

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра геологии и разведки
месторождений полезных ископаемых**

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ

*Методические указания к курсовой работе
для студентов специальности 21.05.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

УДК 55+553: 519.2 (073)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ: Методические указания к курсовой работе / Санкт-петербургский горный университет. Сост. *Я.Ю. Бушув.* СПб, 2020. 24 с.

Изложены цели и задачи, которые ставятся перед студентами при выполнении курсовой работы по курсу «Математические методы моделирования в геологии», Приведены требования к основным разделам курсовой работы и к её оформлению, даны рекомендации по организации работы над курсовой.

Предназначены для студентов специальности 21.05.02 «Прикладная геология».

Научный редактор проф. *А.В. Козлов*

Рецензент начальник отдела геологических информационных систем *П.П. Учаев* (ПАО «Селигдар»)

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа выполняется в шестом семестре одновременно с изучением дисциплин «Математические методы моделирования в геологии» и «Учение о полезных ископаемых».

Целями курсовой работы являются:

- 1) закрепление практических навыков по моделированию рудных тел;
- 2) приобретение опыта обработки результатов геологоразведочных работ, включая математические методы;
- 3) развитие пространственного воображения при интерпретации данных геологоразведочных работ.

Цели курсовой работы, приведённые выше, это цели введения курсовой в учебный план студентов специальности 21.05.02 «Прикладная геология». Цели каждой отдельной студенческой работы должны формулироваться конкретно для этой работы сообразно с исходными данными.

Курсовая работа по умолчанию выполняется в программе **Micromine**. По согласованию с руководителем могут быть использованы любые другие программы.

В работе над курсовой выделяют четыре этапа: подготовительный (получение задания на курсовую работу, подготовка данных, сбор дополнительной информации по объекту); этап графического моделирования объекта; этап компьютерного моделирования объекта; этап написания отчёта.

Готовая работа подлежит защите.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Задание на курсовую работу выдаётся руководителем. Типовое задание включает название темы «*Моделирование рудных тел (рудного тела, участка и т.п.) месторождения (название, вид полезного ископаемого, административная привязка)*», исходные данные для моделирования, а также дополнительные указания к методике выполнения курсовой работы. Исходные данные представляют собой краткое геологическое описание объекта, планы расположения геологоразведочных выработок, данные опробования по ним. Эти данные студент должен изучить, проверить и, при необходимости, откорректировать.

При наличии у студента собственных материалов задание может быть сформулировано на их основе. В последнем случае собранные студентом данные как минимум должны содержать планы расположения разведочных выработок или координаты их устьев, замеры искривлений скважин и каталог маркшейдерских точек по трассам горных выработок, данные их опробования, желательна геологическая документация по этим же выработкам.

Литературные данные по месторождению подбираются студентом **самостоятельно**.

В силу того, что свои материалы имеются у единичных студентов, при написании данной работы надо будет соединить «безымянные» учебные данные с каким-то конкретным месторождением. Выбор месторождения очень вольный, но не произвольный. Из исходных данных можно понять: что является основным полезным компонентом (ПК), какие содержания основного ПК, какие попутные компоненты есть в руде, какие между ними корреляционные связи; имеется геологическая документация; ещё до построения каркасов можно примерно представить как залегают рудные тела, какой они мощности. Опираясь на этот первичный анализ надо определить генетический тип месторождения и выбрать какое-либо месторождение этого типа. Знание генезиса месторождения позволяет лучше понять как должны залегать рудные тела, чем они контролируются. Для этого, а не чисто формы ради, пишется геологическая часть курсовой работы. Также выбранное месторождение необходимо будет сравнить с объектом моделирования.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В курсовой работе необходимо:

1) проанализировать геологическое строение, генезис месторождения, делая упор на рудоконтролирующие факторы;

2) создать компьютерную трёхмерную модель месторождения: каркасная, блочная модели;

3) построить графическую модель месторождения, включающую геологические погоризонтные планы, разрезы, блок-диаграммы, вертикальные или горизонтальные проекции рудных тел с изолиниями содержания полезных и вредных компонентов, карты изопахит и тому подобное (*конкретный набор графических приложений определяется строением месторождения и обсуждается с руководителем курсовой работы*);

4) проанализировать результаты моделирования.

