

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук  
(ИГД УрО РАН)

*На правах рукописи*



**Яковлев Андрей Михайлович**

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В  
РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЫРЬЯ**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Корнилков Сергей Викторович

Екатеринбург – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>9</b>
1.1 Анализ применяемых систем управления качеством на крупных железорудных горно-обогатительных комбинатах	10
1.2 Анализ влияния горно-геологических условий на выбор способа управления качеством	20
1.3 Анализ методик и программного обеспечения автоматизированного планирования горных работ в режиме управления качеством	24
1.4 Выводы по главе. Цели, задачи и методы исследований	31
<b>2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.</b>	<b>34</b>
2.1 Обоснование подходов к выбору способа управления качеством	34
2.2 Методика адаптации и переработки геологической базы данных для предварительной оценки изменчивости качества минерального сырья	42
2.3 Районирование руд с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого	61
2.4 Влияние порядка отработки при оценке изменчивости качественных показателей добычи	69
2.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	76
<b>3. МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО И ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ</b>	<b>80</b>
3.1 Создание геоинформационной базы для планирования горных работ	80
3.2 Формирование матричных моделей погоризонтных планов для планирования горных работ	88

<b>3.3</b>	<b>Формирование динамических блочных моделей как информационная основа цифровых двойников порядка отработки эксплуатационных горизонтов</b>	<b>98</b>
<b>3.4</b>	<b>ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3</b>	<b>108</b>
<b>4.</b>	<b>ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАНОЙ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ</b>	<b>112</b>
<b>4.1</b>	<b>Комплексная оценка потерь и засоренности минерального сырья (примере Эльгинского месторождения каменного угля)</b>	<b>112</b>
<b>4.2</b>	<b>Комплексная оценка титаномагнетитовых руд Гусевогорского и Собственно-Качканарского месторождений</b>	<b>121</b>
<b>4.3</b>	<b>Геоинформационное обеспечение планирования горных работ на примере карьеров АО «Карельский окатыш»</b>	<b>131</b>
	<b>ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4:</b>	<b>137</b>
<b>5.</b>	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>139</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А – ЛИСТИНГИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ</b>	<b>142</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>144</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Управление качеством минерального сырья является важным этапом современных процессов горного производства, особенно при освоении сложноструктурных месторождений и эксплуатации действующих горных предприятий. Изменение горнотехнических и горно-геологических условий добычи полезных ископаемых сопровождается в настоящее время ужесточением требований к полноте извлечения полезных компонентов и чистоте продукции, получаемой из минерального сырья. Это требует совершенствования подходов к планированию и проектированию развития горных работ в динамике на основе применения современных методик геоинформационного моделирования, обеспечивающих надежные решения при минимальных затратах времени.

Практика геоинформационного моделирования свидетельствует о том, что действующее программное обеспечение и методика проектирования и планирования горных работ основаны на построении совокупности каркасных, блочных, матричных и др. моделей, которые служат основой для решения задач подсчета запасов, обоснования кондиций, нормирования потерь, выбора технологического оборудования и пр. Областью современных исследований является совершенствование методов компьютерного моделирования месторождений и горных работ на основе горно-геологических информационных систем (ГГИС) с целью обеспечения полноты извлечения минерального сырья в режиме управления и стабилизации его качества с доведением до стадии получения товарной продукции при комплексном освоении недр.

Решение данной актуальной задачи является продолжением исследований уральской школы управления качеством минерального сырья и основывается на фундаментальных результатах д.т.н., проф.: Бастана П.П., Хохрякова В.С., Гальянова А.В., Лаптева Ю.В., Аленичева В.М. и др.

**Объектом исследования** является геопространственное размещение качества полезного ископаемого в недрах как база для обоснования технологий рудоподготовки при планировании горных работ.

**Предметом исследования** являются методики геоинформационного моделирования и накопления геологических баз данных, а также формирования компьютерных моделей размещения качества минерального сырья, основанных на выявленных закономерностях изменчивости горных руд и пород месторождений применительно к календарному планированию открытых горных работ.

**Целью работы** является разработка методики районирования карьерного пространства и анализа заданных объемов минерального сырья требуемого качества на базе блочного моделирования.

**Идея работы** заключается в создании унифицированных геоинформационных моделей для выбора оптимальной системы управления качеством на основе учета изменчивости качественных показателей минерального сырья сложноструктурных месторождений при проектировании и планировании горных работ.

**Методы исследований.** В работе использованы анализ и обобщение литературных источников, методы математической статистики и корреляционного анализа, расчетно-аналитическое и горно-геометрическое компьютерное моделирование с применением горно-геологических информационных систем, дедукция, абстрагирование, программирование, компьютерная визуализация, вычислительный эксперимент.

#### **Задачи исследований:**

1. Произвести анализ и оценку применяемых систем управления качеством на крупных железорудных ГОКах, изучить вопрос состояния теоретических исследований и практических разработок по управлению качеством на разных стадиях планирования горных работ.

2. Систематизировать алгоритмы обоснования способа управления качеством в зависимости от горно-геологических условий месторождения.

3. Адаптировать структуру базы данных детальной и эксплуатационной разведки месторождения, как основу для компьютерного моделирования и предварительной автоматизированной оценки.

4. Разработать экспресс-методику районирования технологических типов руд в карьерах с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого.

5. Разработать методику оценки пространственной изменчивости качественных характеристик минерального сырья в динамике развития горных работ.

6. Разработать методику геоинформационного обеспечения перспективного и текущего планирования открытых горных работ в режиме управления качеством.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснование способа управления качеством на различных этапах прогноза развития горных работ осуществляется на основании геопространственной оценки изменчивости коэффициентов вариации содержания полезных и вредных компонентов минерального сырья по глубине и площади рудного тела, при этом, селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3.

2. Обоснование подходов к управлению рудопотоками на участках карьера в режиме управления качеством достигается изменением высоты выемочного слоя и шага подвигания горных работ, способа выемки, усреднения или предобогащения, осуществляемых на основании анализа изменчивости качества по предложенной методике районирования природных и технологических типов руд.

3. Информационное обеспечение планирования горных работ обеспечивается созданием совокупности блочных, каркасных и матричных динамических моделей, учитывающих неоднородность распределения показателей качества минерального сырья и обеспечивающих достижение заданных показателей по объемам и содержанию оцениваемых компонентов в геопространстве и времени.

#### **Научная новизна работы состоит в:**

– целенаправленном системном геоинформационном моделировании различных горно-геологических условий, как базы для оценки и рационального комплексного использованию запасов месторождений;

– выборе способа управления качеством минерального сырья на основе экспресс-оценки и автоматизированного поиска перспективных для управления качеством участков рабочей зоны карьера.

– разработке экспресс-методики геоинформационного обеспечения процессов планирования горных работ, основанной на вероятностно-статистическом анализе изменчивости качественных характеристик, обеспечивающей гибкое поэтапное принятие технологических решений.

**Практическое значение работы** состоит в разработке комплекса методик, адаптирующих геологические базы данных к решению задач управления качеством минерального сырья, используемых различными программными системами, в т.ч. авторской, выработан алгоритм анализа распределения качества руд в недрах, как основа технологических подходов к его стабилизации, разработаны основные блоки методики планирования открытых горных работ в режиме формирования рудопотоков заданного качества.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректностью постановки задач и применения методов исследования, достаточным объемом проанализированной информации и изученных статистических данных, аргументированной обоснованностью теоретических выводов и практических рекомендаций, сходимостью результатов моделирования и фактического распределения качественных характеристик в массиве горных пород.

**Личный вклад автора** состоит в постановке задач и поиске методов решения, сборе, обработке, анализе, интерпретации данных, разработке алгоритмов, элементов программного обеспечения и методик геоинформационного моделирования разнородных данных для выбора рационального способа управления качеством, в создании методики накопления геологических баз данных, построении компьютерных моделей, разработке усовершенствованной методики компьютерного планирования горных работ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: XIV-XVI Уральской горнопромышленной декаде (Екатеринбург,

2016-19), V-VII Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии» (Екатеринбург, 2016-22), X-XVI научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2009-22), V Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем» (Казань, 2016), ученом совете ИГД УрО РАН.

**Реализация работы.** Разработанные БД, модели, алгоритмы и методики по геоинформационному моделированию месторождений или его участков, планированию горных работ, систем рудоподготовки, обработки данных применяются при проведении фундаментальных исследованиях, выполняемых в рамках ГОСЗАДАНИЯ ИГД УрО РАН, а также прикладных НИР по Качканарскому, Костомукшскому, Качарскому и др. месторождениям.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 9 в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из них 3 в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, 1 приложения и заключения, изложенных на 152 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунка, 28 таблиц и список использованных источников из 88 наименований.

## 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В мире наблюдается тенденция снижения добычи минералов на каждого жителя Земли. За последние 20 лет содержание цветных металлов в рудах снизилось в 1,3-1,5 раза, железа и золота в 1,25 раза, доля труднообогатимых руд и угля возросла с 15 до 40%. [1]

Вступление в мировой рынок повышает требование к качеству концентратов по технологическим и экономическим нормативам. В этих условиях повышение полноты и комплексности обогащения полезных ископаемых, создание высокоэффективных экологически безопасных технологий приобретает первостепенное значение. Для решения данных задач, начиная с 50 годов 20 века выдающимися учеными был разработан комплекс алгоритмов, методов и методик для прогноза распределения качественных характеристик в недрах – геометризации месторождений, обоснованию оптимального режима горных работ в режиме управления качеством и автоматизации планирования горных работ с применением ЭВМ, способам повышения и стабилизации качества рудопотоков за счет комплексного и рационального использования запасов, а также применения ряда технологических приемов по управлению запасами и грузопотоками.

Большой вклад в разработку вопросов геометризации месторождений и обоснования плотности геологоразведочной сети внесли маркшейдеры-геометры: проф., д.т.н. В.А.Букринский, Г.И.Вилесов, В.М.Гудков, В.В.Ершов, В.И.Кузьмин, А.М.Осецкий, П.А.Рыжов, Е.П.Тимофеев, И.Н.Ушаков, И.В.Францкий, Е.Ф.Фролов, Б.И.Беляев, В.М.Калинченко, Matheron G., Brooker P.I, Ю.В.Коробченко, Л.И. Четвериков, А.В. Гальянов, В.М. Калинченко и др. [2-22]

Вопросы усреднения и рудоподготовки руд широко освещали: проф., д.т.н. П.П. Бастан, М.В. Васильев, Грачев Ф.Г., Е.И. Азбель, В.Н. Зарайский, Г.Г. Ломоносов, В.И. Ревнивцев, Я.М. Адигамов, А.А. Гармаш, А.Д. Школьников, А.А. Ещенко, В.В. Осмоловский, С.С. Резниченко, Л.П. Соколов, Г.В.Секисов, Ю.В. Лаптев и другие. [23-44]

Установлением оптимальных параметров режима горных работ карьеров и вопросами геоинформатики, в частности автоматизированного планирования горных работ занимались и занимаются ведущие ученые в теории проектирования карьеров: В.В. Ржевский, А.И. Арсентьев, Н.В. Мельников, В.С. Хохряков, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов, И.Б. Табакман, Pildes R., David M., Rendu J.M., С.С. Резниченко, С.Д. Коробов, В.Г. Близнюков, В.Л. Яковлев, В.М. Аленичев, В.И. Суханов, В.М. Шек, С.С. Кубрин, С.В. Шаклеин, С.В. Корнилков, Ю.Е. Капутин, О.В. Наговицын, и другие [45-67].

### **1.1 Анализ применяемых систем управления качеством на крупных железорудных горно-обогатительных комбинатах**

Анализ опыта применения методов и систем управления качеством подготовки минерального сырья для обогащения на ведущих железорудных ГОКах России позволил установить современные подходы и основные тенденции совершенствования рудоподготовки. Лидирующие позиции в инновационном наполнении процессов управления качеством рудоподготовкой занимает ряд предприятий, к которым относятся АО «Карельский Окамыш» (Костомукшский ГОК), ОАО «ЕВРАЗ КГОК» (Качканарский ГОК), ОАО «Михайловский ГОК», ПАО «Коршуновский ГОК».

Произведена систематизации рассмотренных выше горнодобывающих предприятий, обрабатывающих рудные месторождения (табл.1.1), сформирована принципиальная схема взаимосвязи процессов: разведки, моделирования, планирования, управления качеством (см. рисунок 1.1). Установлено, что на всех железорудных ГОКах информационной основой для планирования горных работ является комплекс однотипных компьютерных моделей – каркасных и блочных.

#### **АО «Карельский Окамыш» (Костомукшский ГОК)**

Годовое планирование объемов и качества рудной массы на Костомукшском ГОКе производится с использованием геоинформационной системы (ГИС)

Surpac, на основе детальной и эксплуатационной разведки, расстояние между профилями - 25 метров. При этом создается карта рудных тел, геологическая база данных, создается математическая модель геологического строения месторождения, затем с учетом полученных результатов создается промышленная модель, в которой учитываются кондиции и количество руды с учетом уже отработанных блоков. На полученные блок- модели накладываются цифротопографические модели годовых контуров разработки карьера, внутри которых планируется добыча. Ежемесячное планирование добычи и усреднения руды в карьерах АО "Карельский Окамыш" также производится с использованием ГГИС Surpac, посредством управления порядком взрывания буровзрывных блоков (по объему отбиваемой руды, качеству ПИ и расположению в контурах карьера). По данным моделирования составляется недельный план работы экскаваторов на взорванных блоках, и определяются объемы поступления и отгрузки руды на перегрузочных складах с учетом годового плана. При недельно-суточном планировании также используются программные продукты Modular и AutoCad. Из программы Surpac берутся данные об остатках руды в карьерах, объем и качество добываемой руды за неделю, а также ориентировочные суточные показатели добычи. Программа Modular - система диспетчеризации обеспечивает управление всей техники в карьере на основе системы датчиков GPS, установленных на технологическом оборудовании карьера (экскаваторы, автосамосвалы, буровые станки и др.). AutoCad - используется для составления качественных планов по результатам магнитного каротажа. План представляет собой карту изолиний содержания магнетитового железа в руде и во вмещающих породах с нанесенными на неё контурами отработки.

Еженедельно данные каротажа передаются с участка геофизического опробования на геологический участок, где на их основе печатаются уточненные планы экскаваторного блока с выделением рудных зон различного качества. Если в забое нечетно выражен контакт "руда-порода", или меняется мощность рудного тела, геолог выставляет контакты рудных тел на блоке в натуре вешками с красными флажками и наносит их местоположение на план. Информация

передается на добычные участки и машинистам экскаваторов. Результатами недельно-суточного планирования являются посуточный график добычи руды на блоках, схема распределения руды по перегрузочным складам и график отгрузки руды со складов на фабрику с учетом постоянства качественного состава.

На предприятии также функционирует система сменного планирования для решения задач управления качеством. Продолжительность смены 12 часов. В течение смены планируется добыча и транспортирование руды на перегрузочные склады для равномерного усреднения по секторам. На каждую перегрузку выдается задание, в котором определено, от каких экскаваторов осуществлять погрузку и какой средневзвешенный показатель качества формировать по сектору. Ритмичная работа предприятия обеспечивается сетью перегрузочных автомобильно-железнодорожных складов. Применяются склады штабельного типа с односторонней или двусторонней погрузкой в железнодорожный состав. Выемочно-погрузочной единицей являются мехлопаты (емкость ковша 8-10 м<sup>3</sup>) и фронтальные погрузчики (емкость ковша 10-13 м<sup>3</sup>). Каждый склад разбит на несколько секторов. Число секторов варьируется от 2 до 6. Склад также делится на сектора разгрузки и сектор отгрузки (погрузки в транспорт) руды, причем сектор отгрузки установлен один, а секторов разгрузки на склад – несколько, количество их в работе устанавливается геологом карьера. Сектора отгрузки отрабатываются полностью. До тех пор, пока сектор не отработан, поступление в этот сектор руды запрещено. Заполнение склада рудой рассчитывается на основе данных системы Modular, средневзвешенное значение содержания полезного компонента определяют на основе замеров рудоконтрольными станциями (РКС). Ежемесячно маркшейдеры проводят замеры забоев и складов. После того, как склад сформирован, геолог карьера на этапе сменно-суточного планирования определяет, с какой перегрузки и из какого сектора будет отгружаться руда на ДОФ и в какой период времени. На каждую перегрузку выдается задание, в котором определено, от каких экскаваторов осуществлять погрузку и какой средневзвешенный показатель качества формировать по сектору.

На предприятии внедрено транспортно-рудничное опробование - опробование руды в ковше экскаватора, кузовах транспортных сосудов и конвейеров. Опробование в ковше экскаватора позволяет производить усреднение руд малыми порциями. За каждым складом закреплены рудоконтрольные станции (РКС), принцип работы которых основан на геофизическом опробовании (магнитной восприимчивости). Измерительный датчик РКС с помощью спускоподъемного механизма доставляется на навал руды в кузове самосвала. Цикл 1-го измерения составляет до 20 сек. РКС предназначены для измерения качества руды в самосвале и установлены во всех карьерах перед каждым перегрузочным складом.

На предприятии также внедрена система магнитного каротажа буровзрывных скважин (КМВ) по результатам которого устанавливается магнитная восприимчивость железной руды и содержание в ней магнитной фракции. На обогатительной фабрике контроль качества также производится с использованием устройств на геофизических принципах, которые позволяют оперативно получать информацию о содержании магнитного железа в руде после ее разгрузки с железнодорожного состава.

При разработке сложноструктурных участков месторождений с высокой перемежаемостью рудных и нерудных масс (Корпангский и Костомукшский карьеры) предусмотрено использование комплексов сухой магнитной сепарации (СМС-1, СМС-2), которые установлены на бортах карьеров - по одному на каждом. Использование комплексов позволяет отсеять некондиционную руду и пустую породу и снизить затраты на транспортирование засоренной руды.

В целом можно констатировать, что на предприятии внедрены многие инновационные решения, соответствующие мировому уровню управления качеством рудопотоков.

### **ОАО «ЕВРАЗ КГОК» (Качканарский ГОК)**

Контроль и управление качеством на Качканарском ГОКе производится с учетом данных детальной и эксплуатационной разведки, полученных при годовом планировании с использованием, ГГИС Surpac. Выбирается оптимальное

направление горных работ по глубине и в плане. Планируемый к добыче объем руды делится на буровые блоки, порядок их разработки которых определяется при месячном планировании. Недельно-суточное и сменное планирование происходит с учетом данных магнитного каротажа обуренных скважин, а также опробования и последующего анализа в хим. лаборатории.

Управление качеством в карьере основано на формировании так называемых «рудных пакетов», распределенных по времени определенными временными интервалами. «Рудный пакет» это 2-х часовой объем руды, добываемой в каждом карьере ГОКа (Главный, Северный, Западный). Рудные пакеты формируют сменный и суточный объем добычи. Принятый на ГОКе двухчасовой интервал учета определяется параметрами системы получения первичной информации о качестве ПИ (эксплуатационное опробование и опробование рудной массы на ОФ). В течении 12-часовой смены формируются 6-ть «рудных пакетов». Основой составления «рудных пакетов» является «геологический наряд», в котором содержится 24-х часовая информация о качественных характеристиках массива титаномагнетитовой руды в границах подготовленных взрывных блоков 3-х карьеров. Управление качеством рудопотоков сырья на основе «рудных пакетов» обусловлено сложившимися горно-геологическими условиями разработки Гусевогорского месторождения, для которого характерна большая изменчивость качества ПИ (обогащаемость, содержание железа общего, магнитного, титана, ванадия и др.). Использование «рудных пакетов» позволяет стабилизировать колебания качественные параметров руды, подаваемых на ОФ в течение 12-часовой смены.

### **ОАО "Михайловский ГОК"**

На предприятии для годового, месячного и недельно-суточного планирования в режиме управления качеством используют ГГИС Surpac. На основе данных магнитного каротажа, детальной и эксплуатационных разведок, а также химического опробования буровых скважин постоянно уточняются блочные (геологическая и промышленная) модели. Ведется съемка текущего положения горных работ, имеются цифро-топографические модели карьеров на разные

временные периоды, высчитываются объемы годовых прирезок и содержание в них железа общего, магнитного, учитывается показатель обогатимости. Применяется система автоматизированной диспетчеризации АСУ ГТК "Карьер". С помощью неё выполняется контроль объемов и качества на перегрузочных складах, определяется содержание в штабелях по складам, а также в рудном потоке на фабрику. Исходными данными для системы являются объем и качество руд, добываемых за неделю в виде контуров блочной модели, уточненных геологом. Через систему GPS датчиков, фиксируется качество рудной массы в ковше экскаватора. Затем качество ПИ пересчитывается в кузове автосамосвала, диспетчер выдает водителю самосвала направление движения к пункту разгрузки.

### **ПАО «Коршуновский ГОК»**

На предприятии применяется ГИС с возможностью блочного моделирования. Известно, что существует трехмерная модель по данным детальной разведки с крупноблочной структурой, каждый блок имеет среднее содержание железа общего и железа магнитного.

Буровые блоки опробуются геофизическим способом, для определения содержания железа магнитного, также происходит отбор проб бурового шлама для химического анализа. Руды разделены на богатые, рядовые и забалансовые. Богатые руды при достаточной мощности тел отрабатываются селективной выемкой, остальная руда добывается валовым способом. Действует система перегрузочных складов - с автотранспорта на железнодорожный транспорт, и затем на ДОФ. Склады также выполняют функцию усреднения. На предприятии налажено годовое, месячное, недельно-суточное и сменное планирование. Сменное планирование направлено на стабилизацию рудопотоков по содержанию железа в концентрате и обеспечивается благодаря внедренным автоматизированным системам планирования (ГИС, аналог Surpac, Datamine, Micromine, Mineframe) и диспетчеризации (например АСУ ГТК «КАРЬЕР»). На фабрику поступает руда с Коршуновского и Рудногорского месторождения (вагонами РЖД), где происходит её усреднение в приемных бункерах.

Результаты анализа и систематизации технологических схем управления качеством железорудного сырья приведены в таблице 1.1 и на рисунке 1.1.

