоты разведочной сети (рекомендуется, чтобы размер блока составлял от 1/3 до 1/5 среднего расстояния между скважинами), изменчивости оруденения (для высокоизменчивых объектов размер уменьшается), геометрических параметров системы разработки и селективности добычи. При выборе размера блока учитывается также требование, чтобы количество композитов, попадающих в эллипс поиска при интерполяции, было достаточным для статистически обоснованной оценки. Для обоснования размера блока может выполняться сравнительное моделирование с разными размерами и оценка сглаживания содержаний и потерь запасов.</p>	СЗ
		4.4	оценка блочной модели	<p>Оценка блочной модели заключается в присвоении каждому блоку значений содержаний полезных и вредных компонентов, а также других атрибутов на основе интерполяции данных опробования. Основными методами оценки являются метод обратных взвешенных расстояний (IDW) и различные виды кригинга (ординарный, простой, индикаторный, ко-кригинг). При оценке используются параметры эллипса поиска (радиусы по трем осям, ориентация), учитывающие анизотропию оруденения. Для каждой оценки определяется количество использованных композитов и расстояние до ближайшей пробы, что в дальнейшем используется для классификации блоков по категориям запасов. Важным этапом является валидация блочной модели путем визуального сравнения с исходными данными, статистического сопоставления средних содержаний по модели и по композитам, а также анализа трендов по разрезам.</p>	СЗ
		4.5	оценка блочной модели в горно-	В ГИС процедура оценки блочной модели автоматизирована и	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			геологической информационной системе	выполняется с использованием встроенных инструментов интерполяции. Пользователь задает параметры интерполяции: метод оценки, параметры эллипса поиска (радиусы, углы ориентации), минимальное и максимальное количество композитов для оценки блока, параметры ограничения поиска по каркасам и разрывным нарушениям. ГГИС позволяет выполнять оценку по отдельным доменам (рудным телам, литологическим разностям), что повышает достоверность интерполяции. После выполнения оценки производится визуализация результатов в виде цветовых схем и разрезов, создаются отчеты по статистике оценки. Современные ГГИС также предоставляют возможности динамической оценки, когда блочная модель автоматически обновляется при добавлении новых данных или изменении параметров интерполяции.	
Раздел 5	Основы геостатистики	5.1	основные геостатистические методы	Геостатистика представляет собой раздел прикладной статистики, изучающий пространственно-временную изменчивость геологических параметров и предоставляющий математический аппарат для их интерполяции и оценки точности. Базовым понятием геостатистики является вариограмма — функция, описывающая пространственную корреляцию значений признака в зависимости от расстояния и направления между точками опробования. Основными параметрами вариограммы являются нагетт-эффект (порог неоднородности на нулевом расстоянии), порог (силл) и радиус корреляции (ранг). Кригинг представляет собой метод оптимальной линейной интерполяции, минимизирующий дисперсию ошибки оценки и учитывающий пространственную структуру изменчивости, описанную вариограммой. Различают ординарный кригинг (для стационарных данных), простой кригинг (при известном среднем), индикаторный кригинг (для нелинейных оценок) и ко-кригинг (совместная интерполяция нескольких коррелированных переменных). Геостатистические методы обеспечивают не только оценку значений в блоках, но и количественную оценку погрешности, что необходимо для классификации запасов.	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		5.2	применение IDW - метода при моделировании рудных месторождений полезных ископаемых	Метод обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting, IDW) является детерминированным методом интерполяции, при котором значение в оцениваемой точке определяется как средневзвешенное значений в окружающих точках опробования, причем веса обратно пропорциональны расстоянию от оцениваемой точки до точек опробования в заданной степени. Основными параметрами метода являются степень расстояния (обычно от 2 до 5), радиус поиска или количество ближайших точек, а также параметры анизотропии эллипса поиска. Преимуществами IDW являются простота реализации, высокая скорость вычислений, отсутствие необходимости построения вариограмм. Недостатками метода являются его эвристический характер (отсутствие статистического обоснования), склонность к генерации артефактов («бычьи глаза» вокруг скважин с высокими содержаниями), невозможность оценки погрешности интерполяции. Метод IDW широко применяется при экспресс-оценке месторождений, для валидации геостатистических моделей и в случаях недостатка данных для построения надежных вариограмм.	СЗ
		5.3	обоснование параметров эллипса поиска на основании изменчивости свойств геологических тел	Эллипс поиска определяет область пространства, из которой отбираются пробы для интерполяции значения в оцениваемом блоке. Параметры эллипса (радиусы по трем взаимно перпендикулярным осям и углы их ориентации) должны соответствовать пространственной структуре изменчивости оруденения. Радиусы эллипса поиска устанавливаются на основе радиусов корреляции вариограмм, рассчитанных по разным направлениям. Главная ось эллипса ориентируется вдоль направления максимальной непрерывности оруденения (обычно по простиранию рудного тела), вторая ось — по падению, третья — вкрест простирания. Соотношение радиусов по осям характеризует степень анизотропии оруденения. При отсутствии вариограмм параметры эллипса могут быть оценены экспертным путем на основе геологических представлений о морфологии рудного тела. Правильный выбор параметров эллипса поиска критически важен для получения	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				геологически осмысленной и достоверной интерполяции.	
Раздел 6	Динамические геологические модели	6.1	условное моделирование в современных горно-геологических информационных системах	Условное моделирование (conditional simulation) представляет собой метод геостатистического моделирования, позволяющий генерировать множество равновероятных реализаций пространственного распределения признака, каждая из которых точно воспроизводит значения в точках опробования (условие) и обладает заданной статистической и пространственной структурой изменчивости. В отличие от кригинга, дающего единственную сглаженную оценку, условное моделирование воспроизводит истинную изменчивость признака, что особенно важно для решения задач, связанных с оценкой рисков, оптимизацией селективной добычи и планированием усреднения руд. Основными методами условного моделирования являются секвенциальное гауссово моделирование, секвенциальное индикаторное моделирование, метод вращающихся полос. Полученный ансамбль реализаций позволяет оценить неопределенность любых производных параметров (запасов, содержаний, объемов) и принять обоснованные управленческие решения с учетом геологических рисков.	СЗ