Курсовая работа состоит из текстовой части (пояснительной записки), электронных и графических приложений. Электронное приложение содержит проект, созданный в программе Micromine, и текстовый файл, объясняющий название и назначение каждого файла проекта.

Типовая курсовая работа имеет следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- аннотация;
- содержание;
- введение;
- географо-экономическое положение месторождения;
- геологическая характеристика месторождения;
- методика геологоразведочных работ;
- методика создания модели;
- геологическая интерпретация полученных результатов;
- заключение;
- список использованной литературы;
- текстовые приложения.

Общий объем курсовой работы 20-40 страниц, не считая приложений.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Аннотация должна содержать сведения об объекте исследования, о методике моделирования и исходных данных, о результатах работы. Также смотри [5].

В **содержании** включаются: 1) оглавление; 2) списки таблиц и рисунков; 3) список текстовых приложений; 4) список графических приложений (название, масштаб, количество листов).

Во **введении** указываются цель, задачи работы и материалы, на основе которых она написана. При перечислении материалов необходимо отметить, что собрано и обработано студентом лично, а что заимствовано из литературных источников. Методы исследований, виды вычислительной техники и программного обеспечения, использованные при расчётах. Указывается, какое месторождение изучается, краткие сведения о его открытии, разведке и разработке, информация о недропользователе. Приводится величина запасов полезных ископаемых (**по категориям; на конкретную дату**) с указанием кондиций по которым они рассчитаны.

При использовании материалов, собранных студентом, необходимо отметить, откуда получены исходные данные (собраны лично студентом на предприятии, любезно предоставлены организацией, заимствованы из опубликованных источников).

В главе **географо-экономическое положение** указывается административное и географическое положение месторождения (*с иллюстрацией* в масштабе страны или континента), краткие сведения о климате, орогидрографии, сейсмичности, мерзлотных условиях, экологической ситуации района; экономическая освоенность района месторождения: транспортные коммуникации, расстояния до ближайшей железнодорожной станции, пристани, порта (*с иллюстрацией*: можно совместить её с информацией по географическому положению, в этом случае последняя выполняется в виде врезки); данные о наличии населённых пунктов; обеспеченность рабочей силой; энергетическая база; источники хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения; данные о наличии в районе других разведанных и разрабатываемых месторождений полезных ископаемых.

3.1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В главе даётся геологическое описание выбранного месторождения по литературным источникам и по собранным на практике фондовым и графическим материалам. Описание сопровождается иллюстрациями. Общий объем главы – 5 - 10 страниц.

Начинать описание месторождения следует с кратких сведений об изученности и геологическом строении района в целом; затем описать позицию месторождения в общей геологической структуре района (структурно-тектоническая и металлогеническая привязка – *с иллюстрацией*). Далее по нижеприведённому плану.

Для работ, посвящённых металлическим и неметаллическим полезным ископаемым, примерный план этой главы следующий:

1. Литолого-петрографическая характеристика вмещающих пород.
2. Структура месторождения (рудного поля).
3. Характеристика рудных тел.
4. Вещественный состав, природные типы и промышленные сорта руд.
5. Генезис месторождения.

Для работ, посвящённых твёрдым горючим полезным ископаемым, примерный план описания следующий:

1. Стратиграфия и литология.
2. Тектоника.
3. Характеристика залежей полезного ископаемого – количество залежей, их размеры, описание их формы, строения, элементов залегания; характер выклинивания по падению, простирацию и восстанию (по материалам графических приложений), характер контакта с вмещающими породами, изменчивость мощности угольного пласта.
4. Характеристика качества угля. Выделяемые марки углей, их химический и петрографический состав, технологические показатели (с дополнением по литературным источникам). Пространственное распределение марок углей.
5. Закономерности размещения залежей полезного ископаемого и условия образования месторождения.

Чтобы описание геологического строения месторождения не было формальным следует выделять всё, относящееся к генезису месторождения, условиям залегания рудных тел и качеству руды, не только в разделах им посвящённым, но и во всех остальных.

Для каждого конкретного месторождения приведённый план может меняться. Например, для метаморфических месторождений надо подробно рассмотреть метаморфические преобразования пород, для россыпей – расписывать геоморфологические особенности, и так далее. От студента требуется не дословное следование методическим рекомендациям, а осмысленное выделение факторов, существенных для размещения рудных тел, влияющих на качество руды.