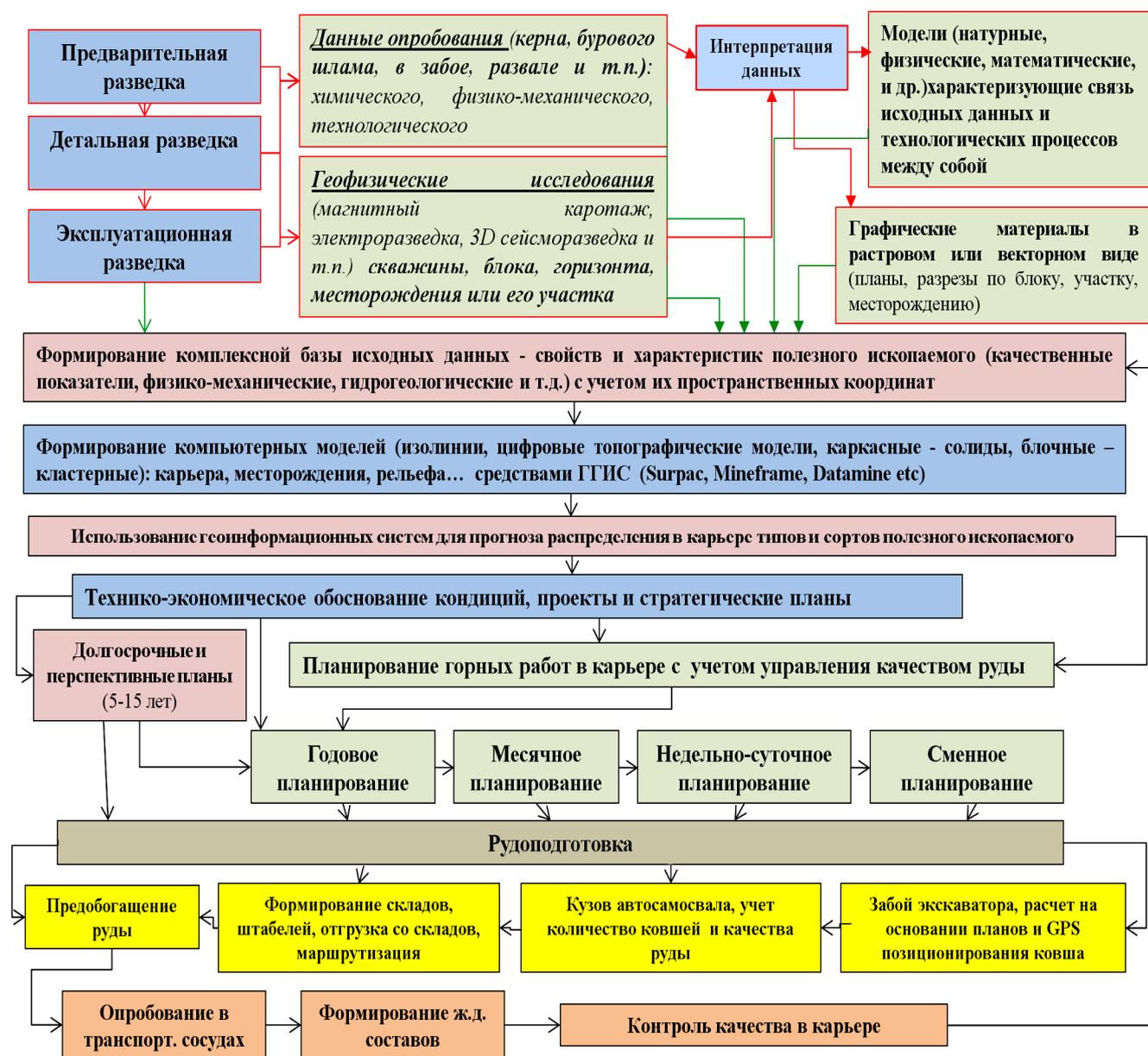


Рисунок 1.1 – Принципиальная блок-схема взаимосвязи данных разведки, моделирования, планирования и технологий управления качеством в железорудных карьерах

Таблица 1.1 – Систематизация систем управления качеством на крупнейших железорудных предприятиях

Предприятие, ГОК	Использование ГИС для планирования горных работ и моделирования месторождения	Наличие перегрузочных складов (буферных, усреднительных)	Данные о качестве запасов, опробование ПИ	АСУ рудопотоками и оборудованием	Предобогатление	Контроль качества ПИ на ОФ
АО "Карельский Окамыш"	<p><b>Surpac:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- блочные модели месторождения;</li> <li>- годовое планирование;</li> <li>- месячное планирование;</li> <li>- недельное планирование</li> </ul> <p>(<b>Surpac</b> (модели в нарезке), <b>AutoCad</b> (данные каротажа), <b>Modular</b> (диспетчеризация, задания на добычу))</p>	<p>Действует система сменного планирования - планируется добыча и транспортирование руды по перегрузочным складам для равномерного усреднения по секторам перегр. склада. Склады внутрикарьерные автомобильно-железнодорожные с функцией перегрузки и задачами усреднения, формирования рудопотоков заданного качества. Планируется шихтование некондиционной руды к основной через систему буферных складов для увеличения объема производства окатышей;</p>	<p>Данные о качестве запасов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Детальная разведка;</li> <li>- Эксплуатационная разведка;</li> <li>- Магнитный картаж буровых скважин;</li> <li>- Опробование бурового шлама в хим. лаборатории;</li> <li>- Рудоконтрольные станции для автотранспорта;</li> <li>- Фабричное опробование после каждой стадии дробления геофизическими способами;</li> </ul>	<p>Modular - оптимизация маршрутов, их самосвалов, их загрузка, gps, управление грузопотоками, качество в ковше;</p> <p>Высокоскоростная сеть WiFi для контроля оборудования, модуль системы Modular;</p>	<p>Комплексы сухой магнитной сепарации на бортах Западного участка карьера Корпангского месторождения и Центрального участка Костамукшского карьера</p>	<p>Гидротранспортирование концентрата на фабрику окомкования с усреднением концентрата в жидкой фазе и отделением фильтрации в корпусе окомкования</p>
ОАО "ЕВРАЗ КГОК"	<p><b>Surpac:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- блочные модели месторождения по карьерам Северный, Главный, Западный;</li> <li>- годовое планирование;</li> <li>- месячное планирование;</li> <li>- недельно-суточное планирование.</li> </ul>	<p>Действует система сменного планирования - формирование 2-х часовых рудных пакетов; Внутрикарьерные перегрузочные склады с автотранспорта на железнодорожный, формирование складов идет на основе суточных геологических нарядов по всем трем карьерам</p>	<p>Данные о качестве запасов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Детальная разведка;</li> <li>- Эксплуатационная разведка;</li> <li>- Магнитный картаж буровых скважин;</li> <li>- Опробование буровых скважин в хим. лаборатории;</li> <li>- Фабричное химическое опробование - башня проб.</li> </ul>	<p>нет данных</p>	<p>нет</p>	<p>Формирование загрузки приемных бункеров фабрики с трех карьеров на основе системы 2-х часовых рудничных пакетов</p>

<p><b>ПАО «Коршунский ГОК»</b></p>	<p>Существует блочная модель месторождения, используется ГИС, в которой осуществляется годовое, месячное и недельно-суточное планирование;</p>	<p>Налажена система сменного управления на основе автомобильно-железнодорожных складов, выполняющую функцию усреднения.</p>	<p>Данные о качестве запасов: - Детальная разведка; - Эксплуатационная разведка; - Магнитный каротаж буровых скважин; - Опробование буровых скважин в хим. лаборатории; - Фабричное химическое опробование;</p>	<p>АСУ ГТК «КАРЬЕР» - оптимизация работы оборудования, gps-grgs сеть, загрузка, топливо, помощь в планировании и управлении качеством</p>	<p>нет</p>	<p>На фабрику поступает руда с Рудногорского и Коршунского месторождения, где происходит усреднение рудопотоков</p>
<p><b>ОАО «Михайловский ГОК»</b></p>	<p><b>Surpac:</b> - блочные модели месторождения; - годовое планирование; - месячное планирование; - недельно-суточное планирование;</p>	<p>Функционирует система сменного планирования с формированием усреднительных складов в пространстве и во времени и учитывающая несколько промышленных технологических типа руд (до 6) из следующих типов: - богатые руды, не требующие обогащения; - неокисленные магнетитовые и гематит-магнетитовые кварциты - обогащаемые по простым схемам; - гематитовые кварциты - требуют более сложных схем обогащения;</p>	<p>Данные о качестве запасов: - Детальная разведка; - Эксплуатационная разведка; - Магнитный каротаж буровых скважин; - Опробование буровых скважин в хим. лаборатории; - Фабричное химическое опробование;</p>	<p>АСУ ГТК «КАРЬЕР» - оптимизация работы оборудования, gps-grgs сеть, загрузка, топливо, помощь в планировании и управлении качеством</p>	<p>Комплекс дробления и сухой магнитной сепарации на западном борту карьера</p>	<p>На Дробильно-обогательном комплексе введен в опытно-промышленную эксплуатацию участок флотационного дообогащения магнетитового концентрата. Проводятся полупромышленные испытания дообогащения хвостов мокрой магнитной сепарации по гравитационно-флотационной технологии с получением гематитового концентрата.</p>

Все рассматриваемые предприятия в решениях задач управления качеством придерживаются алгоритма управления им на всех этапах горного производства, начиная от забоя и заканчивая на фабрике с применением современных геоинформационных систем. В них решаются задачи моделирования- рудных тел и выемочных единиц, диспетчеризации, планирования горных работ и решения вопросов по стабилизации качественных показателей.

Основные направления использования ГИС и методик моделирования:

- автоматизация обработки данных опробования;
- создание геологических карт, разрезов, каркасных и блочных моделей, отражающих топографические, качественные, физико-химические и другие атрибутивные данные горных пород;
- годовое, месячное и недельно-суточное планирования горных работ;
- оптимизация рудопотоков по количеству и качеству ПИ с учетом складов;
- выполнение маркшейдерских работ и прочее.

Основные направления совершенствования методик моделирования полезных ископаемых:

- повышение достоверности полученных моделей;
- интеграция и автоматизация процесса пополнения данных в модели в результате регулярных новых данных поступающих с карьера;
- совершенствование алгоритма геостатистических и геологических представлений о горном массиве.

## 1.2 Анализ влияния горно-геологических условий на выбор способа управления качеством

Горно-геологические условия - совокупность природных и техногенных факторов - условий, определяющих выбор технологии (системы разработки, вскрытия и т.п.), а также применяемой техники для экономически эффективной и комплексной отработки запасов месторождения с минимальными потерями.

К горно-геологическим условиям можно отнести [68-71] (рис. 1.2):

- морфологию рудных тел;
- качество полезного ископаемого, изменчивость содержания ценных компонентов;
- инженерно-геологические свойства пород;
- обводненность и гидрогеологию месторождения;
- запасы полезного ископаемого, утвержденные ГКЗ, перспективы прироста запасов.



Рисунок 1.2 – Систематизация горно-геологических условий определяющих разработку месторождений полезных ископаемых

Результаты анализа литературных источников [68-72] и систематизации горно-геологических условий отработки железорудных месторождений ведущими ГОКаами России приведены в табл. 1.2, 1.3. Было выделено 9 характерных групп, обладающих схожими морфологическими, качественными и гидрогеологическими

признаками определяющие эффективность реализации системы управления качеством.

Таблица 1.2 – Пространственно-морфологические характеристики месторождений железной руды по принятой классификации геолого-промышленных типов

Геолого-промышленный тип (месторождения)	Морфологические особенности							
	Генезис	Условия залегания	Длина по простиранию		Длина по падению		Мощность	
			От	До	От	До	От	До
<b>Качканарский</b> (Гусевогорское, Собственно-Качканарское)	Месторождения магматогенных титаномагнетитовых руд	Полого-, крутопадающие (20-90°) зоны развития вкрапленных и шлировых сплошных руд пласто-, линзо-, жиллообразных залежей и штокообразных тел в долопитообразных габбро-норитовых или в лакколитообразных габбро-пироксенитовых массивах	0,2	2,75	2	100	0,1	5
<b>Костамукшский</b> (Корпангское и Костамукшское)	Метаморфизованные магнетитовые кварциты	Согласные крутопадающие (45-85°) пласты и линзы среди углеродистых, слюдяных кварц-биотитовых, слюдяно-амфиболовых, тальк-тремолит-хлоритовых и других сланцев и амфиболитов	0,3	5 (15)*	0,1	0,5 (2)*	1	70 (360)*
<b>Ковдорский</b> (Ковдорское, Дубравинское, Ессей, Ыраас)	Месторождения магматогенных апатит-магнетитовых руд	Серии крутопадающих (70-90°) рудных тел штокообразной, цилиндрической, конической, линзообразной, неполнокольцевой, жиллообразной форм, осложненные апофизами, жильными ответвлениями, зонами дробления и брекчирования в ассоциации с карбонатитами, среди пироксенитов, ийолитов, оливинитов, фенитов	0,1	1,3 (>1,3)*	0,1	2	100	800
<b>Оленегорский - Тарыннахский</b> (Оленегорское, Тарыннахское, Горкитское, Чарское, Кировогорское)	Метаморфизованные магнетитовые кварциты	Согласные, крутопадающие (60-85°) линзы, пласты в толщах зоны контакта, амфиболовых и амфибол-биотитовых гнейсов, кристаллосланцев амфиболитов и слюдяных гнейсов, местами гранитизированных	0,2 (3)*	5 (15)*	0,1 (1,5)*	3	0,5	65 (250)*
<b>Михайловский</b> (Михайловское, Осколецкое, Салтыковское)	Метаморфизованные руды	Пластовые, реже линзовидные тела, согласно залегающие в крутопадающих (45-88°) толщах слюдяных, часто углистых сланцев и кварцитовидных песчаников	1 (5)*	20 (100)*	0,3 (2,5)*	6	20	500
<b>Веретинский</b> (Михайловское, Стойленское, Лебединское)	Месторождения коры выветривания железистых кварцитов (месторождения окисленных железистых кварцитов)	Пластовые, линзовидные, клиновидные. лентообразные тела	0,1	15	0,25	2	1	100
<b>Белгородский</b> (Михайловское, Стойленское, Яковлевское, Гостищевское, Вислоевское, Погромещкое)	Месторождения коры выветривания железистых кварцитов (богатые руды по железистым кварцитам)	Плаще- и лентообразные тела, линзы и гнезда богатых руд при площадной и клиновидные -при линейной трещинно-площадной коре выветривания на головах и среди окисленных железистых кварцитов и сланцев	0,2 (8)*	20 (50)*	0,02	3,1 (0,6)*	0,5 (80)*	250 (370)*
<b>Лебединский</b> (Лебединское, Стойленское, Коробковское, Чернянское)	Метаморфизованные магнетитовые кварциты	Пласты, реже линзы, согласно залегающие в крутопадающих (45-88°) толщах слюдяных, нередко углистых сланцев и кварцитовидных песчаников	1 (3)*	20 (100)*	0,3 (2,5)*	6	10 (20)*	500 (1000)*
<b>Ангарский</b> (Коршуновское, Рудногорское, Нерюдинское, Копяевское, Татарское, Огненное)	Месторождения скарно-магнетитовых руд (платформенные месторождения магнетитовых руд)	Серии крутопадающих (60 - 80 °) субвертикальных штоко-, столбо-, линзо- и жиллообразных рудных тел и скарнов; пологозалегающих экранизированных пласто- и линзообразных, а также чашеобразных залежей. приуроченных к вулканотектоническим эксплозивным структурам в чехле древних платформ и в ассоциации с траппами	0,2 (1,1)*	3,8 (4,5)*	0,1 (0,3)*	1,5 (3)*	1 (14)*	60 (100)*

\*- возможные проявления

Таблица 1.3 – Качественные характеристики месторождений железной руды

Геолого-промышленный тип (месторождения)	Минеральные типы, структурно-текстурные особенности и состав руд (минералы) 1. Главные 2. Второстепенные 3. Нерудные	Содержания, %						Обогатимость	
		Основные полезные комп. Fe <sub>общ</sub> и Fe <sub>магн</sub>				Примеси	Fe <sub>конц</sub>		
		От	До	От	До		От		До
Качканарский (Гусевогорское, Собственно-Качканарское)	Низкотитаномагнетитовые, средне-титаномагнетитовые, ильменит-титаномагнетитовые; сплошные и вкрапленные; от крупно- до дисперсно-вкрапленных; 1. Титаномагнетит, магнетит, ильменит 2. Минералы платиновой группы, хрома; пирит, пирротин, халькопирит 3. Клинопироксен, оливин, роговая обманка, плагиоклаз, шпинель, хлорит, биотит	14	17,1			TiO <sub>2</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ni, Sc, Co, Pt, Os, S, P, Cu	50	61,5	Руды разделены на легко-, средне-, трудно- и весьма труднообогатимые, от содержания железа в концентрате и вкрапленности зерен титаномагнетита в руде
Костамукшский (Корпангское и Костамукшское)	Силикатно - магнетитовые, магнетитовые, изредка гематит-магнетитовые, магнетит-силикатные с сульфидами, разнополосчатые; мелко-, среднезернистые 1. Магнетит 2. Гематит, пирротин, пирит 3. Кварц, силикаты	20	44,5	10	32	S, P, Au	63	68,9	легко- и среднеобогатимые
Ковдорский (Ковдорское, Дубравинское, Ессей, Ыраас)	Комплексные, маложелезистые (магнетит-апатит-карбонатные, апатит-штаффелитовые) и редкометалльные, массивные, полосчатые, вкрапленные, пятнистые, брекчированные; крупнозернистые 1. Магнетит, магноферрит, апатит, бадделейт 2. Ильменит, пирит, пирротин, халькопирит 3. Форстерит, кальцит, доломит, флогопит, полевые шпаты, диоксид, вермикулит, штаффелит	8,8	60			Zr, Nb, S, P	63	64	схема сложная, комбинированная;
Оленегорский - Тарыннахский (Оленегорское, Тарыннахское, Горкитское, Чарское, Кировогорское)	Магнетитовые, силикатно - магнетитовые, иногда с гранатом и биотитом, гематит-магнетитовые, магнетит-силикатные, местами с полевыми шпатами, полосчатые, средне-, крупнозернистые 1. Магнетит, гематит 2. Пирит, мартит 3. Кварц, силикаты	20	42	10	31	S, P, Au	61,5	71,5	весьма легко- и легкообогатимые
Михайловский (Михайловское, Осколецкое, Салтыковское)	Гематит-магнетитовые, магнетит-гематитовые с щелочными амфиболами, иногда с эгирином, зеленой слюдой, тальком; карбонат-магнетитовые, силикатно-магнетитовые; полосчатые, мелкозернистые 1. Магнетит, гематит 2. Мартит, пирит 3. Кварц, амфиболы, слюды	25	42	10	28	S, P, Au	63	66	трудно- и среднеобогатимые
Веретинский (Михайловское, Стойленское, Лебединское)	Мартитовые, железослюдково-мартитовые, мартит-железослюдковые, магнетит-мартитовые, дисперсногематит-мартитовые, сидерит-мартитовые 1. Мартит, гематит, гидроокислы железа, магнетит 2. Сидерит, пирит 3. Кварц, хлорит	32	39	1	12	-	60	65,7	весьма трудно- и труднообогатимые
Белгородский (Михайловское, Стойленское, Яковлевское, Гостищевское, Вислоевское, Погромецкое)	Мартитовые, железослюдково-мартитовые, гетит-дисперсно-гематит-мартитовые, магнетит-мартитовые, сидеритизированные. Реликто-полосчатые, плотные, рыхлые, высокопористые 1. Мартит, железная слюдка, гематит, гидроокислы железа, сидерит, магнетит 2. Пирит, марказит	45	69			S, P			Высокие содержания не требуются обогащение
Лебединский (Лебединское, Стойленское, Коробковское, Чернянское)	Магнетитовые, силикатно - магнетитовые, нередко с щелочными амфиболами, иногда с эгирином; карбонат-магнетитовые, гематит-магнетитовые, гематит-магнетитовые с амфиболами, тальком, магнетит-силикатные; полосчатые; мелко- до среднезернистых 1. Магнетит 2. Гематит, мартит, пирит, сидерит 3. Кварц, амфиболы, щелочные амфиболы, слюды, карбонаты, тальк	20	40	10	38	S, P, Au	66	71	легко- и среднеобогатимые
Ангарский (Коршуновское, Рудногорское, Нерюдинское, Копяевское, Татарское, Огненское)	Скарново-магномагнетитовые и скарново-магнетитовые, магнетитовые, магномагнетитовые, гематит-магнетитовые; массивные, брекчиевидные, брекчиевидно-вкрапленные, полосчатые, оолитовые, сетчато-прожилковые 1. Магномагнетит, магнетит 2. Мартит, гематит, пирит, халькопирит, пирротин,	15	55,3			S, P, Au, Cu, Mg	60	66	легко- и среднеобогатимые

Выделенные группы геолого-промышленных типов обрабатываемых месторождений позволяют:

- осуществлять предпроектную оценку эффективности организации систем управления качеством для проектируемых месторождений со схожими горно-геологическими условиями при недостатке исходных данных;

- обобщить и унифицировать действующие методики оценки, учета и контроля качественных характеристик запасов и рудопотоков действующих горных предприятий, эксплуатирующих месторождения со схожими горно-геологическими условиями.

Установлено, что пространственно-морфологические факторы обуславливают выбор: способа разработки месторождения, вскрытия, механизацию горных работ, параметры системы разработки.

Объемно-качественные показатели наряду с морфологическими определяют технологию и параметры добычи, схемы рудоподготовки и обогащения, срок службы и производительность предприятия, влияют на выбор технологического оборудования.

С увеличением глубины разработки усложняется проведение геологоразведочных и добычных работ, увеличивается коэффициент вскрыши, возрастают затраты на водоотлив, проветривание, транспортировку полезного ископаемого и вскрышных пород.

Неравномерность оруденения, нечеткость контактов рудных тел и вмещающих пород, сложность строения рудного тела - усложняют геометризацию и моделирование рудных тел, а также оказывают влияние на показатели разубоживания и потерь.

Обводненность уменьшает устойчивость горных выработок и бортов карьера, в результате её действия образуются плавунки, пучение и текучесть горных пород, она увеличивает прилипание горных пород, вызывая уменьшение вместимости ковша, кузова. Влажность пород приводит к смерзанию и слипанию, увеличивает затраты на перевозку. Низкая механическая прочность вмещающих

пород приводит к образованию оползней. Повышенная минерализация вод разрушает оборудование и ухудшает экологическую ситуацию.

### **1.3 Анализ методик и программного обеспечения автоматизированного планирования горных работ в режиме управления качеством**

Обзор научных исследований за последние 40 лет свидетельствует, что планирование и рациональный набор объемов в режиме управления качеством остаются первичным звеном, формирующим качество рудопотока поступающего на обогатительную фабрику, определяющим комплекс вспомогательных мероприятий и используемых технологий для выбора системы рудоподготовки и генерального подхода к переработке руд- усреднение или разделение на технологические сорта.

В 1983 году Валуев А.М. [73] в работе «Численный метод решения задач дискретного оптимального управления со смешанными ограничениями» доказал, что задачи оперативного планирования горных работ на карьерах в режиме усреднения качества с различными критериями оптимальности (содержание полезных, вредных компонентов, соотношение сортами, производительность выемочных единиц) формализуются в виде задач дискретного оптимального управления решаемых методами динамического программирования. Результатом его разработок явилось частное решение задачи оптимизации рабочей зоны для Экибастузского каменноугольного месторождения. В 1984 году Васильев Г.А. [74] в работе «Моделирование и разработка методов управления комплексами работ в природно-экономических системах с минерально-сырьевыми ресурсами (на примере карьеров)» разработал математическую модель выделения природно-технологических зон в системах с минерально-сырьевыми ресурсами по критерию минимума затрат на выполнении комплекса работ с вычислением ущерба от возможных потерь полезного ископаемого, основанная на последовательном уменьшении "невязок" от потребных объемов сырья и его ассортимента.

Беспалько В.А. [75] в том же году обосновал, что оценка и управления уровнями «колеблемости» качества рудопотоков осуществляется на основе разработанной математической модели формирования стабильного качества рудного сырья в технологических процессах горно-обогатительного предприятия, отличающегося учетом критерия межперегрузочной дисперсии, а также целесообразностью использования бедных и труднообогатимых руд для повышения комплексного использования минерального сырья. В работе Чан Хыу Донга «Установление режима горных работ угольных разрезов Вьетнама» [76] установлено, что при выборе режима горных работ в разрезах, разрабатывающих залежи с переменным качеством угля, в качестве критерия оценки целесообразно использовать коэффициент горной массы. Данный критерий позволяет комплексно учесть влияние на экономику горного предприятия объемов добычных и вскрышных пород, зольности и теплоты сгорания горючей массы топлива. Признаком оптимальности режима горных работ является минимум коэффициента горной массы с начала отработки карьера. Он соответствует минимальному значению приведенных затрат, необходимых для получения 1 ккал тепла. Автором был разработан метод изыскания оптимального направления отработки карьерного поля с использованием ЭВМ, позволяющий устанавливать соотношение между скоростями понижения горных работ по эксплуатационным участкам разреза в зависимости от изменчивости качественных показателей углей - зольности и теплоты сгорания угля на этих участках.

В работе Лукидиа Лукомбо [77] «Разработка метода динамической геометризации меднорудных месторождений для формирования качества руд при подземной добыче» было предложено использовать стохастические модели для установления закономерностей пространственного оруденения и динамической геометризации слаборазведанных участков месторождений непосредственно в процессе эксплуатации, их задачей являлось аппроксимирование изменчивости показателей качества в отработанных блоках для любого характера их распределения.

Максимов И.И. в 1984 году впервые показал [78] влияние оперативного планирования горных работ в режиме усреднения на амплитудно-частотный состав

колебаний качества руды. Им было установлено, что внутрикарьерный склад с функцией усреднения необходимо перемещать на нижние горизонты каждые 3-5 лет, а оперативное планирование горных работ в режиме усреднения имеет недостаточную эффективность в стабилизации качественных колебаний с периодом 6-15 суток, для этого необходимо предусмотреть усреднение на складах. Доказано, что прибортовой склад более 90 тысяч м<sup>3</sup> неэффективен, т.к. затраты превышают прибыль от стабилизации качественных показателей.

Лавреньтьев И.Г. [79] разработал комплексный показатель «изменчивости», который количественно, через систему функций топографического порядка, оценивает горно-геологическую сложность и учитывает мощность рудных залежей, наличие безрудных зон, морфологические особенности месторождений, содержания полезных и вредных компонентов. Отгонбилэг Шагдарын в работе «управление стабилизацией качественных показателей руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо при планировании добычных работ» (1984г.) [80] показал, что стабилизацию качества медных руд необходимо осуществлять сразу по нескольким критериям: степени окисления и содержанием общей меди, полученным в результате прогноза их распределения при геометризации.

Изучая дальнейшую ретроспективу, можно отметить, что интерес к учету изменчивости и моделированию распределения качественных показателей угас до 1996 года, после чего проблема вновь стала актуальной, а количество публикаций и квалификационных работ в России и мире по данным портала Scopus начало резко расти.