		6.2	бескаркасное моделирование	Бескаркасное моделирование (implicit modeling) представляет собой подход к построению геологических поверхностей и объемов на основе неявных функций, задаваемых аналитически по набору опорных точек. В отличие от традиционного каркасного моделирования, требующего ручной оцифровки контуров на каждом разрезе и последующей триангуляции, бескаркасное моделирование автоматически генерирует трехмерные поверхности на основе математических алгоритмов интерполяции (радиальные базисные функции, кригинг индикаторов, метод опорных векторов). Преимуществами метода являются высокая скорость построения моделей, возможность оперативного обновления при поступлении новых данных, объективность и воспроизводимость результатов. Бескаркасное моделирование особенно эффективно для сложноструктурных месторождений с многочисленными разрывными нарушениями и зонами выклинивания.	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				Современные ГГИС (Leapfrog, Micromine Beyond) реализуют этот подход как основной метод геологического моделирования.	
		6.3	применение нейросетевых и других технологий для моделирования месторождений	Искусственные нейронные сети и методы машинного обучения находят все более широкое применение в моделировании месторождений полезных ископаемых благодаря способности выявлять сложные нелинейные зависимости в многомерных геологических данных. Нейросетевые технологии применяются для прогноза содержаний полезных компонентов по комплексу геофизических и геохимических признаков, классификации пород и руд по данным каротажа, автоматического выделения геологических границ, восстановления пропущенных данных, оценки технологических свойств руд. Глубокие нейронные сети используются для генерации трехмерных геологических моделей на основе ограниченного набора скважинных данных. Другие современные технологии включают методы нечеткой логики для моделирования геологической неопределенности, генетические алгоритмы для оптимизации параметров моделей, метод опорных векторов для классификации и регрессии. Применение этих методов требует тщательной валидации результатов и их геологической интерпретации.	СЗ
		6.4	моделирование топографических поверхности с применением нейронных сетей	Топографическая поверхность является базовым элементом геологической модели, определяющим положение дневной поверхности и верхние границы рудных тел, выходящих под наносы. Традиционно цифровая модель рельефа строится методами интерполяции (кригинг, триангуляция) по данным топографо-геодезической съемки, включающим высотные отметки, горизонтали и структурные линии. Нейросетевые подходы позволяют повысить точность моделирования рельефа, особенно в условиях сложного горного рельефа с обрывами, карнизами и скальными выходами, где традиционные методы дают артефакты сглаживания. Сверточные нейронные сети могут обучаться на данных лазерного сканирования или аэрофотосъемки и восстанавливать детальную структуру рельефа с сохранением резких перегибов. Генеративно-состязательные сети	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				используются для создания реалистичных синтетических моделей рельефа, применяемых при имитационном моделировании. Модель топографии, построенная нейросетевыми методами, может быть экспортирована в ГГИС для дальнейшего использования в горном планировании.	
		6.5	использование динамических геологических моделей в современной добывающей промышленности	Динамическая геологическая модель представляет собой цифровую модель месторождения, способную оперативно обновляться и адаптироваться по мере поступления новых данных в процессе эксплуатации. В отличие от статической модели, создаваемой на этапе разведки и редко пересматриваемой, динамическая модель непрерывно уточняется за счет данных эксплуатационной разведки, опробования взрывных скважин, маркшейдерских замеров и геофизического мониторинга. Динамическая модель является основой для оперативного управления горными работами: оконтуривания рудных тел в забоях, планирования буровзрывных работ, усреднения рудопотоков, контроля потерь и разубоживания. Внедрение динамических моделей позволяет повысить точность планирования добычи, снизить потери полезного компонента, оптимизировать затраты на буровзрывные работы и транспортировку. Технологической основой динамического моделирования являются современные ГГИС с возможностью автоматизированного обновления блочных моделей и интеграции с системами диспетчеризации горнотранспортного оборудования.	СЗ
		6.6	основы имитационного моделирования: область его применения, основные методы и подходы, опыт применения имитационных моделей для решения горно-геологических задач	Имитационное моделирование представляет собой метод исследования сложных систем, при котором создается компьютерная модель, воспроизводящая поведение системы во времени с учетом случайных факторов и неопределенностей. В горно-геологической практике имитационное моделирование применяется для решения широкого круга задач: оптимизация цепочек поставок руды от забоя до обогатительной фабрики, оценка производительности горнотранспортного оборудования, планирование усреднительных складов, анализ надежности систем водоотлива и вентиляции, оценка рисков инвестиционных проектов. Основными методами	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>имитационного моделирования являются дискретно-событийное моделирование (описывающее систему как последовательность событий), системная динамика (моделирование потоков и обратных связей) и агентное моделирование (описывающее поведение отдельных элементов системы). Для горно-геологических задач широко используется метод Монте-Карло, позволяющий оценить влияние неопределенности исходных данных (содержаний, объемов, цен) на технико-экономические показатели проекта. Имитационные модели интегрируются с блочными геологическими моделями и позволяют оценивать различные сценарии развития горных работ, выбирать оптимальные стратегии отработки и рассчитывать вероятностные показатели эффективности инвестиций.</p>	

* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: *ЛК* – лекции; *ЛР* – лабораторные работы; *СЗ* – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Ashoke K. Talapatra. "Geochemical Exploration and Modelling of Concealed Mineral Deposits". Springer Cham, 2020 - <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48756-0>
2. Andy J. Howard, Chris Carey, David Knight, Jane Corcoran, Jen Heathcote. "Deposit Modelling and Archaeology". Historic England, 2020 - <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/deposit-modelling-and-archaeology/>
3. Jacqui Coombes. "The Art and Science of Resource Estimation". Coombes Capability, 2008 - <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-art-and-science-resource-estimation.pdf>

Дополнительная литература:

1. Mario E. Rossi, Clayton V. Deutsch. "Mineral Resource Estimation". Springer Dordrecht, 2013 - <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5717-5>
2. Ye Zhang "Introduction to Geostatistics". University of Wyoming, 2011 - <http://geofaculty.uwyo.edu/yzhang/files/Geosta1.pdf>
3. Mohammad Ehteram, Zohreh Sheikh Khozani, Saeed Soltani-Mohammadi, Maliheh Abbaszadeh. "Estimating Ore Grade Using Evolutionary Machine Learning Models". Springer Singapore, 2022 - <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8106-7>

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров
 - Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>
 - ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
 - ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru

- ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «Моделирование месторождений полезных ископаемых».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

РАЗРАБОТЧИКИ:

Профессор ОГ ИШПР ТПУ

Должность, БУП

Подпись

Гусева Наталья
Владимировна

Фамилия И.О.

Научный сотрудник ОГ ИШПР
ТПУ

Должность, БУП

Подпись

Пургина Дарья
Валерьевна

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:

Заведующий кафедрой
недропользования и
нефтегазового дела

Должность, БУП

Подпись

Котельников Александр
Евгеньевич

Фамилия И.О.

РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:

Заведующий кафедрой
недропользования и
нефтегазового дела

Должность, БУП

Подпись

Котельников Александр
Евгеньевич

Фамилия И.О.