3.1.1. ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Строение и состав осадочных и вулканических пород, распространённых в пределах месторождения. Дается характеристика всех развитых на объекте осадочных и вулканогенных образований. Описание отложений ведётся в стратиграфической последовательности от древних к молодым с указанием возрастных подразделений и индексов. Возрастные подразделения могут быть выделены в подзаголовки, которые должны полностью расшифровывать индекс.

Каменноугольная система

Нижний отдел

Турнейский ярус (C_{1d})

Характеристика пород включает: площадь распространения, характер контакта с подстилающими и перекрывающими горизонтами, литологический состав, характер слоистости, структурные и текстурные особенности пород, мощность отложений и её изменчивость. Для тех слоёв, которые имеют хотя бы отдалённое отношение к оруденению, нужно привести петрографическую и литологическую характеристику пород. Вмещающие породы, залегающие выше и ниже продуктивной толщи, характеризуются менее детально, указываются лишь состав, возраст и мощность слоёв горных пород.

Нужно обращать внимание на выдержанность строения толщи горных пород, на маркирующие горизонты, на фациальные переходы в толще.

Для вулканических пород следует указать принадлежность к конкретной магматической формации.

Для современных россыпей даётся последовательное, от древних к молодым, описание пород (рыхлых отложений) с указанием возрастных подразделений, гранулометрической и минералогопетрографической характеристикой состава горизонтов и толщ, основных закономерностей изменения их мощности в пределах площади участка.

При характеристике **интрузивных образований** следует указать их принадлежность к определённым магматическим комплексам (описание ведётся от древних к молодым), после чего отмечается распространение интрузивных тел, их форма, размеры, условия залегания, петрографический состав, характер преобразования пород в области экзо- и эндоконтакта. В ряде случаев интерес представляет проявление нескольких фаз интрузивной деятельности, ксенолиты, текстуры течения, закономерно ориентированные системы трещин. **Отдельно выделить взаимоотношение с рудными телами, рудой.**

При широком распространении на изучаемой площади **регионально- или контактово-метаморфизованных пород**, если они влияют на локализацию и особенности состава полезного ископаемого, должны быть приведены сведения о возрасте и фациях метаморфизма, петрографическом составе пород, текстурно-структурных их особенностях и т.д.

Для **метасоматических пород** важны: петрографический состав, структуры и текстуры пород, зональность минералообразования, пространственное размещение; контроль интрузивными массивами, зонами трещиноватости, благоприятными литологическими горизонтами; связь рудных тел с метасоматитами.

3.1.2. СТРУКТУРА МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУНОГО ПОЛЯ)

Структура рудного поля (месторождения, рудного тела) – те особенности его геологического строения, которые обусловили его морфологию и закономерное размещение в нём месторождений (рудных тел, рудных столбов).

Начинать раздел следует с региональной тектонической позиции, определяющей основные особенности строения рудного по-

ля. Далее приводится характеристика складчатых и разрывных нарушений, их взаимоотношений и последовательности образования. Все структуры описываются от крупных к мелким.

При характеристике складок приводятся следующие данные: форма, характеристика шарнира (ориентация в пространстве, погружение или ундуляция), протяжённость и ширина складок (для брахискладок – отношение длины к ширине), углы падения крыльев, возраст и состав пород в ядре и на крыльях складок.

При характеристике разрывных нарушений необходимо отметить: кинетический тип нарушения (сброс, надвиг, сдвиг и т.д.), направление и протяжённость нарушений, возраст пород в лежачем и висячем боках, угол падения плоскости сместителя, амплитуду перемещения пород по сместителю, наличие и ширину зон дробления или милонитизации, приуроченность изверженных пород, метасоматитов и рудных тел к разрывным нарушениям. Крупные нарушения характеризуют обычно индивидуально, а мелкие – группируя их по системам с учётом возраста и пространственной ориентации. Следует указать размеры тектонических блоков, типы горных пород, слагающих блок.

*Отдельным подразделом необходимо описать **рудоконтролирующие факторы и закономерности размещения рудных тел.*** Здесь рассматриваются особенности пространственного расположения рудных тел и – для металлического и агрохимического сырья – полезного компонента в их составе. Необходимо указать, к каким геологическим образованиям (магматическим, осадочным или метаморфическим комплексам, складчатым или разрывным структурам) приурочены рудные тела (или месторождения). При наличии на месторождении рудных столбов рассмотреть их генезис и факторы, определяющие их форму, размеры и элементы залегания.