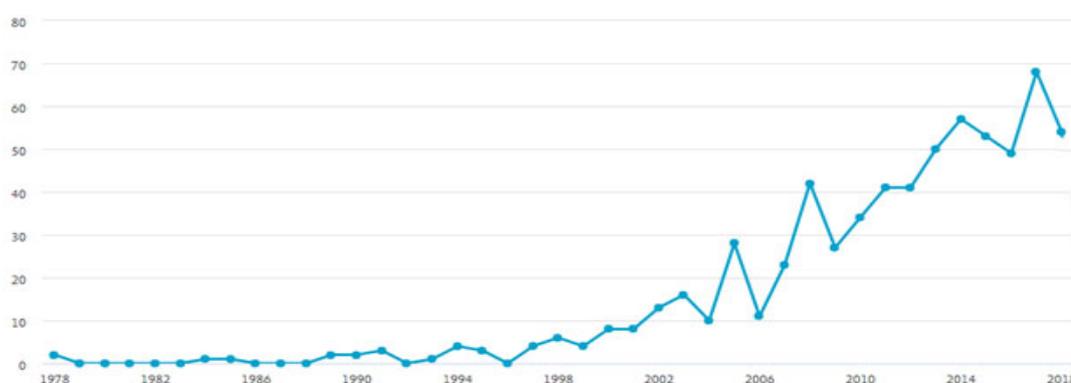


Рисунок 1.3 Количество публикаций проиндексированных в Scopus по запросу "моделирование качественных показателей"

Это обосновывается отчасти ухудшающимися горно-геологическими условиями на обрабатываемых месторождениях, ужесточением экологических требований и истощением минерально-сырьевой базы, с другой стороны, развитие и применением на горнодобывающих предприятия горно-геологических информационных систем.

В настоящий момент времени планирование на крупных ГОКах осуществляется с использованием специальных горно-геологических информационных систем и прикладных программных продуктов (Surpac, Datamine, Mineshed, Mineframe и т.д.), что позволяет обеспечить наиболее эффективный уровень сопровождения процессов горного производства, снизить погрешности, повысить точность прогноза и учета движения запасов за счет интеграции с системами диспетчеризации.

Таблица 1.4 – Программные продукты для решения задач моделирования месторождений и планирования горных работ

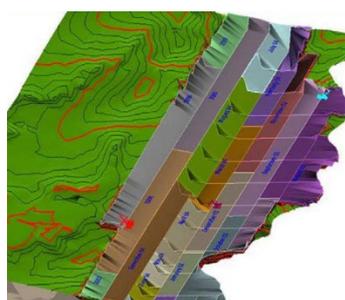
<b>Компания - разработчик программного продукта</b>	<b>Программные продукты</b>	<b>Ссылка на сайт разработчика системы</b>
<b>Зарубежные программные продукты</b>		
Dataminesoftware	Studio OP, NPVS, Summit SOPP, Minescape	<a href="https://www.dataminesoftware.com">https://www.dataminesoftware.com</a>
3DS/Geovia/Dassault System	SURPAC, GEMS, Minex, Whittle, MineShed	<a href="https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/">https://www.3ds.com/ru/produkty-i-uslugi/geovia/produkty/</a>
MICROMINE PTY LTD	«Micromine»	<a href="http://www.micromine.com">www.micromine.com</a>
МАРТЕК	«Vulcan»	<a href="http://www.maptek.com">www.maptek.com</a>
K-Mine	K-mine	<a href="https://k-mine.com/ru/">https://k-mine.com/ru/</a>
<b>Российские программные продукты</b>		
Горный институт КНЦ РАН	MINEFRAME	<a href="http://mineframe.ru">http://mineframe.ru</a>
ООО "ГЕОМИКС"	Geomix	<a href="https://geomix.ru">https://geomix.ru</a>

В таблице 1.5 показана классификация программных продуктов в зависимости от решений, которые они предлагают, на рисунке 1.4 приведены примеры рабочих окон в процессе планирования в программных продуктах.

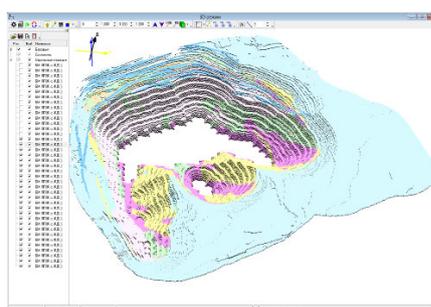
У ряда компаний программные продукты делятся в зависимости от глубины прогноза на продукты для стратегического, краткосрочного и долгосрочного планирования горных работ. Кроме планирования горных работ программные продукты позволяют определить оптимальные границы карьера по вариациям алгоритма Лерча-Гроссмана, построить экономическую модель предприятия, распределить оборудование по горизонтам, корректировать календарные графики на основе диаграмм Гантта и решать другие технологические задачи.

Таблица 1.5– Классификация программных продуктов в зависимости от решаемых задач

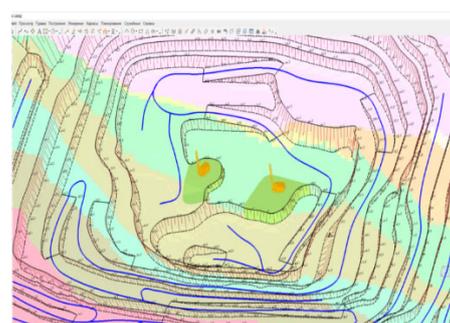
Компания/Название комплекса	Стратегическое планирование, экономическая оценка вариантов	Долгосрочное планирование и оптимизация границ карьера	Краткосрочное планирование	Специально для пластовых месторождений
Datamine software	Summit SOPP/Studio NPVS	Studio NPVS	Studio OP	Minescape
3DS/Geovia/Dassault System	Whittle	Whittle/Mineshed/Gems	Mineshed	Minex
Micromine	Beoynd	Beoynd	Spry/Beyond	
Mineframe	Mineframe			
Maptek	Evolution/Vulcan	Evolution/Vulcan	Vulcan	
K-Mine				
Geomix	Geomix			



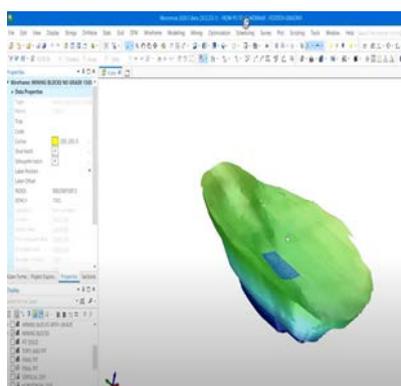
Datamine Minescape



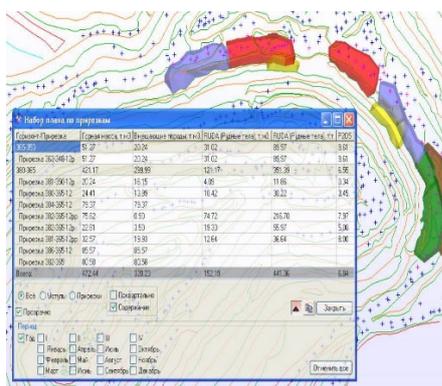
Geomix



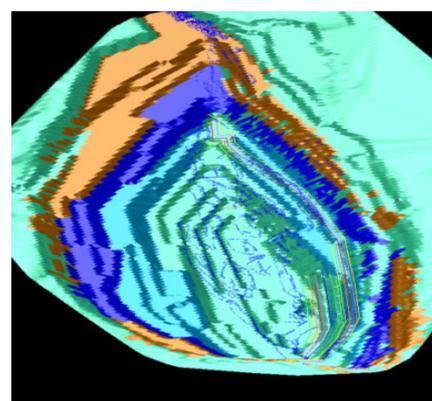
K-mine



Micromine Beyond



Mineframe



Geovia Mineshed

Рисунок 1.4 – Планирование горных работ в различных программных продуктах

Из Geovia Surpac удалили модуль автоматизированного планирования горных работ и теперь для этих целей существует целых два продукта Whittle, стратегическое планирование и определение оптимальных границ карьера и Mineshed – текущее и краткосрочное планирование горных работ. Опыт работы с оценкой вариантов отработки месторождения в автоматизированных планировщиках показал невозможность достижения стратегических показателей, указанных в техзадании. Все варианты отработки, которые были предложены программами предусматривали практически полное удаление вскрыши с вышележащих уступов и только после этого можно было осуществлять добычу рудной массы на нижних горизонтах в соответствии с заданным планом.

В Mineframe [58] планирование горных работ реализовано очень детально и обеспечивает максимальную точность (за счет совмещения оценок каркасного и блочного моделирования и строгого учета геометрии карьеров) в наличии 4 базовых метода с обилием параметров для индивидуальной настройки:

- набор объемов по прирезкам, где необходимо указать положение нижних бровок на каркасной модели карьера и пространственные границы приращаемых объемов;

- набор объемов по шаблону рабочей зоны, так же необходимо указывать горизонты на каркасной модели и обрисовывать участки определяющие пространственные пределы для каждой итерации процесса планирования;

- набор объемов по разрезам, для быстрого действия есть метод «линейка», позволяющий быстро оценить качества на горизонтах или участках;

- планирование на основе заходок – позволяет планировать оптимальную отработку прирезки по заходкам обеспечивая требуемый уровень контроля качественных характеристик.

Все программные продукты позволяют эффективно решать задачи открытой геотехнологии и планирования горных работ, у каждого разработчика своя специфика, интерфейс и порядок работы с моделями, но методология построения и использования моделей близкая. Построение базы данных детальной и эксплуатационной разведки, создание или редактирование каркасных моделей и

финальным оператором для раскрытия всех функций программного продукта является блочная модель месторождения, которая используется для оптимизации границ, выбора направления развития горных работ по глубине и в плане и т.п.

Основной недостаток во всех программных продуктах по мнению соискателя, отсутствие информации в процессе планирования о изменчивости качества, средней мощности рудного тела, попавшего в прирезку и количестве контактов с пустой породой в исследуемом объеме.

В то же время анализ научных трудов за последние 30 лет свидетельствует, что изменчивость качественных показателей - важная характеристика, влияющая на стабильность рудопотока и определяющая эффективную работу обогатительного передела. Это позволяет заключить, что определение и учет изменчивости при планировании горных работ и поиск на её основе перспективных для управления качеством участков является важной и актуальной задачей.

## 1.4 Выводы по главе. Цели, задачи и методы исследований

1. Анализ опыта применения методов и систем управления качеством подготовки минерального сырья для обогащения на ведущих железорудных ГОКах России позволил установить современные подходы и основные тенденции совершенствования рудоподготовки. Установлено, что на всех железорудных ГОКах информационной основой для планирования горных работ является комплекс однотипных компьютерных моделей – каркасных и блочных. Разработана принципиальная блок-схема взаимосвязи данных разведки, моделирования, планирования и технологий управления качеством в железорудных карьерах.

2. Основные направления использования ГИС и методик моделирования наиболее часто используются при:

- автоматизации обработки данных опробования;
- создании геологических карт, разрезов, каркасных и блочных моделей, отражающих топографические, качественные, физико-химические и другие атрибутивные данные горных пород;
- годовом, месячном и недельно-суточном планировании горных работ;
- оптимизации рудопотоков по количеству и качеству ПИ с учетом складов;
- выполнении маркшейдерских работ и прочее.

3. Основные направления совершенствования методик моделирования полезных ископаемых: повышение достоверности полученных моделей; интеграция и автоматизация процесса пополнения данных в модели в результате регулярных новых данных поступающих с карьера; совершенствование алгоритма геостатистических и геологических представлений о горном массиве

4. Выделено 9 геолого-промышленных типов железорудных месторождения, что позволяет:

- осуществлять предпроектную оценку эффективности организации систем управления качеством для проектируемых месторождений со схожими горно-геологическими условиями при недостатке исходных данных;

- обобщить и унифицировать действующие методики оценки, учета и контроля качественных характеристик запасов и рудопотоков действующих горных предприятий, эксплуатирующих месторождения со схожими горно-геологическими условиями.

5. Установлено, что пространственно-морфологические факторы обуславливают выбор: способа разработки месторождения, вскрытия, механизацию горных работ, параметры системы разработки. Объемно-качественные показатели наряду с морфологическими определяют технологию и параметры добычи, схемы рудоподготовки и обогащения, срок службы и производительность предприятия, влияют на выбор технологического оборудования. С увеличением глубины разработки усложняется проведение геологоразведочных и добычных работ, увеличивается коэффициент вскрыши, возрастают затраты на водоотлив, проветривание, транспортировку полезного ископаемого и вскрышных пород.

6. Установлено, что во всех используемых для планирования ГГИС слабо или не учитывается изменчивость качественных показателей. В то же время анализ научных трудов за последние 30 лет свидетельствует, что изменчивость качественных показателей - важная характеристика, влияющая на стабильность рудопотока и определяющая эффективную работу обогатительного передела. Это позволяет заключить, что определение и учет изменчивости при планировании горных работ и поиск на её основе перспективных для управления качеством участков является важной и актуальной задачей.

**Целью работы** является разработка методики районирования в карьерном пространстве и анализа заданных объемов минерального сырья требуемого качества на базе блочного моделирования.

Сформулированы следующие задачи исследования:

1. Произвести анализ и оценку применяемых систем управления качеством на крупных железорудных ГОКах, изучить вопрос состояния теоретических исследований и практических разработок по управлению качеством на разных стадиях планирования горных работ.

2. Систематизировать алгоритмы обоснования способа управления качеством в зависимости от горно-геологических условий месторождения.

3. Адаптировать структуру базы данных детальной и эксплуатационной разведки месторождения, как основу для компьютерного моделирования и предварительной автоматизированной оценки.

4. Разработать экспресс-методику районирования технологических типов руд в карьерах с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого.

5. Разработать методику оценки пространственной изменчивости качественных характеристик минерального сырья в динамике развития горных работ.

6. Разработать методику геоинформационного обеспечения перспективного и текущего планирования открытых горных работ в режиме управления качеством.

## 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.

### 2.1 Обоснование подходов к выбору способа управления качеством

Процессы, связанные с выполнением комплекса технологических, технических и организационных действий при совершенствовании методов оценки объемов и качества запасов, принятии решений о внедрении инновационных технологий рудоподготовки и управления качеством минерального сырья, подаваемого из карьера на обогащение, принято называть переходными в системах управления качеством. Система управления качеством минерального сырья для конкретных горно-геологических условий открытой разработки полезного ископаемого выбирается по результатам оценки качественных характеристик сырья, выделения в рудном массиве на основе геологической информации природных типов руд, обоснования характеристик технологических типов и сортов руд и их районирования в карьерном пространстве с помощью геоинформационного моделирования.

Различают природные и технологические типы и сорта руд [81-84].

**Природный (геологический) тип руды** – руда, обладающая относительно устойчивыми минеральным составом, текстурой и структурой, специфическими физическими свойствами, имеющая достаточно четкую пространственную обособленность. Название природного типа руды дается на основе главных рудообразующих минералов. Природная разновидность руды выделяется на основе более мелких признаков: присутствие второстепенных и редких минералов, минералов - носителей полезных и вредных примесей, текстурно-структурных особенностей и др. Природные типы руд выделяются на основе специфичных для каждого месторождения признаков, основными из которых являются: состав рудных и нерудных минералов, имеющих в руде; массовая доля отдельных компонентов руды; размеры и характер вкрапления рудных минералов (текстура и структура руды); опыт изучения аналогичных месторождений.

Выделение природных типов руд и природных разновидностей руд производится в процессе изучения геологической и технологической документации на стадии обоснования кондиций.

**Технологический тип руды** – руда устойчивого минерального и химического состава, которая перерабатывается по определенной схеме обогащения. Основное условие выделения технологического типа – возможность его отдельной добычи и переработки. Руды каждого технологического типа оконтуривают, подсчитывают, добывают и перерабатывают отдельно. Технологический тип подразделяется на сорта.

**Технологический сорт руды** – руда, имеющая общую для данного технологического типа схему переработки, но отличающаяся технологическими показателями переработки (например, извлечение, содержание металла в концентрате). Технологический сорт может соответствовать природной разновидности руд в составе природного типа руды, отличающейся качеством руды. Технологические сорта одного и того же типа перерабатываются совместно в определенных соотношениях. Технологические типы и сорта руд выделяют в результате изучения минералого-технологических проб, опытно-промышленных экспериментов по их обогащению и обработки полученных результатов.

Выделение на месторождении различных типов и сортов осуществляется в процессе геолого-технологического картирования, что является информационной основой рудоподготовки.

Критериями выделения различных технологических типов руд являются:

- принципиально различные схемы и режимы обогащения различных природных типов руд;
- принципиально отличающиеся по качеству и свойствам концентраты, получаемые при обогащении различных природных типов руд;
- существенные отличия в качестве концентратов либо в степени извлечении ценного компонента в концентрат.

В настоящее время на ряде крупных месторождений, в частности руд черных металлов, как правило, выделяется до 5-6 технологических типов руды,

отличающихся вещественным и минеральными составами, измельчаемостью, крупностью вкрапленности, обогатимостью и другими показателями.

Добыча руды на крупных карьерах производится, как правило, одновременно в разных точках рудного поля, удаленных одна от другой как по вертикали, так и по горизонтали. Значение качественных показателей изменяется от точки к точке рудного поля, при этом, чем меньшую порцию руды они характеризуют, тем больше дисперсия этих значений. Сечение таких полей плоскостями образует профиль показателей, колеблющихся вокруг некоторого среднего уровня.

По своему характеру могут иметь место следующие виды колебаний качества:

- единичные отклонения одного показателя от среднего уровня;
- однозначное отклонение группы показателей от среднего уровня;
- сочетание единичных и однозначных отклонений.

В зависимости от горно-геологических условий и принятых технологий производится валовая или селективная (раздельная) добыча сырья. *Валовая добыча* – технология совместной отбойки, погрузки, транспортирования и складирования руды без учета типов и сортов. *Селективная (раздельная) добыча* отдельных типов или сортов руды осуществляется на основании геологического картирования рудной залежи. С применением специальной технологии отделения руды от массива, предусматривающей раздельную погрузку, транспортирование, складирование отдельных типов или сортов руды.

*Смешивание руд* – многократное перемещение частиц или порций руды в рабочем пространстве смесителя с целью сглаживания показателей, характеризующих качество. *Усреднение руд* – технология добычи, транспортирования и складирования руд, обеспечивающая заданную дисперсию показателей качества в отгруженной потребителю руде. *Сортовое усреднение* (шихтование) – разделение руды на отдельные сорта, их накопление и последующее смешивание при заданном соотношении сортов или типов.

Для определения эффективности усреднения используют следующие показатели:

- степень усреднения, равную отношению средних квадратических отклонений показателей качества неусредненной и усредненной руды

$$C = \frac{\sigma_n}{\sigma_y}; \quad (2.1)$$

- коэффициент усреднения

$$\eta = 1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_n}; \quad (2.2)$$

- коэффициент уменьшения дисперсии в усредненной руде и коэффициент уменьшения среднего квадратического отклонения в усредненной руде

$$K = \frac{D_y}{D_n}; \quad C = \frac{\sigma_n}{\sigma_y}, \quad (2.3)$$

где  $D_y$ ,  $\sigma_y$  – дисперсия и среднее квадратическое отклонение показателя качественного состава руды после ее усреднения;

$D_n$ ,  $\sigma_n$  – дисперсия и среднее квадратическое отклонение показателя качественного состава руды до ее усреднения.

Разработана блок-схема определяющих выбор способа управления качеством сырья факторов, представленная на рисунке 2.1. Выбор способа управления качеством рудного сырья производится при условии:

- если дисперсия показателей качества незначительна и представлена высокочастотной составляющей спектра (коэффициент вариации  $v < 30\%$ ) то необходимо оценить возможность усреднения полезного ископаемого на усреднительных складах;

- если дисперсия показателей характеризуется коэффициентом вариации  $v > 30\%$ , то целесообразно рассматривать варианты раздельной добычи полезного ископаемого с отличительными качественными признаками.

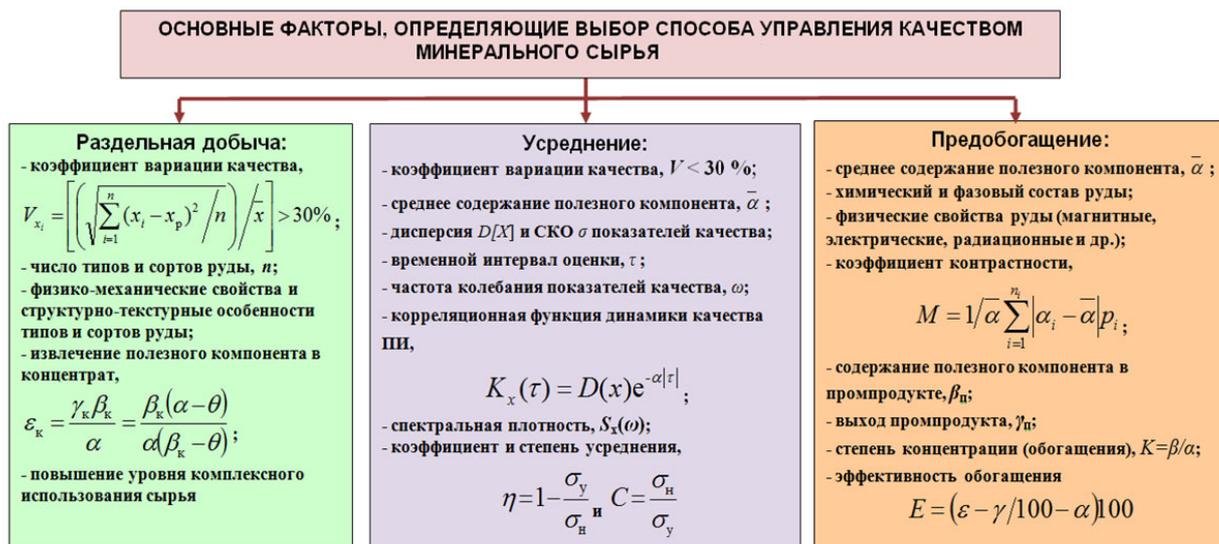


Рисунок 2.1 – Блок-схема определяющих выбор способа управления качеством сырья факторов

Выбор способа (комплекса способов в составе технологии) рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов полезного ископаемого производится по результатам геометризации качества руд. Основные способы управления качеством минерального сырья (рис. 2.2): усреднение качественных характеристик сырья, предобогащение, раздельная добыча технологических сортов полезного ископаемого. При этом последовательно решается блок взаимосвязанных задач по оценке эффективности принятых технологий управления качеством с использованием разработанных методик:

- методики выявления и районирования (геометризации) в карьерном пространстве технологических типов и сортов полезного ископаемого;
- методики выбора способа (комплекса способов в составе технологии) рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов полезного ископаемого.

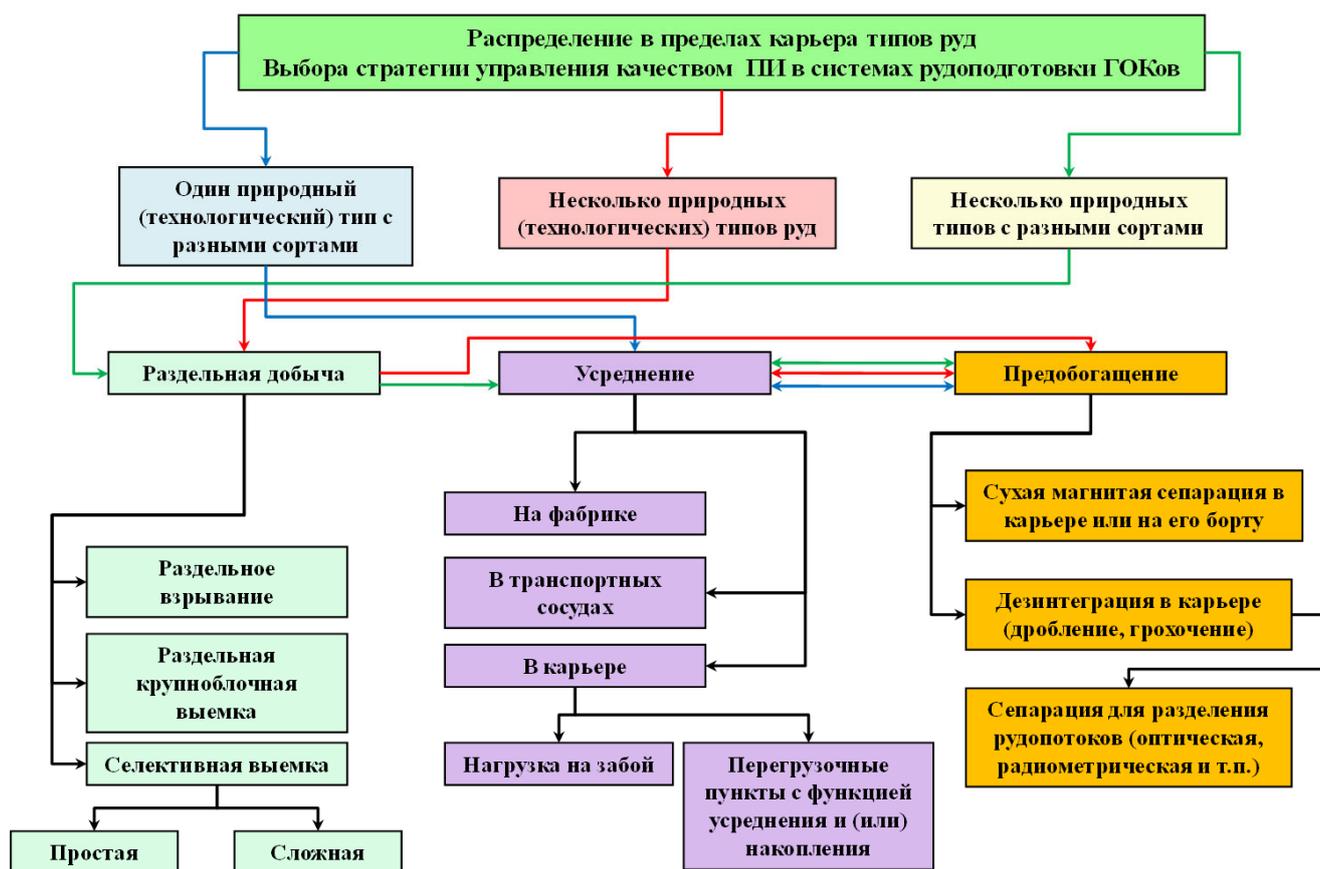


Рисунок 2.2 – Блок-схема применения способов управления качеством руды в зависимости от количества природных (технологических) типов и сортов

В результате анализа литературы [24-25, 28, 85-86] и технологических подходов разработанных при выполнении работ по тематике вопроса предложена блок-схема выбора способа управления качеством (Рис. 2.2) позволяющая реализовать следующие положения:

- для выбора направления отработки рудных тел необходимо определить характер корреляционного поля качественных показателей и форму графика изолиний равного качества. Базовые варианты развития горных работ могут быть ориентированы: по простиранию месторождения, вкрест простирания, параллельно изолиниями содержания полезного компонента или вкрест простиранию изолиний.