Для ряда экзогенных месторождений вместо раздела о тектонике целесообразно ввести раздел, посвящённый ***геоморфологии.*** В нем необходимо кратко описать основные формы рельефа и их связь с оруденением.

Для россыпей важны аккумулятивные формы рельефа, их пространственное размещение и генезис, а также рельеф и характер плотика, связь рельефа с неотектоникой.

Для инфильтрационных и остаточных месторождений надо показать особенности рельефа, карстообразования, описать разрывные нарушения и контакты горных пород, способствующие развитию коры выветривания и инфильтрации рудных компонентов; описать зональность коры выветривания.

3.1.3. ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНЫХ ТЕЛ

Раздел включает в себя сведения об их количестве, форме, размерах, строении, условиях залегания, закономерностях пространственного размещения. Более подробно описываются крупные рудные тела, так называемые «лидеры», они же, как правило, являются наиболее изученными. Сведения о более мелких телах могут быть приведены в табличной форме. При характеристике морфологии рудных тел важно не ограничиваться отнесением их к тому или иному морфологическому классу (жила, линза, пласт и т.д.), а попытаться показать, чем обусловлена та или иная форма тела, какова степень её сложности. Сведения об элементах залегания тел полезных ископаемых, их мощности, качестве руды - должны включать также оценку степени их изменчивости, желательно количественную. **С выводом о принадлежности месторождения к определённой группе по сложности геологического строения.**

При наличии зональности строения рудных тел (по простиранию, по падению, по мощности) необходимо указать число зон, их мощность, пространственные взаимоотношения и в чем проявлена зональность (химический и минеральный состав, текстура и структура руд, форма рудных тел). Особое внимание должно быть уделено зоне окисления, её пространственным параметрам.

3.1.4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ, ПРИРОДНЫЕ ТИПЫ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ СОРТА РУД

Этот раздел включает информацию о минеральном и химическом составе руд, их структурно-текстурных особенностях, выделяемых типах и сортах руд.

Для угольных месторождений глава будет называться **«Марочный состав и качество углей»**. В ней должна быть приведена

техническая классификация углей, указано распределение марок углей на площади и в разрезе бассейна, дана макроскопическая характеристика, химические, технические и технологические особенности каждой марки.

Минеральный состав руд и структурно-текстурные особенности руд. Перечисляются главные, второстепенные и редкие рудные и жильные (нерудные) минералы, текстуры и структуры руд. Особое внимание следует уделять типоморфным (характерным для данного генетического типа месторождений) текстурам. Для промышленно ценных минералов большое значение имеют элементы-примеси. Для нерудного сырья (каменного угля, асбеста, слюды, исландского шпата и др.) следует отметить те физические свойства минералов или пород, которые представляют особый интерес именно для данного вида сырья (диэлектрические свойства слюды, дефекты кристаллов исландского шпата и т.п.). Второстепенные и редкие минералы в подобном описании не нуждаются, за исключением тех случаев, когда они имеют промышленное значение.

Для россыпных месторождений даётся описание тяжёлой фракции, указываются типоморфные особенности промышленных минералов.

Отдельно, в конце главы, следует описать строение, мощность и минеральный состав зоны окисления.

Для угольных месторождений вместо описания минералов приводится характеристика ингредиентов и петрографических типов угля.

При характеристике **химического состава руд** должно быть указано, какие компоненты являются главными (элементы, обеспечивающие экономическую рентабельность отработки месторождения; те компоненты, которые заложены в кондициях и по которым ведётся оконтуривание месторождения), а какие рассматриваются как полезные или вредные примеси, влияющие на качество полезного ископаемого.

Для каждого компонента следует указать форму нахождения в руде, средние содержания и колебания содержаний в целом по месторождению и по отдельным рудным телам или участкам.

Природные типы и промышленные сорта руд. Указываются критерии выделения природных типов и разновидностей минерального сырья (текстурные и структурные признаки, минеральный состав). Затем приводится характеристика каждого типа и разновидности руды: относительное распространение руды, пространственное размещение руды данного типа в контурах рудных тел, минеральный и химический состав, текстурные особенности, происхождение. Природные типы объединяются в несколько промышленных сортов, каждый из которых имеет свою технологию переработки.

3.1.5. ГЕНЕЗИС МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Излагаются точки зрения на происхождение месторождения и приводятся геологические факты, подтверждающие ту или иную гипотезу, или противоречащие ей. При рассмотрении генезиса нужно принимать во внимание геологическое положение месторождения, состав, условия образования и околорудные изменения вмещающих пород, форму, условия залегания и строение рудных тел, парагенезисы и взаимоотношения минералов, структурно-текстурные особенности руд, распределение компонентов в рудах и многие другие факты.

Для россыпных месторождений, кроме рассмотрения генетических типов россыпей, участвующих в составе месторождения, делается предположение о вероятном местонахождении коренного источника.

3.2. МЕТОДИКА ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В главе указывается: 1) глубина разведки месторождения; 2) система разведки (горная, горно-буровая, буровая); приводится таблица видов и объёмов геологоразведочных работ; 3) информация о геометрии разведочной сети (формы, ориентировки и плотности); 4) количество проб, отобранных различными способами; длина секций опробования и диаметр керна или сечение борозд; 5) какие элементы в пробах определены; 6) значения объёмной массы, принятые для подсчёта запасов полезных ископаемых; влияние химического, минерального состава полезного ископаемого на её величину.

Объем раздела 1-2 стр.

3.3. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ

Описывается процесс *создания и проверки базы данных*. Должна быть задействована как автоматическая проверка базы данных в Micromine, так и статистическая проверка всех численных полей, визуальная проверка. Студент может возмутиться, что это очень краткая и размытая инструкция, но описать все возможные ошибки и способы их проверки невозможно. Лишь два совета универсальны: надо быть предельно внимательным, и всегда руководствоваться здравым смыслом. Отчёты о проверке базы данных должны быть сохранены и представлены в виде таблиц внутри текста или в приложениях. Подробнее о проверке ошибок смотри в **главе 5**.

Описывается создание *геологической модели* (каркасы, поверхности). Зачастую отрисовать все задокументированные разновидности пород невозможно, поэтому требуется выделять среди них наиболее важные, остальные – объединять, в разумных пределах упрощать (разработать геологическую легенду).

Описывается *анализ данных опробования*. Для всех компонентов, определённых в руде, для длин проб приводится описательная статистика. Строятся гистограммы. Основная, но не единственная, их задача – установить однородна ли выборка; в случае неоднородности – выделить однородные части (популяции, подвыборки).

Получить унимодальную гистограмму по реальным данным опробования практически невозможно, как минимум будет две моды: первая формируется вмещающими породами, вторая – рудой. Содержание, отвечающее минимуму между ними (первый минимум на гистограмме) – это так называемый «природный» борт. Зачастую может быть больше двух мод. Появление дополнительных максимумов на гистограмме может быть объяснено различием в составе и строении руды (например, по содержанию основного полезного компонента: убогие, бедные, рядовые, богатые руды), но также обеспечиваться за счёт разницы в пробоотборе и аналитике. Поэтому надо очень аккуратно подходить к выделению статистических популяций. Если есть какая-либо дополнительная информация о пробах, то её необходимо привлекать: данные документации, минеральный состав; информация о пробах: диаметра керна, выхода керна, сечение борозды, длина борозды; работы разных временных периодов, и многое другое.

Например, гистограмма роста человека бимодальна, за счёт разницы в росте мужчин и женщин, но никому не приходит в голову определять пол человека по его росту, так как есть более очевидные признаки. В Ваших заданиях есть геологическая документация. Необходимо проанализировать (дисперсионный анализ) влияние литологического фактора на содержание.

Выводы дисперсионного анализа надо проверить визуально – каждой статистической популяции присвоить цвет и вывести, например, штриховкой по скважинам, на геологическую графику.

По выявленному «природному» борту надо отстроить каркасы минерализованных зон. При наличии ярко выраженных минимумов на гистограмме – посмотреть возможно ли отстроить каркасы и по ним, выстраиваются ли пробы, к ним принадлежащие, в какие-либо структуры. Например, обогащённая центральная часть рудного тела, приуроченность высоких содержаний к висячему зальбанду жилы, концентрация вредных примесей к донной части, и т.п.

Лишь отстроив геологические и статистические (минимумы на гистограммах) границы можно приступать к построению каркасов рудных тел по кондициям, приведённым в задании к курсовой.