- для оценки направления развития горных работ рекомендуется использовать: коэффициент ковариации сменных показателей; среднее содержание; среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации.

Оптимальное по минимальному среднеквадратичному отклонению направление развития горных работ будет параллельно изолиниям равного качества. Анализ невозможен если дисперсия представлена высокочастотным спектром, т.к. нет преимущества ориентированного фронта уступов.

– статистические параметры распределения проб детальной разведки определяют варианты разработки с точки зрения выбора генерального подхода к управлению качеством.

Если дисперсия мала и представлена высокочастотной составляющей спектра (коэффициент вариации  $<30\%$ ) - то усреднение осуществляется в складах-смесителях. Если коэффициент вариации больше  $30\%$ , то целесообразно разделить на сорта (минимум два условных сорта). Если в энергетическом спектре присутствует большое количество низкочастотных составляющих, то требуется создание сортировочной системы, исключающей экстремальные включения из потока, и деление на условные сорта.

Форма вероятностного распределения также определяет выбор способа управления качеством:

- нормальное - если дисперсия малая, то рекомендуется усреднение в складах-смесителях, если нет, то крупно порционная сортировка на условные сорта (внутрисортовое усреднение в сортовом складе-смесителе. Пропорциональное смешивание сортов руды на шихтовочном складе)

- асимметричное - если дисперсия малая, то исключение с помощью мелко порционной сортировки включений богатых руд или пустых пород. Смешивание в складах-смесителях, если нет, то исключение богатых или бедных включений, сортировка на несколько условных сортов. Внутрисортовое смешивание, пропорциональное смешивание сортов руды на шихтовочном складе.

- бимодальное, полимодальное - сортировка на условные сорта, число сортов по числу мод в распределении. Смешивание сортов на шихтовочном складе (при малой дисперсии). Сортировка на условные сорта, смешивание в сортовых складах-смесителях, отдельная переработка.

Колебания показателей качества от генетических свойств месторождений и наличия в недрах локальных или общих закономерностей в размещении качественных свойств руды относят к низкочастотным.

Для управления качеством количество добычных забоев должно быть по возможности большим. С увеличением числа добычных забоев значение дисперсии модульных проб в отдельном забое уменьшается, а дисперсия текущих средних меж забойных показателей качества незначительно увеличивается.

Выбор направления развития горных работ в режиме усреднения предлагается оценивать через значения коэффициентов усреднения. Оптимальное направление при усреднении, то, где наблюдается максимальная частота колебаний. Для наибольшей эффективности процесса усреднения высота склада должна выбираться из условия оптимальной производительности экскаватора, производящего отгрузку руды из склада, а черпание руды на нем должно осуществляться перпендикулярно направлению напластованию руды. По возможности в отгрузочном забое должно осуществляться конусование руды. Разгрузка транспортных емкостей из одного забоя вдоль фронта разгрузки должна осуществляться каждый раз в разных местах. Усреднительные возможности склада определяются объемом зоны активного перемешивания руд для данного склада. Объем зоны активного перемешивания зависит от высоты и направления черпания руды при отгрузке ее со склада. С помощью усреднительного склада выравниваются колебания качества, период которых меньше объема зоны активного перемешивания.

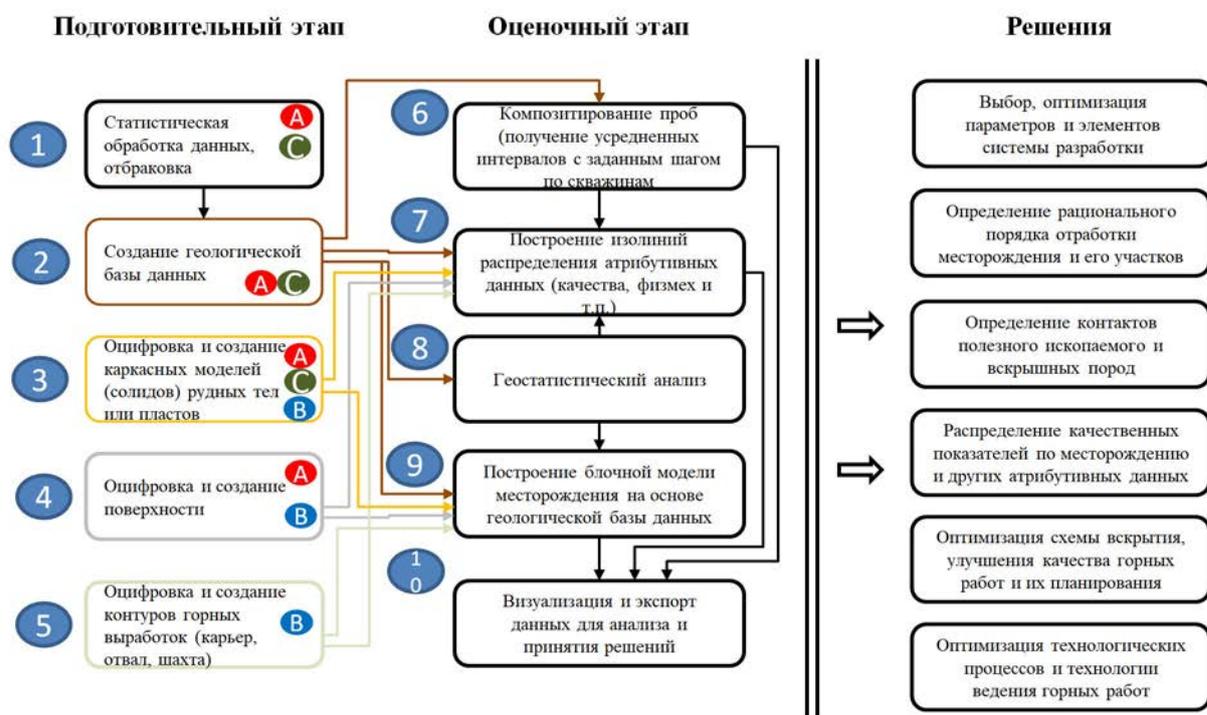
Принятая оценка и выбор способа управления качеством в зависимости от значения коэффициента вариации, формы вероятностного распределения качественных показателей в исследуемом объеме, а также средневзвешенных значений содержаний полезных и вредных компонентов ложится в основу методики оценки изменчивости и геоинформационного обеспечения планирования горных работ. Что подтверждает реализацию первого научного положения.

## **2.2 Методика адаптации и переработки геологической базы данных для предварительной оценки изменчивости качества минерального сырья**

Для решения задач комплексной оценки и геометризации качественных характеристик полезных ископаемых, включая распределение содержания в рудном массиве ценных компонентов и вредных примесей используется моделирование горно-геологических объектов и оценка запасов месторождений твёрдых полезных ископаемых на основе распространенных в РФ программных продуктов (SURPAC, DATAMINE, MINEFRAME и др.). При этом создается объемная модель месторождения, которая является основой для решения задач подсчета запасов, проектирования карьеров, планирования горных работ, обоснования кондиций, повышения качества горных работ и комплексного использования недр и др. Основные задачи геометризации: обеспечение максимальной точности модели при минимальном числе исходных данных. На рисунке 2.3 представлена взаимосвязь процессов поэтапного решения задач геоинформационного моделирования с принятием технологических решений.

Первым этапом (позиции 1-2 на рис. 2.3) формирования модели месторождения является создание «геологической базы данных», в которой хранятся данные разведки: совокупность скважинных интервалов и результаты опробования керна. Они должны быть оцифрованы и приведены в табличный вид унифицированного формата горно-геологических информационных систем (ГГИС). В типовых таблицах содержится следующая информация: название скважин, их координаты, высотная отметка устьев скважин, номер геологического профиля, данные интервального опробования по содержаниям ценных компонентов и вредных примесей, информация о глубинах скважин и данных инклинометрии (наклон и азимут). Данными геологической базы могут быть не только сведения детальной и/или эксплуатационной разведки, но и заметки персонала, если сырье обладает визуально или инструментально отличительными свойствами, условием привязки является лишь координаты и атрибутивный

признак, например: данные химического анализа, трещиноватость, средний размер куска и т.п.



Используемые исходные данные:

- A** Данные детальной разведки (запасы, планы, контура, интервал. колонки скважин, качество и др).
- B** Проекты, ТЭО и иные материалы (контура выработок, рельеф, параметры системы разработки и др.)
- C** Эксплуатационная разведка и оперативное опробование (детализация качества)

Рисунок 2.3 – Блок-схема показывающая связь процессов подготовки данных, геоинформационного моделирования и систематизацию решений вопросов геотехнологии

Далее производится обработка исходных данных, их анализ, отсека ураганных проб и ошибок заполнения данных, с последующим импортом и созданием геологической базы данных средствами ГГИС. Пример геологической базы данных на плоскости представлен на рисунке 2.4, в табличном виде на рисунке 2.5. Геологическая база данных является основой для геостатистического анализа и построения вероятностных распределений качественных показателей в

пространстве на основе кригинга, метода обратных расстояний, радиально-базисных функций и других методов интер- и экстраполяции.

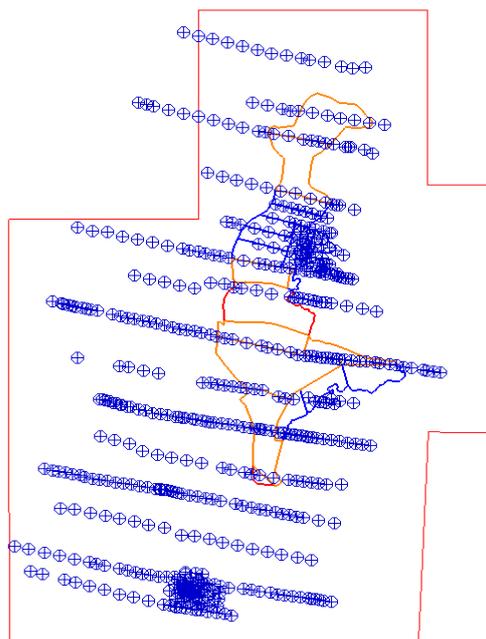


Рисунок 2.4 – План геологической базы данных - в форме массива скважин на фоне блоков подсчета запасов Серовского месторождения комплексных руд

hole_id	samp_id	depth_from	depth_to	rock	rc	roc	feruda	femag	fenomag	v2ruda	v2mag	tiruda	timag	fe_magni	izmel
1071	5686	0	12,1 PDL	3 f			17,05	63,8	5,5	0,09	0,33	0,81	2,2		
1071	5687	12,1	27,1 PDL	3 x			13,1	64,1	6	0,1	0,46	0,42	2,2		
1071	5688	27,1	42,1 PDL	3 x			13,3	63,1	6	0,17	0,8	1,04	3,9		
1071	5689	42,1	57,1 PDL	3 x			12,4	63,5	6,1	0,13	0,74	0,84	3,2		
1071	5690	57,1	72,1 POS	5 f			12,5	61,1	5,8	0,12	0,67	0,95	3,9		
1071	5691	72,1	87,1 POS	5 f			13,9	63,7	5,9	0,13	0,72	1,06	2,9		
1071	5692	87,1	91 POS	5 f			17,5	63,3	6,2	0,18	0,72	1,23	3,7		
1072	5693	0	6,4 PDL	3 f			18,15	64,5	5,6	0,06	0,25	0,56	1,8		
1072	5694	6,4	21,4 PDL	3 f			16,3	64,9	5	0,08	0,24	0,56	2		
1072	5695	21,4	36,4 PDL	3 x			12,4	63,4	4,9	0,12	0,58	0,67	2,8		
1072	5696	36,4	51,4 PDL	3 f			13	63,4	5,3	0,1	0,66	0,73	2,7		
1072	5697	51,4	66,4 PDL	3 f			13,7	63,1	5,7	0,15	0,68	0,98	3,4		
1072	5698	66,4	81,4 PDL	3 x			10,8	64,2	5,7	0,11	0,61	0,84	2,6		
1072	5699	81,4	84 PDL	3 x			10,5	64,2	6	0,1	0,68	0,81	3,4		
1073	5700	0	7,2 POS	5 x			14,1	66,8	6	0,05	0,25	0,56	1,3		
1073	5701	7,2	22,2 POS	5 x			16,3	65,7	6,1	0,06	0,21	0,59	1,4		
1073	5702	22,2	37,2 POS	5 x			16,25	65,3	6	0,06	0,24	0,63	1,6		
1073	5703	37,2	52,2 POS	5 x			16,6	66,3	6,2	0,06	0,21	0,62	1,6		
1073	5704	52,2	67,2 POS	5 x			11,2	66,8	5	0,07	0,24	0,44	1,6		
1073	5705	67,2	74,3 POS	5 f			14,9	65,4	5,3	0,05	0,22	0,56	1		
1073	5706	74,3	77 POS	5 x			4,45			0,03		0,2			
1073	5707	77	82,2 POS	5 x			14,9	66,9	5,2	0,07	0,21	0,56	1,3		
1073	5708	82,2	84,3 POS	5 x			13,2	66,4	5,2	0,04	0,2	0,45	1,2		
1074	5709	0	7 POS	5 x			13,9	65,07	6,5	0,05	0,37	0,73	2,6		
1074	5710	7	22 POS	5 f			13,1	65,2	7,2	0,06	0,33	0,7	2,1		
1074	5711	22	37 PDL	3 x			16,5	65,6	7,1	0,08	0,32	0,78	2,5		
1074	5712	37	52 PDL	3 x			14,6	64,8	5,9	0,06	0,36	0,78	2,5		
1074	5713	52	67 PDL	3 f			15,1	64,9	6,1	0,07	0,29	0,73	1,9		

Рисунок 2.5 – Геологическая база данных - в табличной форме, интервалы опробования по скважинам с выделением петрографической разности

Она позволяет произвести первичную оценку месторождения для выработки стратегии его освоения в режиме стабилизации качественных показателей

рудопотоков. На рисунке 2.6, в качестве первичного звена при моделировании месторождения и источника первичных оценок представлена геологическая база данных, где показано функциональное и технологическое назначение геологической базы данных в методике геоинформационного обеспечения планирования горных работ для:

- экспресс-прогноза распределения качественных показателей на месторождениях;
- обоснования и расчета потерь и засоренности руд и углей;
- обосновании вскрытия и порядка отработки месторождения при выборе рационального места заложения капитальных и разрезных траншей;
- выбора рациональных способов управления качеством по участкам карьера.



Рисунок 2.6 – Геологическая база данных как первичное звено при моделировании месторождений и источник первичных оценок

Анализ действующих методик управления качеством минерального сырья, а также систематизация методов обработки данных позволили разработать ряд микропрограмм на языке Python для вариационного анализа выбора способов управления качеством рудного сырья по участкам месторождения с учетом его изменчивости и разведанности.

В таблицах 2.1 и 2.2, а также на рисунках 2.7-2.8 приведены результаты автоматизированного анализа «морфологической» и «качественной» характеристик, формирующих часть горно-геологических условий Серовского месторождения комплексных руд. Установлено, что бобово-конгломератовые железные и латеритные охристые кобальт-никелевые руды, слагающие месторождение принадлежат к различным природным типам рудных образований, что подразумевает их технологическое картирование для организации отдельной добычи и переработки. Анализ химических показателей бобовых железных руд Серовского месторождения позволяет разделить их по количеству цемента (вмещающих пород) и степени выветрелости на различные технологические сорта. Этот вывод подтверждают результаты статистического анализа в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Оценка условий залегания руд Серовского месторождения комплексных руд по геологической базе данных

Элемент	Мин.	Макс.	Сред.	Стд. откл.	Размах	Медиана	К <sub>вар</sub>
Мощность покрывающей рудное тело вскрыши	3.0	156.0	74.8	32.8	153.0	76.6	43.8
Мощность рудного тела	2.0	38.1	11.5	7.7	36.1	9.5	66.9

Отмечена высокая изменчивость мощности рудных тел, покрывающей толщи вскрышных пород, а также качественных характеристик (табл. 2.2, рис. 2.7-2.8), что обуславливает необходимость поиска рационального места первоначальной карьерной выемки в период строительства и заложения капитальных траншеи с целью обеспечения минимальной продолжительности этапа горно-капитальных работ и обеспечения стабильного по качеству потока руд.

Блок-схема, характеризующая общий рекомендуемый порядок обоснования вскрытия и выбор направления отработки представлена на рисунке 2.9.

Таблица 2.2 – Статистические показатели содержания полезных компонентов Серовского месторождения комплексных руд

Элемент	Кол-во дан.	Мин.	Макс.	Сред.	Стд. откл.	Размах	Медиана	К <sub>вар</sub>
Железо	2236	3,28	57,07	35,89	9,78	53,79	37,17	27,3
Никель	2236	0,01	2,2	0,20	0,15	2,19	0,16	75,7
Кобальт	2236	0,001	0,41	0,029	0,025	0,409	0,023	87,1
Хром	2236	0,01	7,456	1,68	0,74	7,446	1,64	44,3



Рисунок 2.7 – Глубина подсечения разведочными скважинами полезного ископаемого на Серовском месторождении комплексных руд.



Рисунок 2.8 – Распределение мощностей рудных интервалов по данным анализа геологической базы данных на Серовском месторождении комплексных руд.

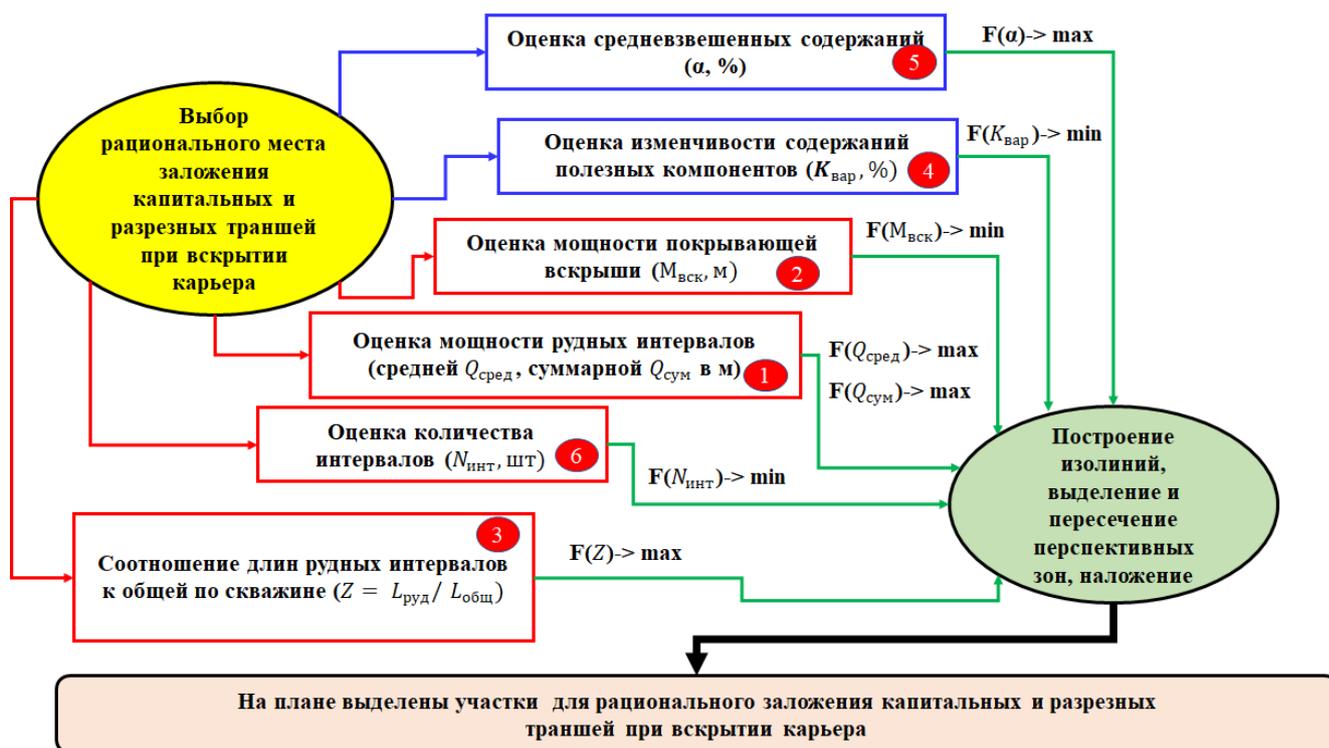
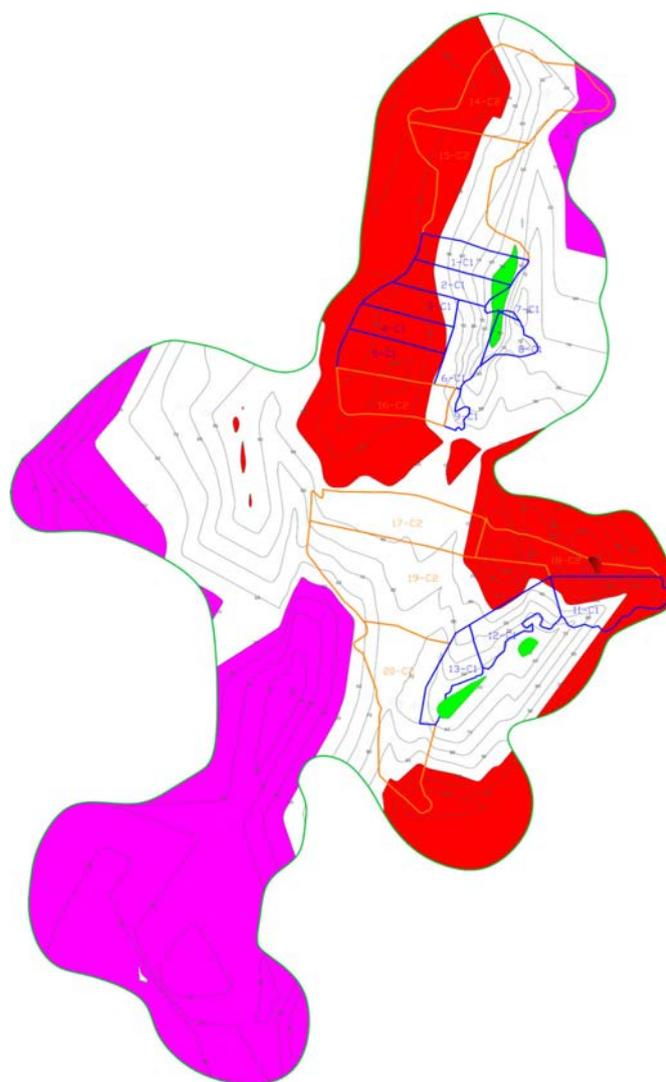


Рисунок 2.9 – Блок-схема к выбору направления отработки и обоснованию порядка вскрытия

Цифрами на в блок-схеме показаны факторы по степени их влияния на принятие решения. Желательными показателями, характеризующими каждый из выделенных факторов, являются вычисляемые в соответствии с предложенной логикой положения изогипс, сопоставление и последовательное наложение которых на геоинформационную модель экспресс-оценки позволяет определить приоритетные участки начала горно-капитальной вскрыши. На рис. 2.10 представлена карта изомощностей вскрышных пород в виде изолиний на Серовском месторождении комплексных руд, построенная по результатам анализа геологической базы данных.