В раздел *методика построение рудных тел* включаются:

- 1) значения кондиций, установленные для подсчёта запасов;
- 2) принципы оконтуривания рудных тел; принятая методика интерполяции и экстраполяции;
- 3) методика выявления выдающихся ("ураганных") содержаний полезных компонентов; анализ влияния проведённого ограничения на результаты подсчёта запасов полезных ископаемых отдельных рудных тел и месторождения полезных ископаемых в целом (по данным вариантов подсчёта запасов полезных ископаемых с учётом и без учёта "ураганных" содержаний и мощностей) и оценка этого влияния (в процентах от величины общих запасов полезных ископаемых);
- 4) результаты подсчёта по группам и категориям запасов полезных ископаемых (для забалансовых запасов - их распределение в соответствии с причинами, по которым они отнесены к забалансовым).

3.4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результат моделирования геологического строения описать по плану разделов **3.1.1**, **3.1.2**, сравнивая с геологическим строением выбранного месторождения.

Результат построения рудных тел описать по плану раздела **3.1.3**. Полученные средние и суммарные показатели о рудных телах и о руде требуется оценить, сравнить. Во-первых, если рудных тел получается более одного, то они сравниваются между собой. Во-вторых, в качестве объекта сравнения следует использовать описанное месторождение (по плану соответствующих глав). В-третьих, существуют разнообразные классификации: по величине запасов, по качеству руды. Большая их часть приведена в методических рекомендациях ГКЗ, но зачастую *требуется провести дополнительный поиск информации*.

Также в сравнении надо привести информацию **о изменчивости параметров**: элементов залегания, мощности рудного тела, содержания компонентов. При этом следует использовать знания, полученные в курсе «Математические методы моделирования в геологии»: методы сглаживания, расчёты автокорреляционной функции, полувариограмм и т.п. Определить группу сложности геологи-

ческого строения, категорию запасов (опираясь лишь на плотность сети наблюдений, без учёта остальных требований к запасам различных категорий).

При описании руды и рудных тел, при сравнении рудных тел между собой и руды с вмещающими породами, следует пользоваться всеми возможными статистическими методами, изученными в курсе *«Статистические методы в геологоразведочной практике»*. Кластерный и факторный анализы использовать в обязательном порядке.

В **заключении** даются краткие выводы: общая сводка геологических особенностей месторождения, определение его генетического типа; характеристика рудных тел; величина и категория запасов; качественные показатели руды, возможные направления использования сырья.

Особое внимание уделить выявленным статистическим и пространственным закономерностям.

Выводы должны быть конкретными и повторять ранее сделанные утверждения. Следует избегать общих формулировок типа «научились работать в программе», «закрепили навыки», «проведены исследования», «получены результаты» и т.п.

Приветствуются критические замечания к любому аспекту курсовой работы.

Так как невозможно дать одинаковые методические рекомендации для всех существующих тем курсовой работы в общих методических рекомендациях, то задания по каждой теме содержат перечень необходимых графических приложений и таблиц, а также рекомендации к порядку выполнения работы.

Всегда помните, что исчерпывающую инструкцию написать невозможно. В помощь студенту всегда есть клавиша F1 (вызов справки), и метод проб и ошибок. При использовании этого метода не забывайте делать резервные копии.

4. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Общий объем курсового проекта 20-40 страниц. Работа должна быть выполнена в соответствии с общими требованиями университета к оформлению курсовых и квалификационных работ [5].

В таблицах, на рисунках и чертежах без объяснения используются только общепринятые сокращения: м, кг, с, град, и т.д., и т.п., проч.. Обозначения румбов (ЮВ, СЗ и т.п.), знаки №, §, %, единицы измерения – м, кг, с и т.д. – применяются только при численных значениях, в прочих случаях они пишутся словами. Например, простирание – СВ 200, но – северо-восточное простирание; 20 м, но – длина в метрах. Стратиграфические индексы, индексы минералов и горных пород самостоятельно в тексте не используются.

Законченная курсовая работа представляется студентом на проверку руководителю, одновременно в бумажной (в сброшюрованном виде) и электронной формах. Одновременно с текстом курсовой работы сдаётся графика и электронный проект в Micromine.

Данная курсовая имитирует отчёт по подсчёту запасов. Недра, в нашей стране, собственность государства, поэтому подобные отчёты проходят обязательную государственную экспертизу, и к материалам, предоставленным на экспертизу, предъявляются требования: *«Требования к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчёту запасов твёрдых полезных ископаемых»*. Рекомендуем с ними ознакомиться на сайте ГКЗ (<http://gkz-rf.ru/tverdye-poleznye-iskopaemye>). К курсовой работе требования существенно мягче, желающие могут попробовать выполнить все требования, предъявляемые к официальному отчёту. Также на сайте ГКЗ есть важная справочная информация: *методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых* по видам сырья. С ними надо ознакомиться и **в обязательном порядке** использовать при выполнении курсовой работы.

Будущие специалисты не ограничены работой в родной стране, поэтому им необходимо знакомиться и с международными стандартами отчётности. Во многих странах минеральные месторо-

ждения являются объектом купли и продажи, акции горнорудных компаний торгуются на биржах. Запасы в недрах - это актив компании, который она может напрямую продать, либо привлечь под него инвестиции. Инвесторам надо продемонстрировать надёжность вложения их средств. Инвесторам, которые зачастую не имеют никакого отношения к геологии и горному делу, надо предоставлять информацию единообразно и понятно – для обеспечения этих требований разработаны *кодексы публичной отчётности*. Из самых распространённых: австралийский JORC, и канадский NI-43-101. Из них студентам следует узнать о таком понятии как «компетентное лицо (персона)»: какие предъявляются требования к компетентным лицам, какая ответственность на них лежит – поскольку автор курсовой работы и есть компетентное лицо. Также можно использовать данные отчёты как примеры – на сайте <https://www.sedar.com/> размещаются все отчёты NI-43-101, отчёты по JORC можно найти на сайтах горнорудных компаний.

4.1. ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ ГРАФИКА

Графические приложения выполняются на ватмане или белой чертёжной бумаге тушью, допускается печать чертежей с разрешением не менее 300 dpi. Чертежи должны быть наглядны, аккуратно выполнены и хорошо читаться на расстоянии. Геологические границы проводятся чёрной тушью, разновидности пород и промышленные сорта руд раскрашиваются цветными карандашами. Контуры рудных тел, изопакиты могут проводиться любым цветом, в соответствии с разработанной легендой.

Вся геологическая графика должна составляться со строгим соблюдением масштаба и требований инструкций по оформлению маркшейдерской и геологической графики, сопровождаться числовыми и линейными масштабами, соответствовать тексту курсовой работы. Следует соблюдать порядок перечисления условных обозначений, расположенных справа от карты. Условные обозначения должны включать все встречающиеся на карте и разрезах объекты. Линии геологических разрезов должны быть нанесены на карту и обозначены буквами или цифрами. Разрезы должны соответствовать

геологической карте. На них должны быть указаны численный и линейный масштабы, ориентировка по сторонам света, начало и конец разреза, обозначение разреза (например, разрез по линии АБ или разрез по разведочной линии I). Элементы залегания горных пород на геологической карте и в разрезах должны соответствовать друг другу. Если геологические разрезы построены по ломаной линии, то нужно отметить точки излома. Геологические индексы должны быть проставлены в каждом контуре выделенных пород. Название карты и её масштаб обычно пишут сверху, а линейный масштаб, фамилии составителей и год – под картой. Раскраску и индексацию карты нужно делать в соответствии со стандартами цветными карандашами, тушью (отмывкой).

На разрезах должны быть показаны линии стволов скважин, границы всех разновидностей пород, выделенных при геологической документации, дневная поверхность и контуры рудных тел.

Геологическая карта месторождения может включать нестандартные условные обозначения в связи с детальным расчленением вмещающих пород и руд. Тем не менее, они должны быть одинаковыми на геологической карте и разрезах по месторождению. По возможности условные обозначения к геологическим картам разных масштабов делают одинаковыми. Тела полезных ископаемых обязательно должны быть нанесены на графику.

5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В течение первых двух недель VI семестра студент получает у руководителя задание на курсовую работу. Студент может высказать свои пожелания и предложения о теме работы. Сроки выполнения курсовой работы и её защиты устанавливаются в соответствии с учебным планом. С настоящими методическими указаниями студенты должны быть ознакомлены до начала выполнения работы.

В процессе подготовки студент не реже одного раза в две недели должен докладывать руководителю о ходе работы над проектом и обращаться за консультациями.