В результате выполнения, указанного на блоке-схеме 2.9 алгоритма обоснованы первоочередные места заложения вскрывающих выработок, установлено, что первоначально месторождение рекомендуется обрабатывать двумя карьерами-участками: Северным и Южным.



- Перспективные первоочередные участки
- Зона с мощностью вскрышных пород менее 50 м
- Зона с мощностью вскрышных пород более 100 м
- Границы блоков подсчета запасов категории С2
- Границы блоков подсчета запасов категории С1

Рисунок 2.10 – Изомощности вскрышных пород в зоне прогноза с выделением перспективных участков первоочередной отработки (выделено зеленым цветом).

При отработке методики экспресс-прогноза распределения качественных показателей по геологическим данным (на примере Серовского месторождения комплексных руд) выполнен анализ горно-геологических условий, статистический регрессионный анализ качественных показателей руд, построены геоинформационные модели, на основании которых выделены и районированы природные 2 природных и 3 технологических типов руд. По данным скважинного опробования построены погоризонтные планы изогипс, характеризующие распределение никеля по площади месторождения с выделением природных типов

руд и их сортов (рис.2.11). Для оценки качественных показателей природных типов руд установлен характер распределения в них ценных компонентов. Установлено, что распределение содержаний никеля в бобовых рудах имеет резко асимметричный характер с преобладанием классов до 0,3%, составляющих 80% всей выборки, среднее содержание  $Ni=0,25\%$ . В латеритных рудах никель распределен относительно равномерно при незначительной (15,7%) доле содержаний в классах до 0,3%. Преобладают классы содержаний  $Ni \geq 0,5\%$ , среднее содержание  $Ni=0,67\%$ . Таким образом установлено, что бобово-конгломератовые железные и латеритные охристые кобальт-никелевые руды принадлежат к различным природным типам рудных образований, что подразумевает их технологическое картирование для организации отдельной добычи и переработки. Для интерполяции данных принят стандартный метод обратных расстояний. При интерполяции радиус поиска требуемых параметров задан исходя из среднего расстояния между профилями - 1000 метров.

Таблица 2.3 – Статистические показатели содержания полезных компонентов Серовского месторождения комплексных руд

Наименование руды		Содержание Ni, %	Распр. в % от площади горизонта
Природные типы	Технологические типы		
Латеритно-охристые коры выветривания	Кобальт-никелевые	0,30	3,96
Бобово-конгломератная осадочные железные	Рыхлая	0,30-0,23	5,25
	Охристая и охристо-глинистая	0,23-0,15	54,25
	Плотная	<0,15	36,53

Отмечено, что латеритные руды расположены в восточной части северного участка, на контактах с лицензионным участком Уфалейникеля. В пределах границ месторождения преобладает охристая и глинисто-охристая разновидность бобово-конгломератной руды. Западная часть от центральной оси утвержденных запасов представлена плотными бобово-конгломератными рудами.

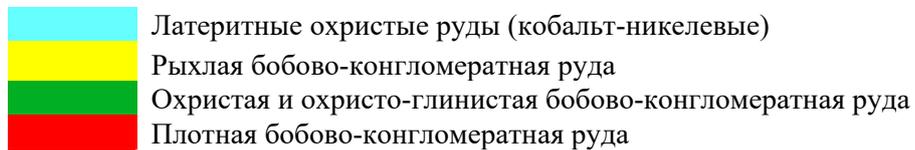
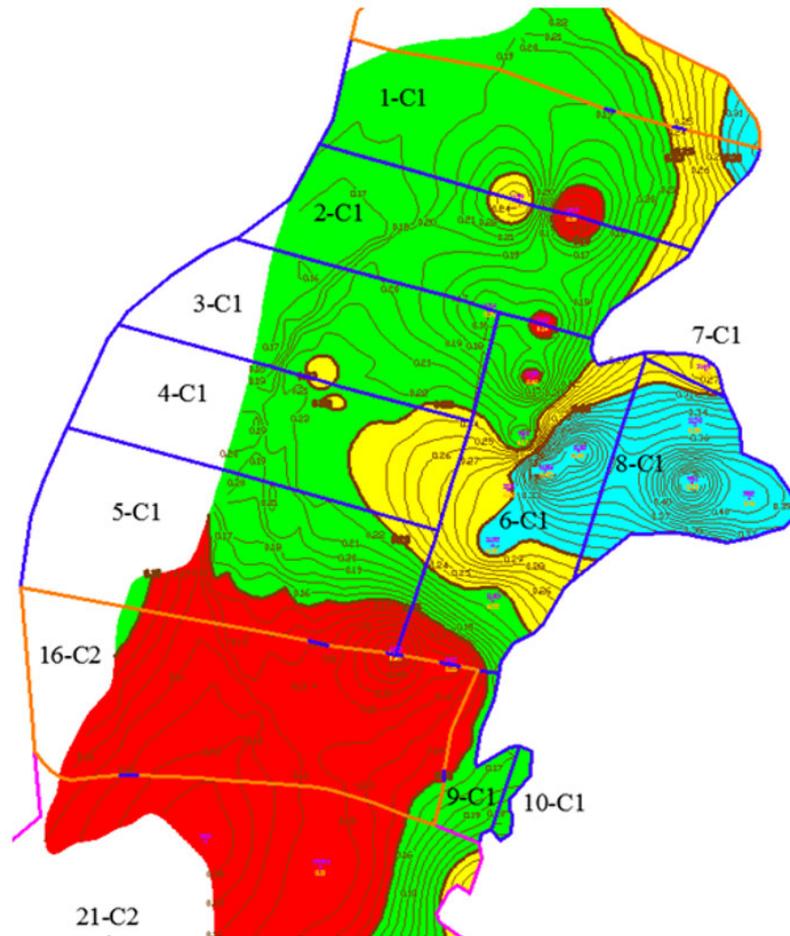


Рисунок 2.11 – Фрагмент распределения содержания железа общего в форме изолиний, а также природных и технологических сортов руды гор. +40м в пределах границ блоков подсчета запасов

Моделирование при экспресс-оценке и поиске перспективных участков для управления качеством производится на основании совокупной оценки качества, его изменчивости, а также разведанности месторождения – количества скважин, попадающих в изучаемый участок пространства (рис. 2.12).

Исходными данными для экспресс-оценки являются две таблицы: интервальная таблица с данными по скважинам с значениями колонок: от, до и различных атрибутивных данных (качественные характеристики), а также координаты устья скважин.



Рисунок 2.12 – Блок-схема экспресс-оценки вариабельности качества по глубине оруденения, по простиранию и вкрест простирания залежи с выделением «скользящего окна»

Первичной оценкой является вариант расчета изменчивости качества руд вдоль координатных осей и разведочных профилей, что позволяет отследить общие закономерности изменения качества на месторождении и получить общие рекомендации к выбору направления отработки.

Для Собственно-Качканарского месторождения установлено, что содержания титана и ванадия будут иметь повышенные значения если отработку месторождения вести с запада на восток, но более рациональной с точки зрения значений минимальных коэффициентов вариации является отработка с севера на юг - вкрест разведочным профилям (рис. 2.13-2.14).

Наиболее разведанными являются горизонты СКМ в диапазоне +400 м ÷ +700 м, которые характеризуются значительным количеством проб, минимальными расстояниями между разведочными скважинами и большими зонами охвата запасов по площади горизонта. В таблице 2.4 приведены результаты автоматизированного статистического анализа данных опробования по разведочным профилям СКМ.

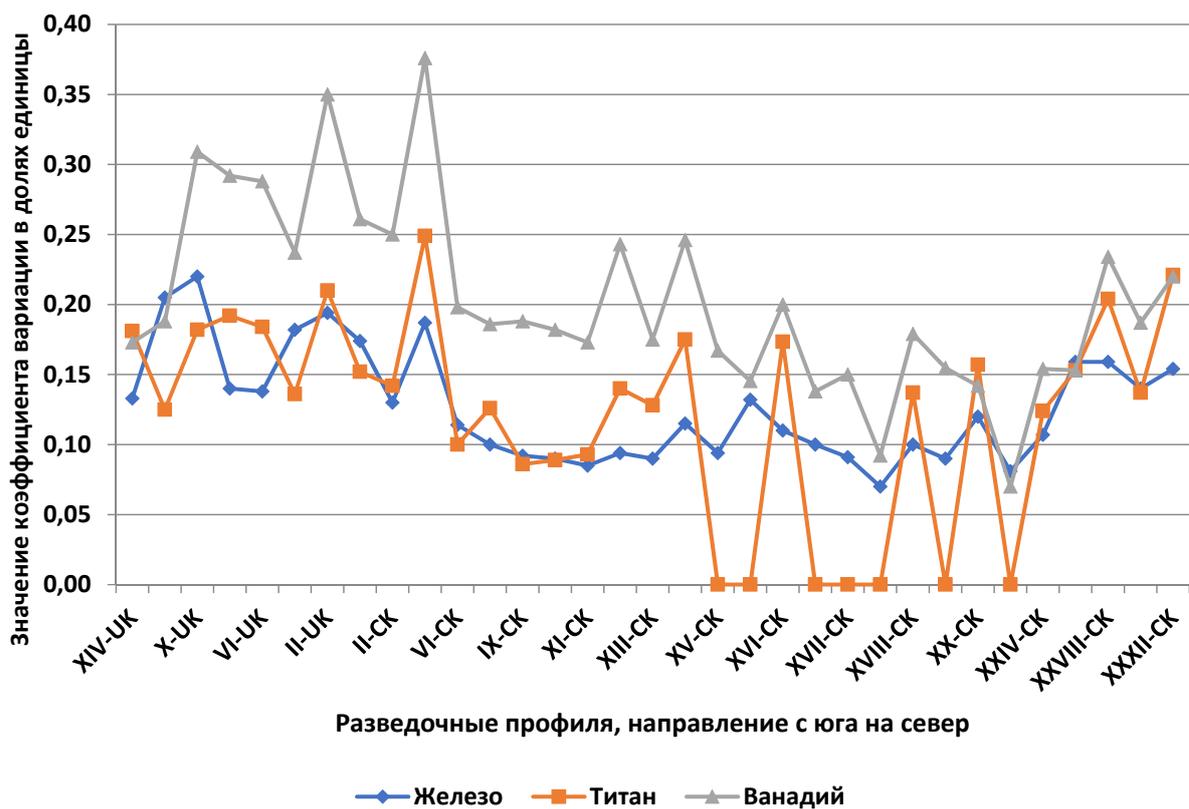


Рисунок 2.13 – График, характеризующий значения коэффициента вариации ценных компонентов по разведочным профилям, ориентированным с юга на север месторождения

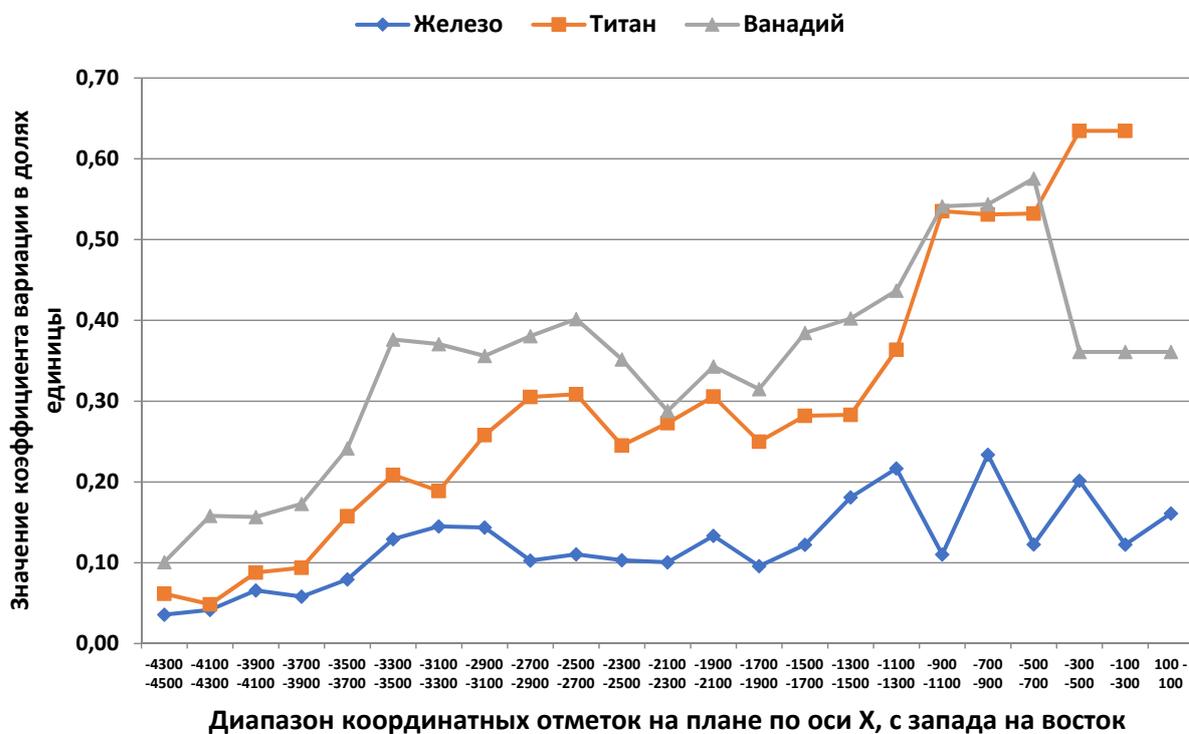


Рисунок 2.14 – График, характеризующий изменения значений коэффициента вариации ценных компонентов по координатам с запада на восток месторождения

Таблица 2.4 – Результаты статистического анализа данных опробования по разведочным профилям Собственно-Качканарского месторождения

ID	Профиль	Fe					TiO <sub>2</sub>					V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					Кoeffициент корреляции			R2		
		Мин	Макс	Сред	Вариация	Проб	Мин	Макс	Сред	Вариация	Проб	Мин	Макс	Сред	Вариация	Проб	Fe/Ti	Fe/V	Ti/V	Fe/Ti	Fe/V	Ti/V
1	XIV-UK	11.3	23.4	15.5	0.13	133	1.05	2.16	1.33	0.18	15	0.08	0.22	0.15	0.17	50	0.9	0.5	0.8	0.7	0.3	0.6
2	XII-UK	6.2	22.0	15.2	0.21	202	1.12	1.58	1.33	0.13	19	0.09	0.20	0.14	0.19	109	0.5	0.3	0.8	0.2	0.1	0.7
3	X-UK	5.5	21.1	14.7	0.22	302	0.64	1.62	1.15	0.18	141	0.06	0.27	0.16	0.31	174	0.6	0.3	0.6	0.4	0.1	0.4
4	VIII-UK	9.2	20.5	14.7	0.14	234	0.76	1.66	1.18	0.19	111	0.06	0.20	0.13	0.29	122	0.8	0.7	1.0	0.6	0.5	0.9
5	VI-UK	8.6	28.0	15.8	0.14	242	0.48	2.00	1.13	0.18	140	0.06	0.25	0.13	0.29	151	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2
6	IV-UK	9.9	37.3	15.0	0.18	173	0.77	1.67	1.13	0.14	102	0.06	0.22	0.12	0.24	110	0.6	0.7	0.9	0.4	0.5	0.7
7	II-UK	6.3	25.7	15.6	0.19	581	0.49	1.81	1.10	0.21	465	0.04	0.24	0.13	0.35	481	0.6	0.5	0.7	0.4	0.2	0.6
8	0	8.1	24.7	14.7	0.17	261	0.60	1.51	1.07	0.15	174	0.04	0.18	0.11	0.26	174	0.7	0.6	0.8	0.6	0.4	0.7
9	II-CK	8.0	28.4	15.2	0.13	280	0.64	1.45	1.06	0.14	202	0.05	0.19	0.11	0.25	206	0.6	0.6	0.9	0.4	0.3	0.8
10	IV-CK	6.8	55.0	15.8	0.19	1559	0.24	3.51	1.01	0.25	1153	0.03	0.62	0.13	0.38	1316	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5
11	VI-CK	9.2	26.7	15.6	0.11	325	0.93	1.77	1.30	0.10	89	0.06	0.19	0.13	0.20	139	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
12	VIII-CK	9.6	21.7	16.5	0.10	296	1.03	1.96	1.42	0.13	71	0.09	0.24	0.14	0.19	196	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1
13	IX-CK	11.5	21.6	16.4	0.09	322	1.12	1.83	1.45	0.09	106	0.07	0.20	0.14	0.19	220	0.5	0.6	0.3	0.2	0.3	0.1
14	X-CK	11.7	27.1	17.0	0.09	550	1.05	1.72	1.38	0.09	118	0.06	0.23	0.14	0.18	446	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
15	XI-CK	11.3	23.7	17.0	0.09	326	1.00	1.68	1.33	0.09	50	0.09	0.21	0.14	0.17	264	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1
16	XII-CK	12.8	27.2	17.0	0.09	336	0.88	1.77	1.30	0.14	211	0.06	0.26	0.15	0.24	312	0.6	0.4	0.1	0.4	0.2	0.0
17	XIII-CK	11.0	24.6	17.1	0.09	303	0.95	1.94	1.44	0.13	54	0.06	0.21	0.14	0.18	263	0.8	0.5	0.7	0.6	0.3	0.5
18	XIV-CK	8.3	29.3	16.8	0.12	562	0.60	2.03	1.24	0.18	259	0.08	0.39	0.16	0.25	486	0.8	0.3	0.4	0.6	0.1	0.2
19	XV-CK	11.5	25.5	16.6	0.09	318						0.09	0.21	0.15	0.17	215		0.3		0.0	0.1	0.0
20	XV-XVI-C	12.9	26.8	17.2	0.13	96						0.11	0.21	0.15	0.15	71		0.9		0.0	0.7	0.0
21	XVI-CK	10.8	24.2	16.8	0.11	496	0.71	2.09	1.26	0.17	214	0.04	0.28	0.15	0.20	404	0.8	0.6	0.6	0.7	0.4	0.3
22	XVI-XVII-CK	11.8	22.9	16.4	0.10	163						0.11	0.22	0.15	0.14	144		0.8		0.0	0.6	0.0
23	XVII-CK	12.5	28.5	16.7	0.09	285						0.08	0.27	0.15	0.15	197		0.6		0.0	0.4	0.0
24	XVII-XVIII-CK	14.4	21.9	17.6	0.07	107						0.12	0.18	0.15	0.09	98		0.6		0.0	0.4	0.0
25	XVIII-CK	12.9	24.4	17.5	0.10	309	0.88	1.90	1.37	0.14	137	0.09	0.25	0.15	0.18	288	0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.5
26	XIX-CK	15.1	26.5	18.2	0.09	289						0.10	0.22	0.15	0.15	274		0.7		0.0	0.4	0.0
27	XX-CK	9.8	31.6	17.7	0.12	463	0.67	1.88	1.28	0.16	98	0.12	0.26	0.17	0.14	364	0.7	0.3	0.7	0.5	0.1	0.5
28	XXII-CK	12.7	22.2	16.8	0.08	178						0.14	0.20	0.17	0.07	137		0.6		0.0	0.4	0.0
29	XXIV-CK	6.4	22.2	15.9	0.11	699	0.50	1.96	1.27	0.12	494	0.10	0.31	0.18	0.15	570	0.6	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1
30	XXVI-CK	7.6	25.8	15.0	0.16	240	0.63	1.60	1.25	0.15	85	0.10	0.24	0.15	0.15	138	0.6	0.6	0.3	0.3	0.4	0.1
31	XXVIII-CK	8.5	31.0	15.4	0.16	246	0.55	2.20	1.22	0.20	190	0.06	0.34	0.15	0.23	201	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
32	XXX-CK	8.5	17.9	15.0	0.14	74	0.64	1.52	1.27	0.14	45	0.08	0.21	0.16	0.19	45	0.9	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7
33	XXXII-CK	5.8	23.4	15.3	0.15	137	0.22	2.22	1.09	0.22	137	0.04	0.19	0.13	0.22	137	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2

Установлено, что значения средних содержаний TiO<sub>2</sub> в пробах повышенное на верхних проектных горизонтах планируемого карьера СКМ и снижается с гор. +490 м и ниже. По результатам анализа отслеживается корреляционная связь между содержанием полезных и вредных компонентов в руде, выходом концентрата, объемным весом, петрографической разностью и другими атрибутивными данными - её цель установить закономерности, которые могут в дальнейшем использоваться при эксплуатационной разведке для уточнения и пополнения геологической базы данных, а также повышения точности прогнозных оценок. Фрагмент листинга для оценки изменчивости вдоль координатных осей на языке Python приведен на в Приложении А (рис. А.1).

Варьирование шагом подвигания фронта при такой оценке позволяет оценить возможность снизить изменчивость руды за счет управления режимом горных работ, что впоследствии повысит эффективность усреднения и гомогенность поставляемой на фабрику руды, планирование — это первичный фактор

формирование рудопотока, который не всегда удается стабилизировать приемами и способами управления качеством. Из рисунка 2.15 следует, что распределение коэффициентов вариации ванадия в площади месторождения зависит от шага подвигания (годовой скорости): 100, 300 и 500 м/год.

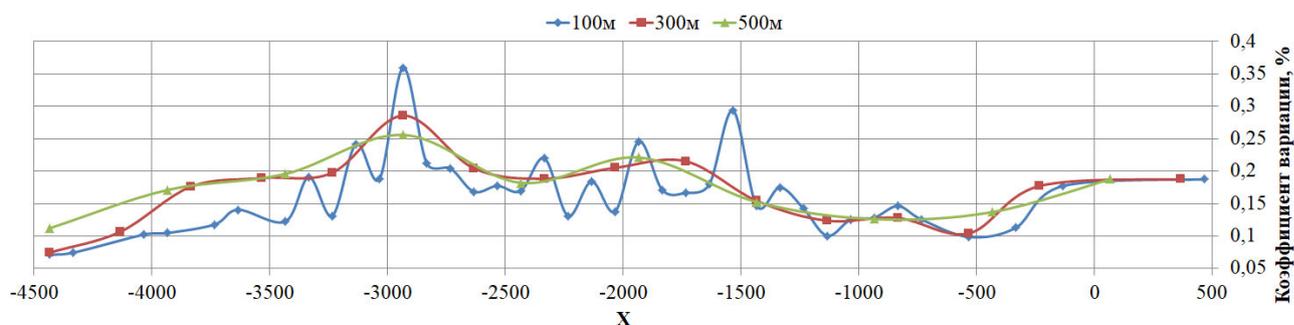


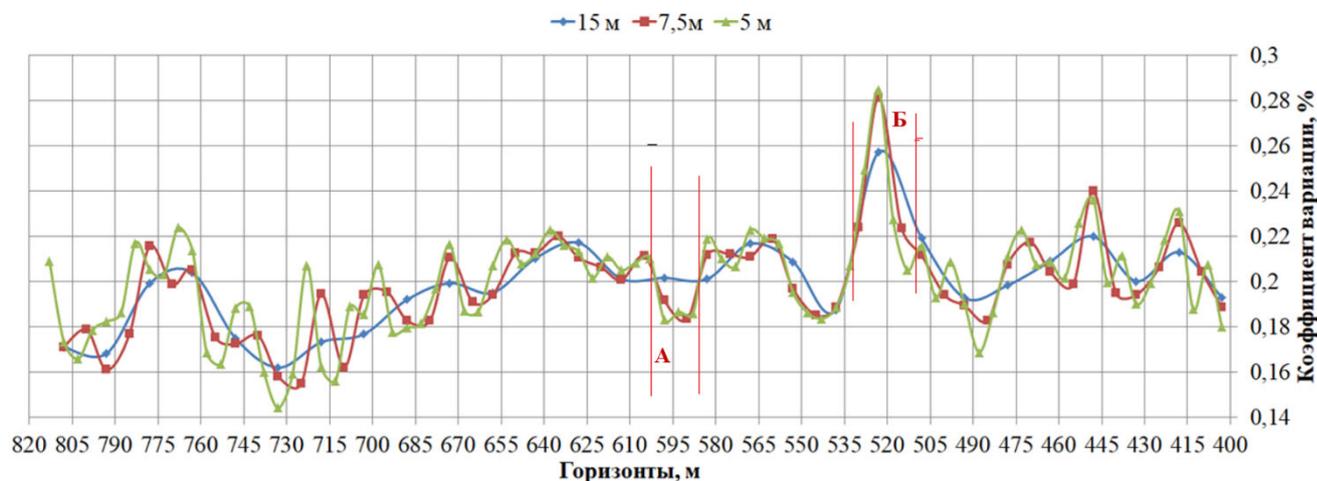
Рисунок 2.15 – Распределение коэффициентов вариации ванадия при ориентации фронта горных работ вдоль короткой оси - X.

Из графика видно, что до отметки -3300 по оси X, коэффициент вариации минимален при минимальном подвигании фронта работ. Поэтому для выдерживания минимальной колеблемости концентрации ванадия в добываемых рудах рационально шаг подвигания фронта держать минимальным, а требуемую производительность по полезному ископаемому обеспечивать за счет увеличения скорости понижения горных работ на этом участке.