Самое тщательное, самое пристальное внимание при работе над курсовой надо уделить проверке исходных данных. Следует помнить, что ошибки могут не только содержаться в исходных данных, но и возникнуть при неаккуратном обращении с данными, например, при выполнении такой простой операций как копирование.

Выявленные ошибки не должны удаляться бесследно! Для моделирования был предоставлен определённый набор исходных данных – любое его видоизменение надо фиксировать: отчёты об автоматической проверке сохранять – напротив ошибок оставлять комментарий, что было сделано для её устранения. Кроме отчётов, создаваемых Micromine, необходимо вести **журнал своих действий**.

Следует завести тетрадь с ограниченным количеством жёстко сброшюрованных страниц, страницы пронумеровать. Страницы не вырывать. Если сделана ошибка – зачеркнуть, вписать дату и причину исправления. Каждый день в начале работы указать дату, включая год, описать каждую операцию, которую выполнили... Теперь Вы сможете в точности повторить расчёт в любое время... **Отмечать все изменения или дополнения в базе данных** [6].

«Неспособность обеспечить понятной информацией о всех деталях выполненной оценки запасов месторождения может привести к мнению, что эксперт сделал свою работу некачественно» [6].

Частью такого журнала должна стать опись файлов проекта Micromine (обязательная часть электронного приложения к курсовой).

Законченная курсовая работа просматривается руководителем и при наличии в работе ошибок или недостаточно проработан-

ных вопросов, после соответствующих разъяснений, возвращается студенту для исправлений и окончательной доработки. **На подобную доработку уходит от двух недель.**

К защите допускается лишь готовая курсовая работа, при наличии электронного варианта текста и электронного приложения. Защита проводится перед специальной комиссией из двух-трёх преподавателей.

При защите курсовой работы студент делает краткий (5-7 мин.) доклад перед комиссией, отвечает на вопросы и замечания и даёт разъяснения по содержанию работы. Доклад сопровождается презентацией.

Курсовая работа оценивается дифференцированно. При определении оценки члены комиссии учитывают качество работы и доклада, владение материалом, полноту и качество ответов на вопросы. Оценки и общие замечания по курсовым работам объявляются студентам сразу после совещания членов комиссии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боровиков В.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В. Боровиков – СПб: Питер, 2003. – 688 с.
2. *Дэвис Дж.* Статистический анализ данных в геологии. В 2 книгах / Пер. с англ. В.А. Голубевой. – М.: Недра, 1990. Книга 1 – 319 с. Книга 2 – 427 с.
3. *Бушуев Я.Ю.* Компьютерные технологии подсчёта запасов: Методические указания к лабораторным работам / Я.Ю. Бушуев, Г.С. Федотов. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – 99 с.
4. *Каждан А.Б.* Математические методы в геологии / А.Б. Каждан, О.И. Гуськов. М.: Недра, 1990. – 251 с.
5. *Онушкина И.О.* Правила оформления курсовых и квалификационных работ: Методические указания / И.О. Онушкина, П.Г. Талалай. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2016. – 58 с.
6. *Armstrong M.* Basic linear geostatistics. – Springer Science & Business Media, 1998. – 153 p.
7. *Поротов Г.С.* Математические методы моделирования в геологии / Г.С. Поротов. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского горного института, 2006. 223 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Исходные данные для курсовой работы.....	4
2. Структура курсовой работы	5
3. Содержание основных разделов курсовой работы.....	6
3.1. Геологическая характеристика месторождения	7
3.1.1. Литолого-петрографическая характеристика вмещающих пород.....	8
3.1.2. Структура месторождения (руного поля)	9
3.1.3. Характеристика рудных тел	11
3.1.4. Вещественный состав, природные типы и промышленные сорта руд.....	11
3.1.5. Генезис месторождения	13
3.2. Методика геологоразведочных работ.....	14
3.3. Методика создания модели	14
3.4. Интерпретация результатов моделирования.....	16
4. Оформление курсовой работы	18
4.1. Демонстрационная графика.....	19
5. Организация и защита курсовой работы.....	21
Библиографический список.....	23

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ

*Методические указания к курсовой работе
для студентов специальности 21.05.02*

Сост. *Я.Ю. Бушув*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
геологии и разведки месторождений полезных ископаемых

Ответственный за выпуск *Я.Ю. Бушув*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 28.10.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,4. Усл.кр.-отт. 1,4. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 75 экз. Заказ 773.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2