Вторым направлением анализа для автоматизированных экспресс-оценок (рисунок 2.12) является изучение изменчивости по глубине объекта, в т.ч. при изменении мощности выемочного слоя (уступа/подуступа). Для реализации экспресс-оценок вариабельности качества исходная геологическая база данных проходит ряд трансформаций:

- проводится детализация скважинных проб методом «вниз по скважине» (согласно полям «от» и «до» интервальной таблицы опробования) с минимальным заданным шагом интервала (до 1м) и округлением до его целого значения;
- итеративная оценка изменчивости для различных значений высоты выемочного слоя путем сопоставления таблиц интервального опробования и

координат устья для вычисления абсолютных отметок каждого интервала. Результаты работы представлены на рисунке 2.16.



Распределение коэффициентов вариации содержания ванадия на горизонтах.

- А - Участок, где более рационально использовать технологию подступов
- Б - Участок, где необходимо рассмотреть целесообразность выделение различных природных типов или сортов руд

Рисунок 2.16 – Результаты работы методики выделения рудных интервалов с разным коэффициентом вариации методом усреднения профильных содержаний в зависимости от применяемой высоты уступа и направления развития горных работ

Анализ рисунка 2.16 свидетельствует о том, что вариация качества обрабатываемых руд снижается на ряде участков месторождения за счет перехода на отработку подступами (участок А). В свою очередь (участок Б) существенное увеличение вариабельности данных говорит о том, что следует выделенный участок рассмотреть с позиций необходимости его селективной отработки по сортам или типам. Во-вторых, уточнить локализацию участка в плане и, следовательно принять решение о способе рудоподготовки или уточнении качественных показателей.

На рисунке 2.17 показан еще один элемент блок-схемы экспресс оценок (рис. 2.12) построенный автоматизированными средствами план по средним значениям содержания железа общего (зоны), черными цифрами и размером красного маркера указаны коэффициенты вариации по скважинам. Он позволяет быстро оценить поле месторождения и выявить локальные участки, требующие дополнительного изучения.

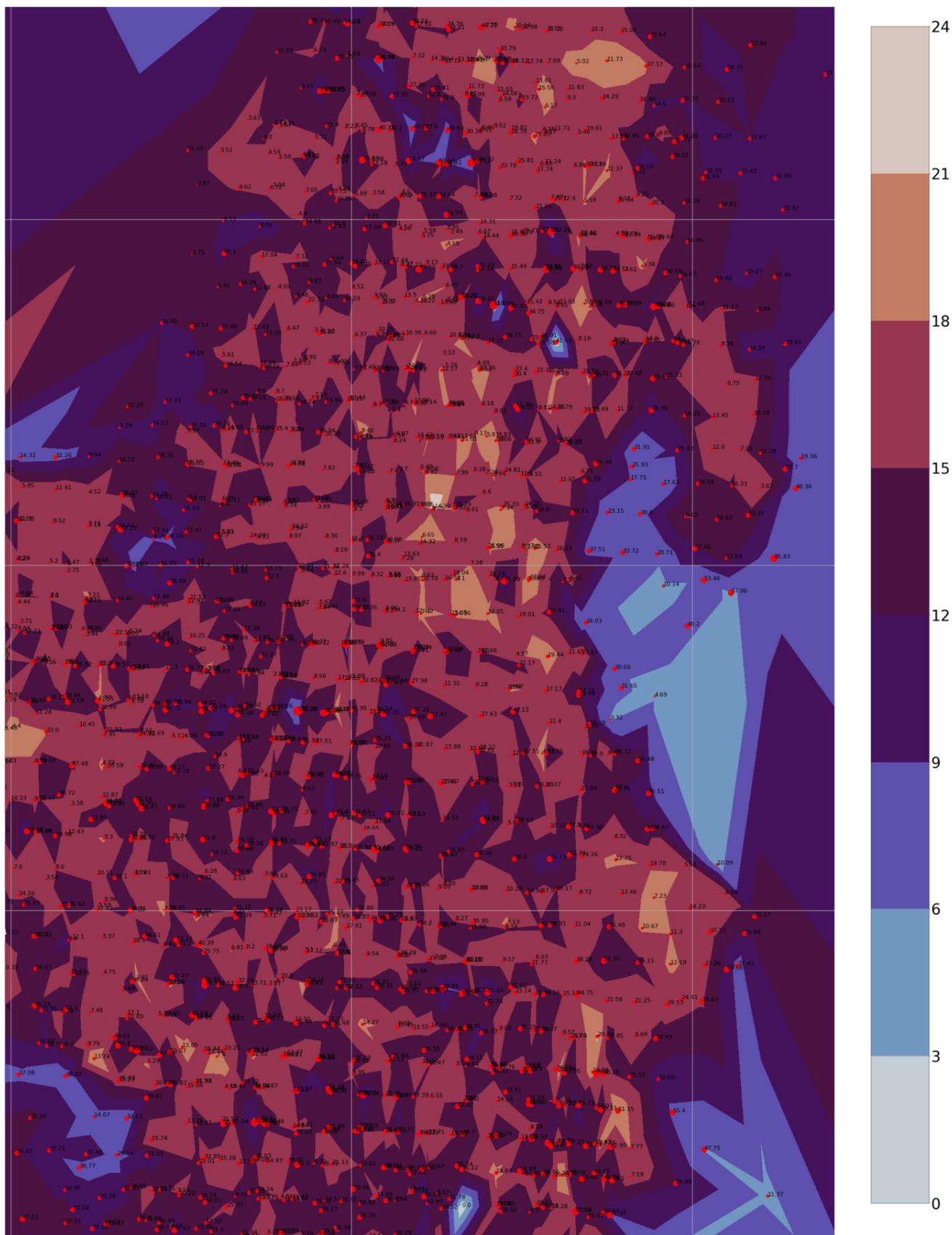


Рисунок 2.17 – Фрагмент карты средних содержаний железа общего (вертикальная шкала) и коэффициентов вариации (цифры на плане) по скважинам (геологической базы данных)

При использовании метода «скользящего окна» мы разбиваем поле месторождения на прямоугольные участки с различными определяющими их размер параметрами: шагом подвигания горных работ и длиной экскаваторного блока (см. таблицу 2.5 и рисунок 2.18). При оценке вариабельности базы данных по методу «скользящего окна» к пробам добавляются координатные привязки из таблицы скважин и определяется принадлежность к разведочному профилю.

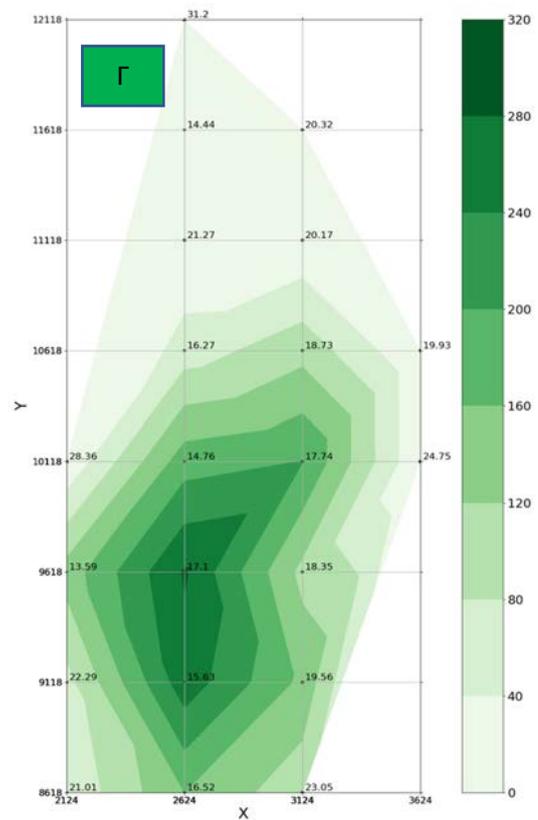
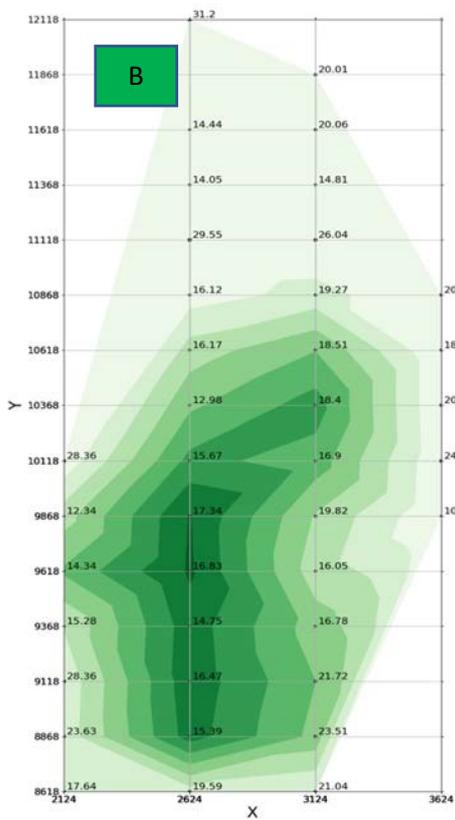
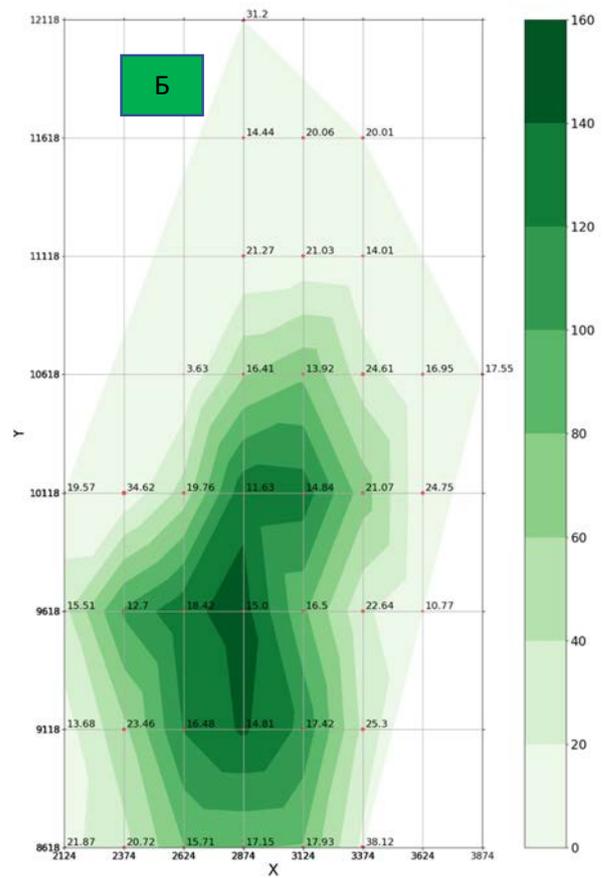
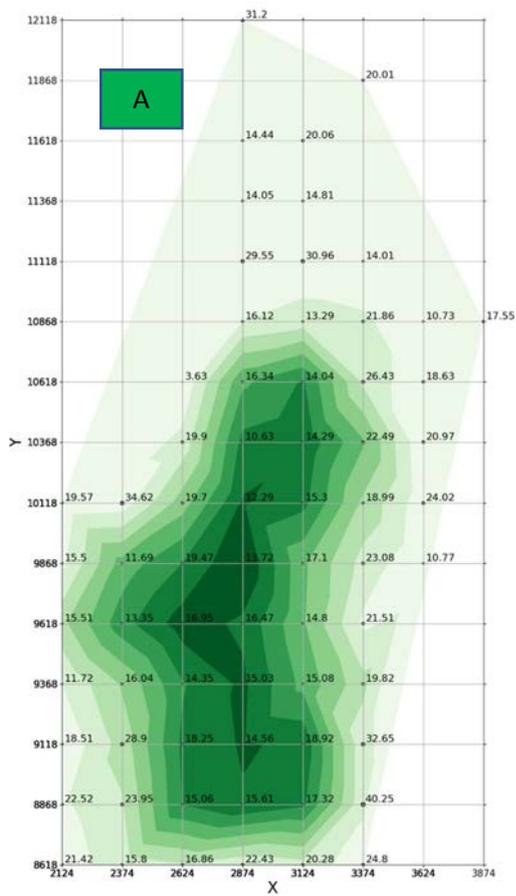
Таблица 2.5 – Результаты автоматизированного статистического анализа по методу «скользящего окна» для участков 500х500 метров

№ сектора	Х от	Х до	У от	У до	Кол-во скважин	Содержание полезного компонента					
						Среднее, %	Квар, %	Медиана, %	Кол-во проб, шт.	Мин., %	Макс., %
1	2124	2624	8618	9118	47	14,3	21,0	15,1	706	7,09	26,7
2	2124	2624	9118	9618	66	14,2	22,3	14,7	1066	7,02	29,1
3	2124	2624	9618	10118	137	15,6	13,6	15,8	2050	7,03	22
4	2124	2624	10118	10618	6	13,3	28,4	14,1	53	7,2	20,06
5	2624	3124	8618	9118	160	14,7	16,5	14,9	2297	7,08	28
6	2624	3124	9118	9618	264	15,8	15,6	15,9	4438	7,08	26,55
7	2624	3124	9618	10118	284	15,1	17,1	15,3	4834	7,02	27,8
8	2624	3124	10118	10618	182	15,2	14,8	15,5	3531	7,1	26,3
9	2624	3124	10618	11118	59	15,3	16,3	15,5	890	7,06	30,7
10	2624	3124	11118	11618	2	14,3	21,3	15,6	8	8,3	17,2
11	2624	3124	11618	12118	1	17,2	14,4	17,7	33	7,2	20,3
12	2624	3124	12118	12618	1	11,0	31,2	10,5	9	8	18
13	3124	3624	8618	9118	93	15,2	23,0	15,2	1298	7,1	58,6
14	3124	3624	9118	9618	150	16,1	19,6	16,0	2247	7,1	52,5
15	3124	3624	9618	10118	108	16,1	18,4	16,3	1591	7,1	33,8
16	3124	3624	10118	10618	201	15,9	17,7	16,3	3654	7,03	40,1
17	3124	3624	10618	11118	106	16,0	18,7	16,3	1925	7,2	30,9
18	3124	3624	11118	11618	6	15,6	20,2	16,7	121	7,02	23,82
19	3124	3624	11618	12118	3	13,4	20,3	13,0	65	8	18,5
20	3624	4124	10118	10618	4	11,8	24,7	12,0	86	7,19	18,71
21	3624	4124	10618	11118	3	11,0	19,9	11,0	61	7,1	17,1

В результате анализа Собственно-Качканарского месторождения по методу «скользящего окна» отмечено, что существует сильная корреляционная связь между количеством скважин и количеством интервалов опробования с расчетными значениями коэффициентов вариации. При увеличении числа проб вариабельность данных и их колеблемость снижаются до среднего по месторождению. Чем больше коэффициент вариации относительно среднего по месторождению, тем выше приоритет такого участка для эксплуатационной разведки.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Выбор перспективных для управления качеством участков осуществляется на основании геопространственной координированной оценки изменчивости



Варианты дл. экс. бл. и ш. подв. г. р. по вариантам: А- 250×250, Б- 250×500, В- 500×250, Г- 500×500  
 Рисунок 2.18 Разведанность месторождения, отраженная в количестве скважин на условный участок, числами коэф. вариации железа общего

коэффициента вариации содержаний полезных и вредных компонентов минерального сырья в вертикальных и горизонтальных сечениях рудного тела, при этом селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3.

Геологическая база данных формата ГГИС основа для моделирования и на её основе можно сделать предварительные выводы о:

- горно-геологических условиях;
- разведанности месторождения;
- рациональном его вскрытии;
- качестве и его изменчивости, выделить технологические/природные типы и сорта, а также оценить их соотношение;
- получить предварительную геометризацию месторождения в формате изолиний;
- оценить различные направления развития горных работ;
- обосновать соотношение между скоростями подвигания фронта и углубкой в зависимости от изменчивости качества в пространстве месторождения.

Разработаны блок-схемы и автоматизированные экспресс-методики, отражающие функциональное и технологическое назначение геологической базы данных в задаче геоинформационного обеспечения планирования горных работ. Результатом работы всех экспресс-методик являются рекомендации по выбору рационального способа отработки конкретного участка фронта горных работ: валовая или селективная выемка, отдельная добыча, деление участков на подступы для получения требуемого значения содержания при минимальной дисперсии.

## 2.3 Районирование руд с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого

Районирование руд в зависимости от масштаба объекта предлагается осуществлять, используя представленные на рисунке 2.19 методические подходы к оценке качества руд: экспресс-метод (блок, уступ) - предполагающий построение изолиний с последующим выделением зон, характеризующих различные технологические типы и сорта руд, а также детальный метод моделирования (рудное тело, карьер, месторождение) - позволяющий создать полноценную блочную модель для автоматизированных горно-геометрических расчетов.

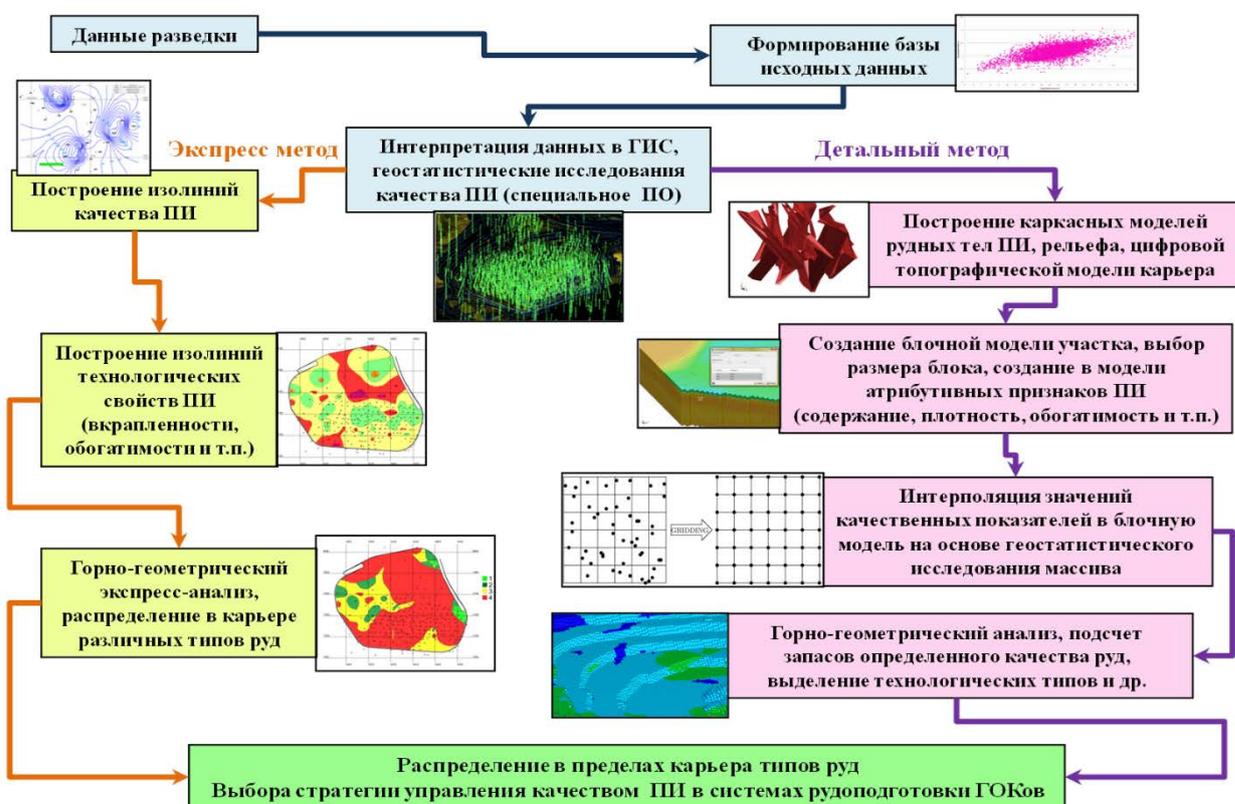


Рисунок 2.19 Блок-схема методики геометризации качественных характеристик

Оба подхода требуют предварительного создания геологической базы данных, а также последующего импорта в ГГИС и позволяют достоверно производить оценку качества руд. Они различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в зависимости

от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого.

Экспресс-метод заключается в построении изолиний по планируемым к отработке горизонтам и разведочным профилям, значения в точках для построения изолиний получаются как правило "композициирование" - приведением разных по мощности интервалов скважинного опробования к заданному шагу. Выбрав подходящий алгоритм интерполяции и границы полигона, задаются основные параметры интерполяции. Следующий этап - ручное выделение зон и обработка чертежей в инженерно-графическом редакторе для наилучшего представления с полуавтоматическим вычислением объемов и типов руд. Пример работы экспресс-метода был описан для геометризации качественных показателей Серовского месторождения комплексных руд.

Детальный более трудоемок, но позволяет установить взаимосвязь и влияние порядка отработки на изменчивость качества полезных ископаемых, а также осуществлять календарное планирование горных работ, он основан на геостатистическом анализе геологической базы данных, построении каркасных, а затем блочных моделей рудных тел (или угольных пластов).

Математическая формализация работы для двух наиболее используемых методов интерполяции при построении моделей в виде блок-схемы представлена на рисунке 2.20.

Достоинства методов геоинформационного моделирования:

- экспресс метод позволяет оперативно в кратчайшие сроки (в полуавтоматическом режиме при непосредственном контроле оператора) получить представления об основных закономерностях пространственного размещения ПИ, при минимальном количестве вычислительных операций;

- детальный метод позволяет в автоматическом режиме произвести подсчет запасов, выделять технологические типы и сорта руд, минимизировать затраты времени на представление результатов, произвести моделирование параметров системы разработки, оценить календарный план и т.п.

Недостатки экспресс метода:

- при изображении формы залежей возникает трудность одновременного изображения и литологии пород, окружающих полезное ископаемое;

- сложно, а иногда и невозможно в изолиниях отобразить тела трубообразной и других сложных форм, а также горизонтально или вертикально залегающие слои правильной формы.

- экспресс метод при изменениях исходных данных и требований к условиям ПИ предполагает трудоемкую ручную обработку изменившихся зон районирования, потребует дополнительных расчетов на стадии редактирования геологической базы.

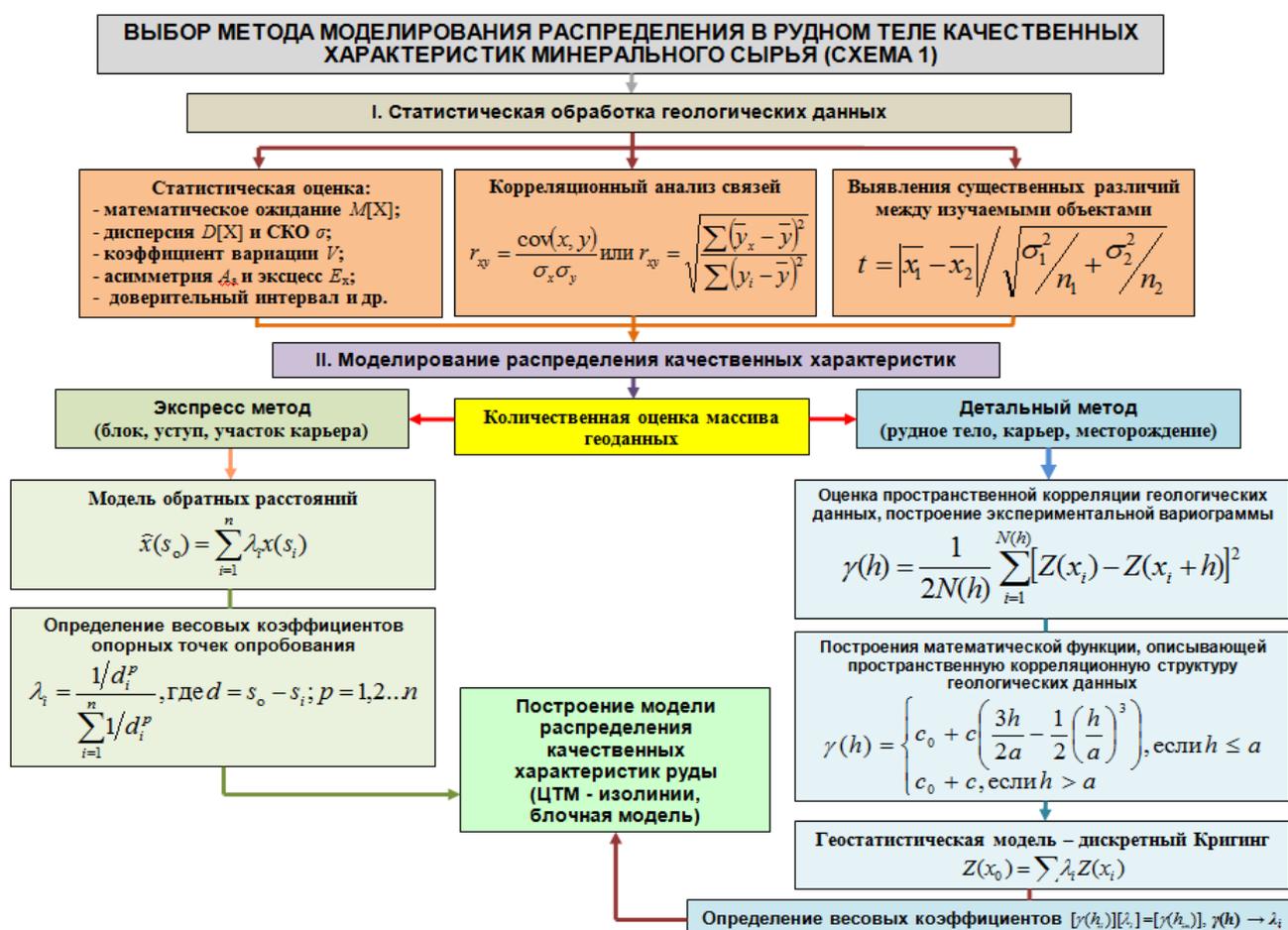


Рисунок 2.20 Блок-схема методики выбора метода моделирования

Недостатки детального подхода: более трудоемкий, т.к. при его применении необходимо произвести большой объем дополнительных исследований и вычислений (геостатистика, создание каркасных моделей, интерполяция в

блочную модель и т.п.), первоначальные затраты времени превышают по сравнению с экспресс-методом минимум в 5-10 раз.

Результатом моделирования обоими методами является модель распределения в карьерном пространстве качественных показателей ПИ и технологических типов руд. Оба метода имеют свои области применения и при необходимости могут дополнять друг друга. Полученная в результате геометризации информация является основой для выбора методов управления качеством минерального сырья. Следует отметить, что для моделирования рудных или пластовых месторождений при оценке запасов, проектировании и планировании горных работ, несмотря на различные горно-геологические условия (пространственно-морфологические, качественные и т.п.), а также геолого-промышленные типы полезных ископаемых требуется единая система взаимосвязанных в пространстве моделей: каркасных, блочных, цифровых топографических планов карьера (и рельефа), что позволяет унифицировать применяемый подход в виде алгоритма (рисунок 2.21).

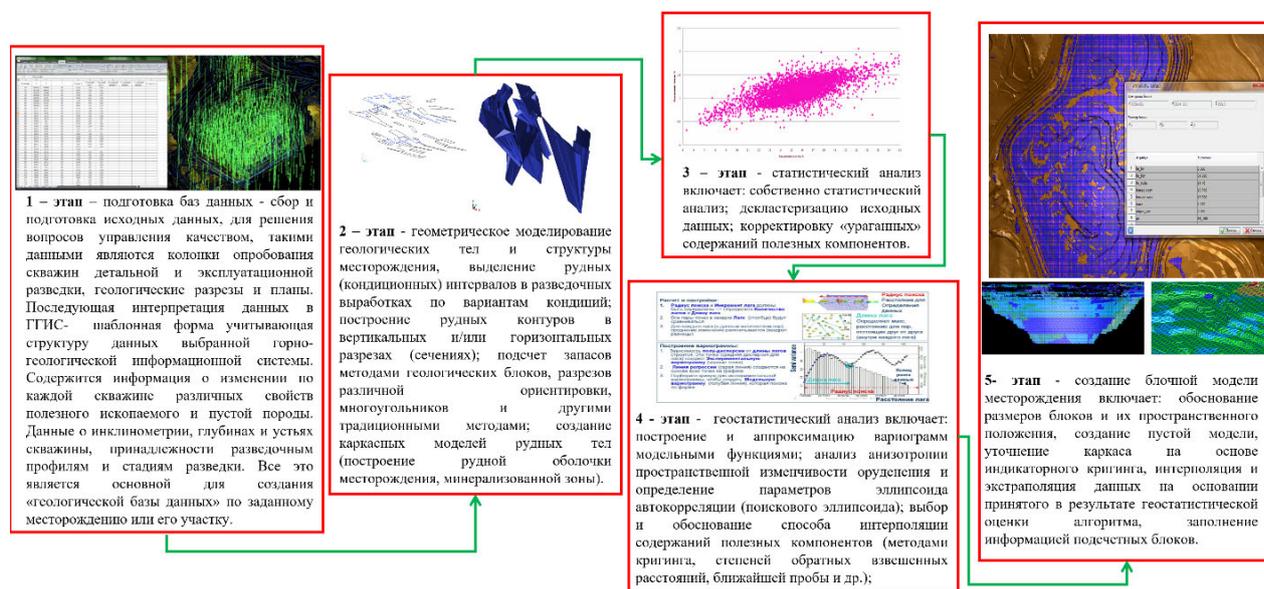


Рисунок 2.21 Алгоритм, построения взаимосвязанных гипсометрических, каркасных и блочных моделей

Каркасные модели рудных тел (см. рис. 2.22) и угольных пластов представляют собой триангуляционную сеть, натянутую на опорные точки, они строятся в ГИС на основании оцифрованных продольных и поперечных разрезов,

погоризонтных планов, планов изогипс кровли и почвы пластов. Базовая цель каркасного моделирования – определение объемов рудного тела или угольного пласта, при блочном моделировании она является физической границей ограничивающей интерполяцию качественных показателей при построении блочной модели. В то же время при условии создания каркасных моделей блоков подсчета запасов возможно оценивать качество по соотношению их веса в подсекаемом карьером объеме руды.

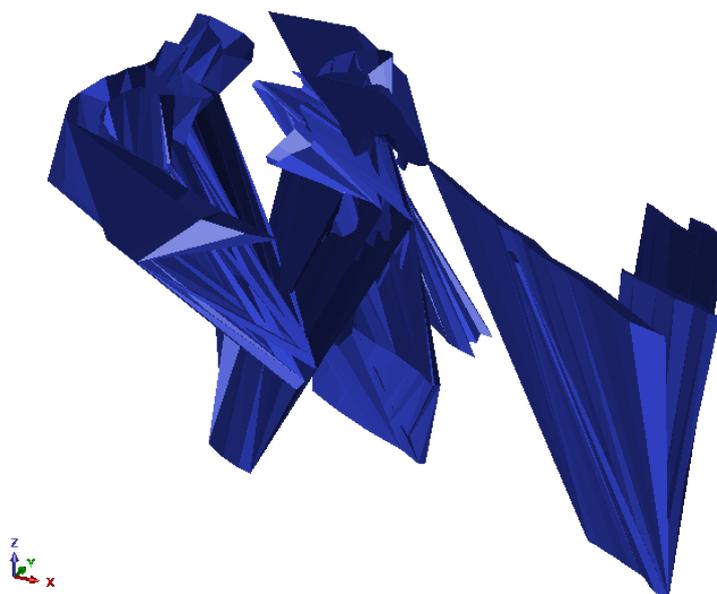


Рисунок 2.22 Каркасная модель рудных тел Яны-Турьинского месторождения

По геологической базе данных оценивается однородность данных, проводится корреляционный и регрессионный анализы, для правильно учета весов при интерполяции необходима декластеризация данных. Геостатистический анализ заключается в построении гистограмм, обосновании параметров и заверке вариограмм в пространстве, оценке анизотропии. От вида распределения качественных показателей полезного ископаемого на месторождении для построения блочной модели обосновывается выбор метода интерполяции данных, поддерживаемый применяемым ГГИС (представлены на рисунке 2.23).

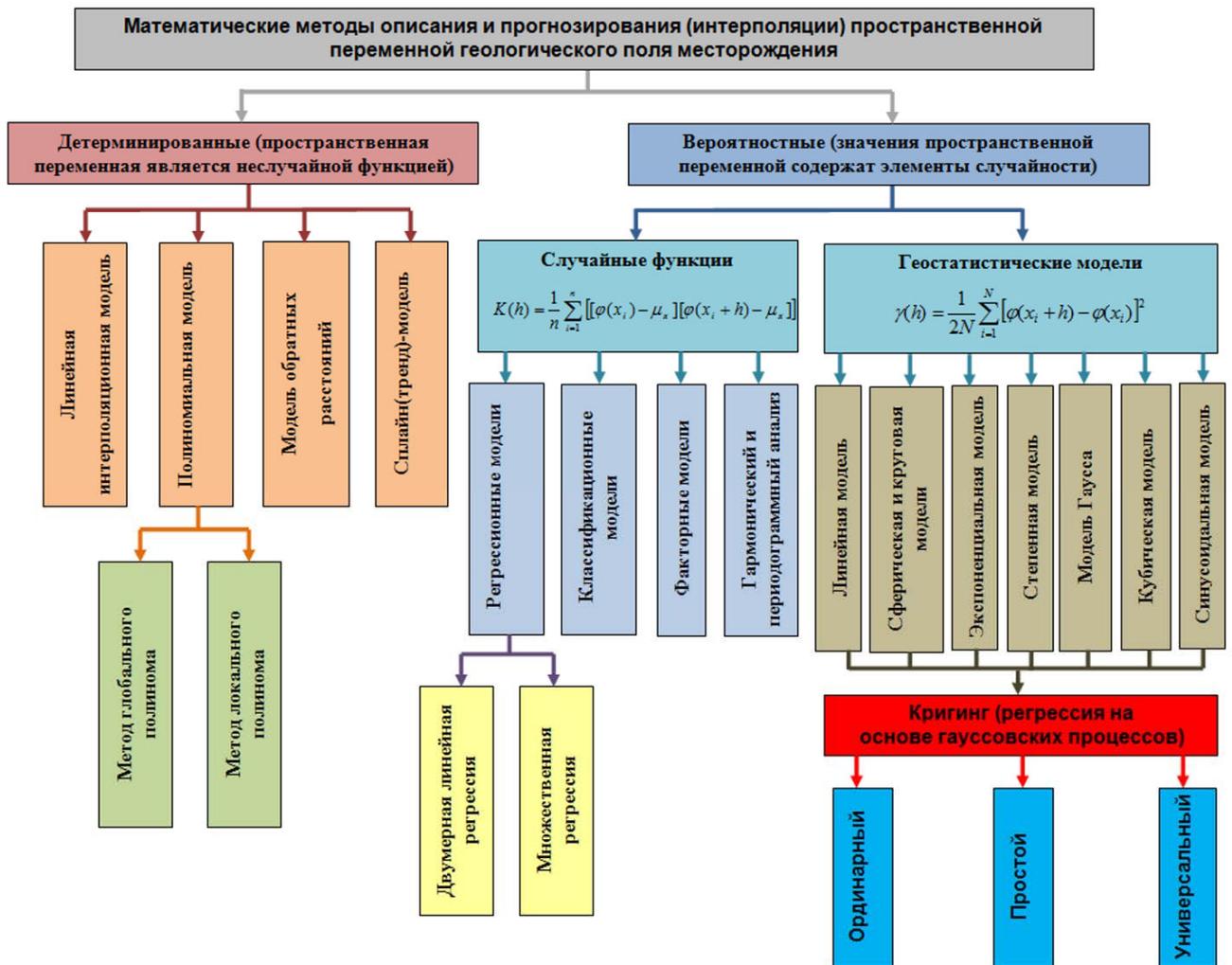


Рисунок 2.23 Пример каркасной модели рудных тел

Основные этапы создания блочной модели горно-геологического объекта (месторождения):

- обоснование размеров блоков и их пространственного положения;
- создание геометрической модели, при сложной конфигурации рудного тела рекомендуется уточнение ее каркаса на основе индикаторного кригинга;
- интерполяция и экстраполяция данных на основании принятого в результате геостатистической оценки алгоритма;
- заполнение полученными в результате анализа геоданными блоками модели.

Факторы, влияющие на размеры блоков модели:

- плотность разведочной сети и горно-геологические условия разработки месторождения, конфигурация границ рудных тел;

- качественные показатели полезных ископаемых и параметры системы разработки месторождения;

- размеры блоков модели и их соответствие параметрам выемочной единицы (на открытых горных работах высота блока модели принимается кратной высоте уступа в карьере).

Для разработки блочных моделей использовались встроенные в горно-геологические информационные системы (ГГИС) методы интерполяции, реализованные в программных продуктах (Geovia Surpac, Mineframe и др.). При обилии различных методов интерполяции наиболее распространенными являются два метода - метод обратных расстояний (IDW) – жесткий интерполятор, его главным преимуществом является скорость работы и малое количество задаваемых параметров и кригинг (kriging) – семейство (обычный, индикаторный, стохастический, с внешним дрейфом и т.п.) геостатистических методов интерполяции, основанных на Гауссовских процессах. При малом наборе данных методы кригинга, обратных расстояний и триангулированной нерегулярной сети дают одинаковый результат, погрешность которого зависит от расстояния между данными и их количеством. При большом количестве данных Кригинг самый лучший, но трудоемкий. Вопрос достоверности моделей в зависимости от количества данных и расстояния между ними все еще актуален и требует дальнейшего изучения.

В результате вышеизложенного установлено:

Точность прогноза распределения качественных характеристик по блочной модели зависит от полноты и качества подготовки исходных данных, а также применяемых параметров её структуры и алгоритмов интерполяции.

Блочная модель является финальной стадией компьютерного моделирования, она основа для горно-геометрических расчетов и оформления горнографической документации. Высота блока модели принимается кратной высоте уступа в карьере, в локализациях, где блочная модель нуждается в детализации (контакты рудных тел), желательно предусмотреть субблокировку.

В результате исследований обоснованы подходы к геоинформационному моделированию качества руд, выделено два метода: экспресс и детальный различающиеся трудоемкостью и детальностью результата исследования. По разработанным методикам и с применением ГГИС построены каркасные и блочные модели по месторождениям (Собственно-Качкарскому, Серовскому, Ак-тальскому и др.), на основе которых выполнялся анализ изменчивости качественных показателей и было разработано геоинформационное обеспечение для планирования горных работ. Результаты геометризации способствуют выявлению сортовых закономерностей в недрах, используемых в процессе планирования горных работ, а также при разработке более эффективной технологии рудоподготовки на горном предприятии.

## 2.4 Влияние порядка отработки при оценке изменчивости качественных показателей добычи

Для оценки влияния порядка отработки на изменчивость качественных показателей с целью стабилизации качества добываемой руды была разработана автоматизированная методика позволяющая определить изменчивость по периодам планирования и выбрать подходящий способ управления качеством на основе критериев: коэффициент вариации, средневзвешенное содержание, рудоносность и форма вероятностного распределения. В общем виде методика представлена на блок-схеме 2.24.



Рисунок 2.24 – Алгоритм расчета скорости подвигания фронта

Исходными данными для оценки являются:

- блочная модель месторождения, ограниченная текущим и проектным конечным положением;
- производительность карьера по годам;
- требования фабрики к изменчивости и среднему содержанию полезных компонентов.

По алгоритму, представленному на рисунке 2.25, производится расчет скорости подвигания фронта на год, квартал, месяц и т.п. При известной высоте уступа определяются размеры блоков, соответствующие недельным объемам.

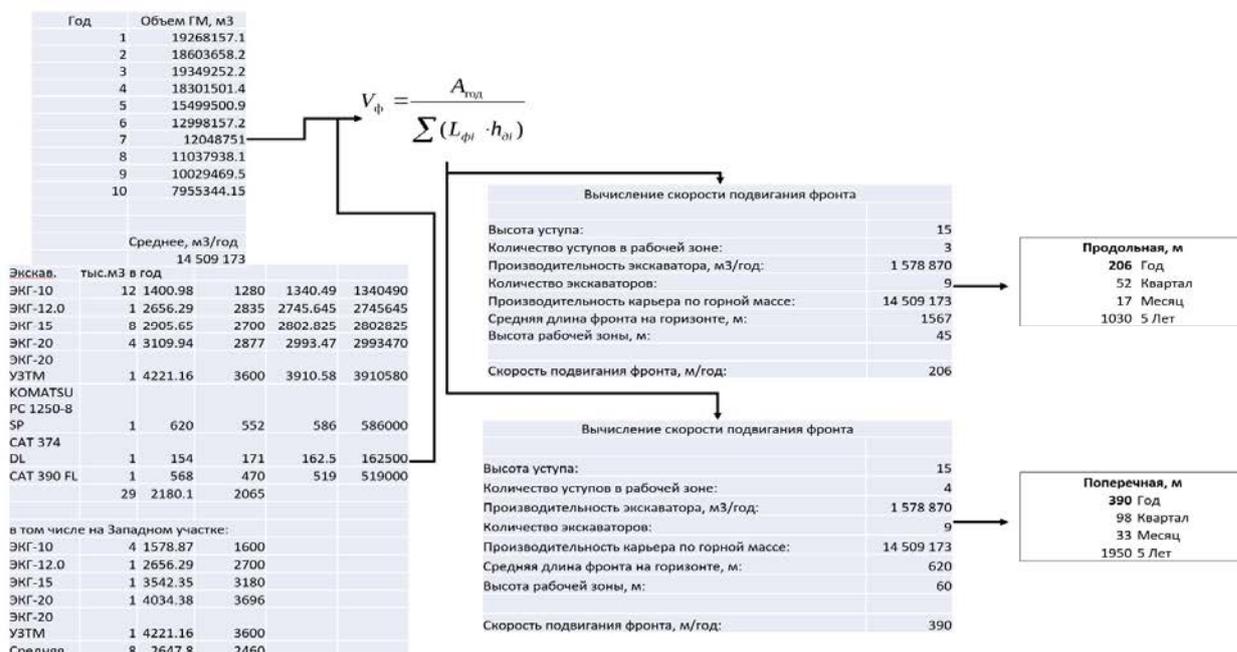
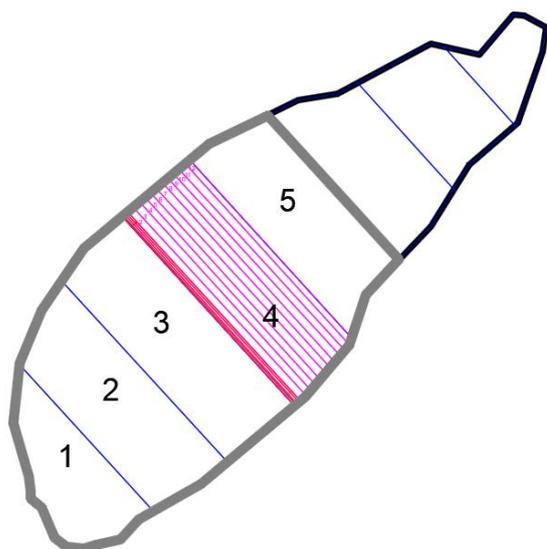
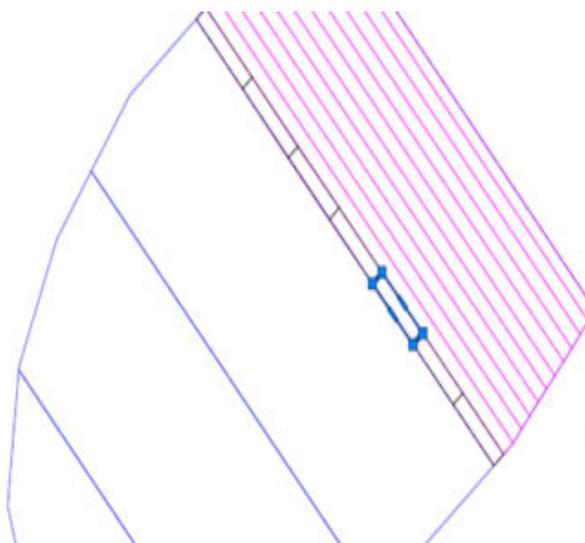


Рисунок 2.25 – Алгоритм расчета скорости подвигания фронта

На рисунке 2.26 и 2.27 показаны варианты развития горных работ при двух направлениях продольном и поперечном по годам и месяцам, а также выделение недельных объемов.



Цифрами показаны года отработки



В пределах 1го месяца выделены недельные объемы

Рисунок 2.26 – Схема, иллюстрирующая динамику развития горных работ по годам при поперечном подвигания фронта

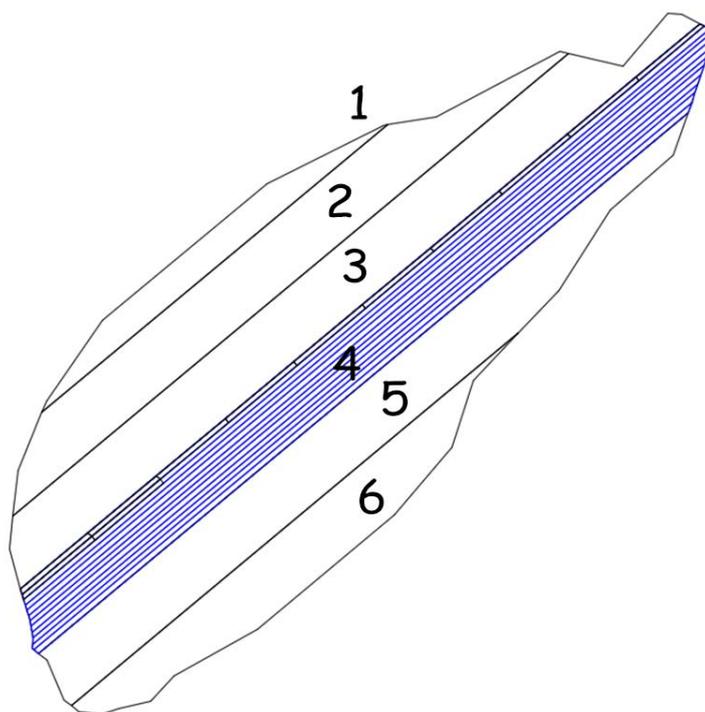


Рисунок 2.27 – Схема, иллюстрирующая динамику развития горных работ по годам при продольном подвигании фронта

Положения горных работ в соответствии с вычисленной скоростью подвигания отстраиваются замкнутой полилинией или полигоном в различных слоях файла dxf формата. Из блочной модели эскортируются данные, представленные центром масс блока (центроиды). С помощью разработанного программного обеспечения происходит проверка принадлежит ли точка центра масс блока многоугольнику, описывающему положение горных работ. Для определения взаимоотношений точек центроидов и многоугольников представляющих границы этапов обработки была использована библиотека Shaply, в которой реализована признанная во всем мире модель-функция DE-9IM [87]. DE-9IM предлагает полное описательное утверждение о двух входных геометриях [88]. Это математическая функция, представляющая полный набор всех возможных отношений о двух сущностях, таких как таблица истинности, Трехстороннее сравнение, карта Карно или диаграмма Венна. Модель DE-9IM основана на матрице пересечений  $3 \times 3$  с видом:

$$DE9IM(a, b) = \begin{bmatrix} \dim(I(a) \cap I(b)) & \dim(I(a) \cap B(b)) & \dim(I(a) \cap E(b)) \\ \dim(B(a) \cap I(b)) & \dim(B(a) \cap B(b)) & \dim(B(a) \cap E(b)) \\ \dim(E(a) \cap I(b)) & \dim(E(a) \cap B(b)) & \dim(E(a) \cap E(b)) \end{bmatrix}$$

Где  $\dim$  размерность пересечения ( $\cap$ ) внутренней (I), границы (B) и внешней (E) геометрий  $a$  и  $b$ . Термины интерьер и граница используются в смысле, используемом в алгебраической топологии и теории многообразий, а не в смысле, используемом в общей топологии: например, интерьер отрезка линии-это отрезок линии без его конечных точек, а его граница-это только две конечные точки (в общей топологии, внутренняя часть отрезка прямой в плоскости пуста, а отрезок прямой является его собственной границей. Если блок принадлежит определенному этапу разработки, то ему добавляется соответствующий атрибут, по которому он вызывается при расчетах объемов, качества и изменчивости. Результаты оценки по Западному карьере Корпангского месторождения (см. таблицу 2.6) на годовых объемах говорят о более высокой изменчивости при продольном направлении отработки, недостатками являются большая протяженность фронта, для поддержания высокой скорости углубки, т.к. значительная часть запасов находится на глубине, потребуется больший парк экскаваторов чем при поперечной отработке. Видно, что при продольном направлении начинать отработку лучше с 4 года, там хорошие запасы руды и минимальный коэффициент вскрыши, поставив юго-восточный борт на 5-6 годах в предел появится возможность использовать стационарную трассу и можно будет увеличить активный фронт и уровень организации производства внутри карьера за счет экономии на вскрывающей трассе. Далее попутно убирая опережающую вскрышу с 3 и 2 годов, мы обеспечим равномерным режим горных работ.

При поперечном направлении развития горных работ мы видим четкую динамику по снижению содержания железа магнитного в руде, тенденцию к увеличению коэффициента вскрыши по годам и более низкую изменчивость качества, чем при продольном направлении.

При оценке месячной скорости подвигания (табл. 2.7) мы видим при продольной отработке выше значение средних содержаний и изменчивость, чем при поперечном направлении, есть тенденция к увеличению содержания по месяцам.

Таблица 2.6 – Оценка изменчивости качественных характеристик при годовом подвигании фронта горных работ

Тип	Направление	Порядок	Объем руды	Объем вскрыши	Объем ГМ	Кт, м3/м3	Кол-во руд. блоков	Ср. взв. %	Стд. Откл.	Квар, % (жел. Магн)
Перспективное планирование (5-7 лет)	Поперечное направление	8 год	488 906	2 333 250	2 822 156	4.8	3 031	19.2	2.81	14.6
		7 год	1 825 594	8 795 719	10 621 313	4.8	6 831	20.4	2.74	13.4
		6 год	3 102 281	13 173 656	16 275 938	4.2	19 812	20.5	3.47	17.0
		5 год	7 518 844	23 723 156	31 242 000	3.2	42 947	23.5	3.91	16.6
		4 год	13 748 063	27 659 344	41 407 406	2.0	61 190	23.4	3.99	17.1
		3 год	9 889 781	31 110 844	41 000 625	3.1	43 275	25.6	4.44	17.3
		2 год	8 140 125	17 918 156	26 058 281	2.2	15 799	27.8	2.81	10.1
		1 год	139 969	2 039 156	2 179 125	14.6	611	26.0	3.56	13.7
	Продольное направление	1 год	0	158 719	158 719	-	-	-	-	-
		2 год	0	24 242 344	24 242 344	-	-	-	-	-
		3 год	20 656 594	62 184 938	82 841 531	3.01	91 705	24.0	3.76	15.7
		4 год	22 472 906	33 039 750	55 512 656	1.47	90 905	24.6	4.69	19.1
		5 год	1 724 063	7 126 125	8 850 188	4.13	10 886	25.5	4.48	17.6
		6 год	0	1 406	1 406	На данном участке борт уже в предельном положении!				

Таблица 2.7 – Оценка изменчивости качественных характеристик на годовых объемах

Тип	Направление	Порядок	Объем руды	Кол-во руд. блоков	Ср. взв. %	Стд. Откл.	Квар, % (жел. Магн)
Текущее планирование 1 Год	Поперечное направление	1 мес	1 323 563	5312	24.6	4.04	16.4
		2 мес	1 449 563	4955	23.5	4.44	18.9
		3 мес	1 389 188	4808	22.0	4.38	20.0
		4 мес	1 430 719	5209	22.3	3.90	17.5
		5 мес	1 461 938	5122	23.0	3.69	16.0
		6 мес	1 217 531	4874	23.3	3.87	16.6
		7 мес	734 063	4778	22.5	3.95	17.5
		8 мес	1 098 938	6080	23.4	3.48	14.9
		9 мес	997 313	5647	24.0	3.92	16.3
		10 мес	899 531	5087	24.1	3.92	16.3
		11 мес	937 313	5189	24.3	3.91	16.1
		12 мес	808 406	4129	24.2	3.81	15.7
	Продольное направление	1 мес	3 108 938	12351	23.8	4.15	17.8
		2 мес	2 852 344	11553	23.8	4.32	18.6
		3 мес	2 777 813	10772	24.2	4.48	19.4
		4 мес	2 520 563	9890	24.3	4.65	20.2
		5 мес	2 201 906	8472	24.3	4.89	21.5
		6 мес	1 935 375	7666	24.3	4.98	21.7
		7 мес	1 783 406	6773	24.6	5.13	22.3
		8 мес	1 468 313	6121	24.9	5.13	21.8
		9 мес	1 271 438	5344	25.5	4.97	20.5
		10 мес	989 156	4503	26.4	4.85	19.4
		11 мес	778 688	3462	26.8	3.86	15.0
		12 мес	784 969	3998	26.9	3.72	14.3

На недельных блоках (таблицы 2.8-2.10) среднее содержание железа магнитного 24,4% при продольной отработке, и 25% при поперечной отработке. Изменчивость руды незначительно больше при продольной отработке. Низкие значения коэффициента вариации в некоторых недельных блоках связаны с однородностью руды в пределах заданных объемов.

Таблица 2.8 – Оценка качественных характеристик на недельных объемах в первый месяц по горизонтам при поперечной отработке

№	Содержания железа магнитного, Fem, %						Коэффициент вариации fem, %							
	Gor	2	3	4	5	6	7	Gor	2	3	4	5	6	7
1	135							135						
2	120							120						
3	105							105						
4	90							90						
5	75							75						
6	60							60						
7	45							45						
8	30					25.8		30				13.4		
9	15					27.1		15				10.8		
10	0		15.1	25.2	21.6			0		17.5	5.8	23.6		
11	-15		19.9	23.8	24.9			-15		18.8	11.8	20.4		
12	-30		22.9	21.7	24.7			-30		14.1	17.5	19.3		
13	-45		26.1	21.1	26.1			-45		4.8	17.2	14.5		
14	-60		27.5	23.1	25.4			-60		3.8	21.8	9.9		
15	-75		26.8	22.5	26.1	24.9		-75		1.9	18.6	8.1	1.0	
16	-90		26.2	23.6	24.7	24.7		-90		0.1	16.8	10.0	4.1	
17	-105			23.5	25.2	26.4		-105			17.5	6.1	0.6	
18	-120			23.7	24.8	25.0		-120			20.6	11.4	2.1	
19	-135			23.8	26.0	26.8		-135			24.3	14.0	4.1	
20	-150			27.8	24.3			-150			10.3	22.2		
21	-165			28.8	23.2			-165			2.6	11.9		
22	-180			28.5	22.9			-180			3.6	10.7		
23	-195			28.0	23.3			-195			2.7	8.6		
24	-210			27.6	21.8			-210			2.1	12.7		
25	-225			29.0	25.7			-225			4.1	10.1		
26	-240			28.2	27.8			-240			1.9	5.7		
27	-255				26.7			-255				9.2		
28	-270				28.0			-270				4.1		

Таблица 2.9 – Оценка объемных характеристик по недельным блокам, Q- руда(м<sup>3</sup>), V- вскрыша (м<sup>3</sup>), Kt – соотношение V/Q в прямоугольном блоке высотой 15 метров

Gor	2			3			4			5			6			7			Gor
	Q	V	Kt	Q	V	Kt	Q	V	Kt	Q	V	Kt	Q	V	Kt	Q	V	Kt	
135																		187.5	135
120																		2062.5	120
105														563				38 344	105
90														30 094				32 906	90
75														51 000				23 625	75
60		750												72 000				21 844	60
45		33 094												3 563				3 000	45
30		33 656			5 531					281	53 531	190.3						1 969	30
15		21 938			14 813					12 281	48 188	3.9						68 438	15
0		17 625			656	23 719	36.1	7 781		26 531	53 906	2.0						55 688	0
-15		3 563			6 750	32 250	4.8	34 781	1 313	0.04	37 219	43 969	1.2					46 031	-15
-30		469			14 344	58 688	4.1	49 875	25 500	0.5	39 094	40 406	1.0					42 000	-30
-45					14 156	45 938	3.2	41 156	35 156	0.9	45 281	33 094	0.7					38 625	-45
-60					15 188	40 875	2.7	34 688	42 938	1.2	50 813	24 188	0.5					38 906	-60
-75					7 313	36 094	4.9	37 594	43 969	1.2	52 219	20 156	0.4	188	27 094	118.0		77 250	-75
-90					656	42 656	65.0	44 063	35 438	0.8	56 625	20 438	0.4	3 563	22 125	0.9		72 000	-90
-105						29 625		38 250	40 313	1.1	55 781	20 906	0.4	9 844	3 281	0.1		3 000	-105
-120						11 438		30 938	49 313	1.6	58 313	21 375	0.4	12 281	1 000	0.1		1 969	-120
-135								20 719	49 781	2.4	59 344	22 219	0.4	1 125	1 406	1.3			-135
-150								15 281	52 313	3.4	67 125	16 031	0.2		375				-150
-165								15 375	34 688	2.3	61 219	16 594	0.3						-165
-180								18 656	30 469	1.6	50 344	20 250	0.4						-180
-195								18 188	22 031	1.2	32 156	25 406	0.8						-195
-210								18 469	13 125	0.7	24 188	31 688	1.3						-210
-225								10 688	1 406	0.1	12 844	35 250	2.7						-225
-240								3 000	4 219	1.4	18 563	27 844	1.5						-240
-255									94		19 781	17 813	0.9						-255
-270											18 000	12 563	0.7						-270

Таблица 2.10 – Оценка качественных характеристик на недельных объемах в первый месяц по горизонтам при поперечной отработке

№	Gor	Содержания железа магнитного, Fem, %												Коэффициент вариации, Fem, %												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	135							21.6						135												135
2	120													120												120
3	105													105												105
4	90													90												90
5	75						21.9			20.7	20.4			75				14.3			7.1	8.5			75	
6	60						19.2			21.7	20.2			60				16.5			7.6	6.8			60	
7	45						21.3	19.8		21.7	20.0			45				13.6	5.4		9.3	14.5			45	
8	30						22.0	23.5		19.6	22.5			30				12.9	9.3		4.0	16.9			30	
9	15		23.1				23.8	20.1			17.8			15		3.3			5.9	18.1			10.4		15	
10	0		21.8	21.3	23.2		24.7	19.6						0		10.3	15.1	20.0		8.5	14.3				0	
11	-15		22.5	25.7	24.3		18.0	21.1			15.7	28.0		-15		7.6	12.6	15.7		23.4	10.7		7.7	0.1	-15	
12	-30		20.7	24.9	26.0		17.5	22.5			15.5	28.7		-30		11.1	12.5	13.1		13.2	13.8		9.3	8.9	-30	
13	-45		21.0	22.4	25.1	28.4	17.2	23.7				29.0		-45		15.8	14.0	16.6	8.2	16.9	10.2			8.8	-45	
14	-60		24.6	21.0	26.3	28.3	22.6	23.7				29.0		-60		12.3	15.1	18.7	2.2	7.4	8.4			3.3	-60	
15	-75		24.3	20.2	27.7	30.0	23.3	24.6				28.1		-75		5.4	14.2	16.6	4.3	3.1	11.2			4.9	-75	
16	-90		25.7	23.0	26.7	28.2	23.9	25.7				29.2		-90		5.1	17.0	16.7	9.3	1.2	8.3			5.1	-90	
17	-105		28.3	23.2	24.4	27.9		25.6				28.8		-105		11.8	18.5	22.2	7.4		10.8			5.9	-105	
18	-120		20.4	19.5	26.1	26.7		22.8				28.9		-120		25.1	20.5	23.2	8.6		7.5			6.0	-120	
19	-135		20.1	17.9	25.0	28.5		24.0				28.6		-135		8.7	12.8	25.8	8.4		7.1			4.5	-135	
20	-150		21.5	19.1	27.8	28.4		23.8				28.9		-150		13.4	16.4	21.5	3.0		13.3			9.0	-150	
21	-165		25.1	21.7	29.5	28.6		24.7				28.5		-165		11.9	5.7	4.7	4.3		0.0			6.8	-165	
22	-180		24.4	27.3	29.2	24.5						24.4		-180		9.2	4.3	3.2	11.0					8.4	-180	
23	-195		28.0	27.6	29.0	24.5						22.2		-195		10.0	4.2	4.4	7.3					8.9	-195	
24	-210		27.0	28.2	28.1	24.1						30.2		-210		3.6	4.3	5.6	3.8					8.1	-210	
25	-225			29.1	27.4	26.3						29.0		-225			5.1	4.6	4.2					5.6	-225	
26	-240			29.0	26.3	27.0						26.0		-240			2.9	8.4	6.7					3.0	-240	
27	-255													-255											-255	
28	-270													-270											-270	

Анализ показал, что изменчивость качественных показателей на месторождении достаточно низкая (меньше 30%) на всех рассматриваемых периодах планирования, руководящий принцип управления качеством – усреднение: в рудопотоках и на складах. Есть четкие тенденции по снижению средневзвешенного содержания и увеличению коэффициента вскрыши при поперечной отработке с юга на север. Продольное направление развития горных работ обеспечивает более высокие содержания полезных компонентов. Наилучшим является вариант с выделением участком и комбинацией перечисленных выше направлений. Есть недельные объемы с относительно высокой изменчивостью, в которых необходимо оценить форму вероятностного распределения, мощность рудных тел и количество контактов, в зависимости от этого выбрать подходящий способ рудоподготовки: селективную выемку или предобогащение.

Основное предназначение полученной методики определение влияния порядка отработки на изменчивость качественных показателей и выбор оптимальной стратегии освоения месторождения с целью обеспечения минимального коэффициента вскрыши и изменчивости, при максимальном средневзвешенном содержании.

## 2.5 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Принятая оценка и выбор способа управления качеством в зависимости от значения коэффициента вариации, формы вероятностного распределения качественных показателей в исследуемом объеме, а также средневзвешенных значений содержаний полезных и вредных компонентов ложится в основу методики оценки изменчивости и геоинформационного обеспечения планирования горных работ.

2. Разработан ряд методик и локальных программных средств обработки данных геологической базы, которые позволяют:

- определить приоритетные участки для заложения первоначальных капитальных и разрезных траншей с целью скорейшего окончания периода горно-капитальных работ и обеспечения при этом требуемых показателей качества руды;

- произвести оценку изменчивости при различных вариантах подвигания фронта, что позволяет выбрать стратегию освоения месторождения и оптимальный режим горных работ на его участках;

- произвести оценку изменчивости качества при различных вариантах высоты выемочного слоя (уступа, подуступа) для перехода на отработку подуступами, либо в случае существенного увеличения вариабельности данных необходимости рассмотреть участок с позиций его селективной отработки по сортам или типам, а также уточнить локализацию участка в плане и, следовательно, принять решение о способе рудоподготовки и уточнении качественных показателей.

Таким образом, обоснование подходов к управлению рудопотоками на участках карьера в режиме управления качеством достигается изменением высоты выемочного слоя и шага подвигания горных работ, способа выемки, усреднения или предобогащения, осуществляемых на основании анализа изменчивости качества по предложенной методике районирования природных и технологических типов руд.

3. Обоснование способа управления качеством на различных этапах прогноза развития горных работ осуществляется на основании геопространственной оценки изменчивости коэффициентов вариации содержания полезных и вредных компонентов минерального сырья по глубине и площади рудного тела, при этом, селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3.

4. Для Собственно-Качканарского месторождения установлены участки, где для выдерживания минимальной колеблемости концентрации ванадия в добываемых рудах рационально шаг подвигания фронта держать минимальным, а требуемую производительность по полезному ископаемому обеспечивать за счет увеличения скорости понижения горных работ на этом участке.

5. Установлено, что значения содержания титана и ванадия будут иметь повышенные значения если отработку месторождения вести с запада на восток, но более рациональной с точки зрения значений минимальных коэффициентов вариации является отработка с севера на юг - вкрест разведочным профилям. Анализ показал, что коэффициенты вариации качественных показателей менее 33%, поэтому для стабилизации качества руды рекомендуется использовать внутрикарьерные перегрузочные склады с функцией усреднения.

6. Установлена взаимосвязь высоких значений коэффициентов вариации и разведанности месторождения- участки максимальных амплитуд колебаний качества и высоких значений коэффициентов вариации рекомендуется выбрать приоритетными для эксплуатационной разведки, т.к. возможно высокие значения изменчивости связаны с недостаточной изученностью массива в данных координатных отметках.

7. Для Серовского месторождения обоснованы первоочередные места заложения вскрывающих выработок, установлено, что первоначально месторождение рекомендуется отрабатывать двумя карьерами-участками: Северным и Южным. Выполнен анализ горно-геологических условий, статистический регрессионный анализ качественных показателей руд, построены геоинформационные модели, на основании которых выделены и районированы

природные 2 природных и 3 технологических типов руд. Отмечено, что латеритные руды расположены в восточной части северного участка. В пределах границ месторождения преобладает охристая и глинисто-охристая разновидность бобово-конгломератной руды. Западная часть от центральной оси утвержденных запасов представлена плотными бобово-конгломератными рудами.

8. Предложенная методика районирования технологических типов руд в зависимости от масштаба оцениваемого объекта основана на построении моделей изогипс (экспресс-оценка объектов: уступ-блок), а также каркасных и блочных моделей при детальном анализе стратегии управления качеством. Результатом моделирования обоими методами является модель распределения в карьерном пространстве качественных показателей ПИ и технологических типов руд. Оба метода имеют свои области применения и при необходимости могут дополнять друг друга.

9. Построены каркасные и блочные модели по месторождениям (Собственно-Качкарскому, Серовскому, Ак-тальскому и др.), на основе которых выполнялся анализ изменчивости качественных показателей и было разработано геоинформационное обеспечение для планирования горных работ.

10. Для оценки направления развития горных работ рекомендуется использовать: коэффициент ковариации; среднее содержание; среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации. Оптимальное по минимальному среднеквадратичному отклонению направление развития горных работ будет параллельно изолиниям равного качества. Статистические параметры распределения проб детальной разведки определяют варианты разработки с точки зрения выбора генерального подхода к управлению качеством. Если дисперсия мала и представлена высокочастотной составляющей спектра (коэффициент вариации <30%) - то усреднение осуществляется в складах-смесителях. Если коэффициент вариации больше 30%, то целесообразно разделить на сорта (минимум два условных сорта).

11. Разработана методика и программное обеспечение по оценке изменчивости при различных вариантах отработки месторождения, позволяющие

выработать общий подход к управлению качеством в карьере, дать рекомендации по порядку и направлениям отработки на различных стадиях планирования, а также определить локальные блоки неоднородности качества в карьере.

### 3. МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО И ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

#### 3.1 Создание геоинформационной базы для планирования горных работ

Совершенствование системы геоинформационного обеспечения принятия решений на стадии планирования горных работ связано с необходимостью учитывать изменчивость качественных характеристик, т.к. она, наряду с горно-геологическими условиями определяет применяемый подход к управлению качеством на горнодобывающем предприятии.

В табл.3.1, 3.2 показаны требуемые результаты планирования горных работ на примере одного из карьеров АО «Карельский окатыш».

Таблица 3.1 – Завершающая оценка плана развития горных работ по Южному карьере

Тип пород	Год	Объем, м <sup>3</sup>	Железо магнитное, % (fem)	Железо общее, % (feo)	Выход концентрата, % (concentrate)	Сера в концентрате, % (c_s)	Коэф. Вариц. Жел. Магн., % (fem)
Руда	1	1 552 394	25.5	29.7	37.6	0.033	16.1
	2	1 652 425	25.0	29.4	35.4	0.111	16.5
	3	1 651 971	26.3	30.4	37.3	0.339	16.4
	4	1 524 749	26.0	30.1	37.6	0.402	17.2
	5	1 544 755	27.1	31.0	39.1	0.382	16.9
	6	1 568 854	26.7	30.9	37.6	0.405	16.7
	7	1 506 016	27.8	31.8	39.6	0.363	16.6
	8	1 542 664	27.7	31.5	39.5	0.314	17.1
	9	1 530 751	28.7	32.1	41.5	0.237	16.3
	10	1 507 016	27.5	31.6	39.0	0.305	16.1
	Резерв	12 297 478	27.5	31.5	39.3	0.298	16.7

Для решения задачи прогноза качества при планировании горных работ была разработана методика геоинформационного обеспечения перспективного и текущего планирования (рисунок 3.1).

Таблица 3.2 – Суммарные показатели добычи руды за 2 года и остаток руды в недрах по пяти карьерам ГОКа

Год	Тип руды	Объем, м3	Запасы, т	Железо магнитное, %	Железо общее, %	Сера в концентрате, %
1	легкообогатимая	4 191 457	13 957 553	25	28.9	0.1
	легкообогатимая высокосернистая	2 163 095	7 203 106	23.2	29.9	0.7
	нормальнообогатимая	242 959	809 052	15	20.6	0.1
	нормальнообогатимая высокосернистая	128 828	428 999	15.3	22.6	0.8
	труднообогатимая	6 784	22 590	8.1	14.2	0.1
2	труднообогатимая высокосернистая	2 198	7 321	9.5	15.3	0.8
	легкообогатимая	5 166 642	17 204 919	24.4	29.2	0.1
	легкообогатимая высокосернистая	1 493 618	4 973 750	23	29.2	0.7
	нормальнообогатимая	226 523	754 321	15.4	21.1	0.1
	нормальнообогатимая высокосернистая	94 219	313 748	15.4	23.9	0.8
Остаток запасов в недрах	труднообогатимая	2 198	7 321	8.2	13.8	0.3
	легкообогатимая	58 757 283	195 661 753	27.1	32	0.2
	легкообогатимая высокосернистая	28 430 843	94 674 706	25	30.9	0.6
	нормальнообогатимая	85 509	284 744	15.2	23.3	0.2
	нормальнообогатимая высокосернистая	241 703	804 870	15.1	25	0.9
	труднообогатимая	1 173	3 905	9.4	28.1	0.4

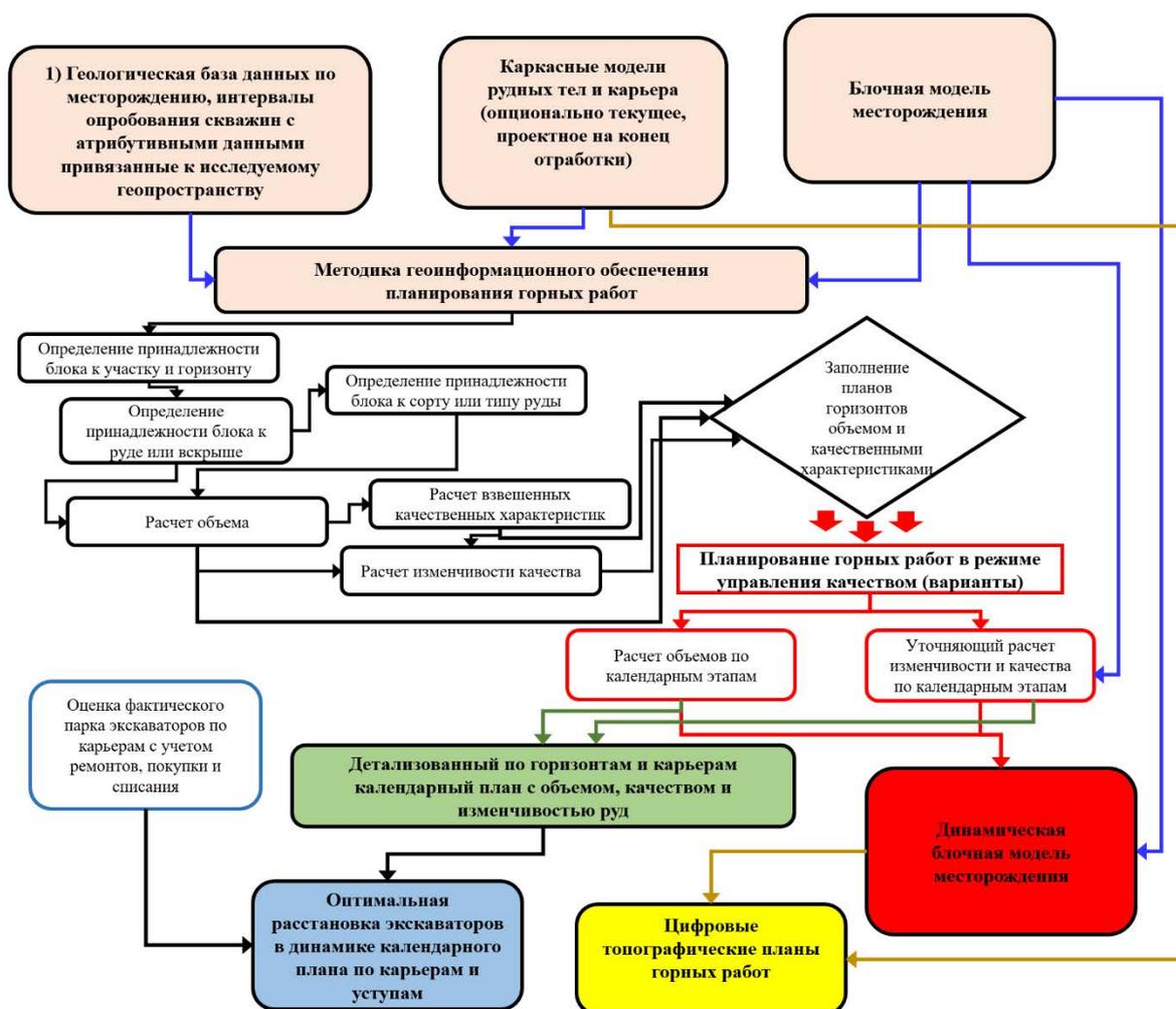


Рисунок 3.1 – Блок-схема геоинформационного обеспечения планирования горных работ в режиме управления качеством

Исходными данными являются геологическая база данных в стандартном формате, каркасная модель оруденения и горных работ, а также блочная модель месторождения, имеющая унифицированную структуру в виде массива или матрицы с совокупностью пространственных и атрибутивных данных. Унифицированная структура данных блочных моделей экспортируется из произвольной ГГИС и представляет собой файл \*.csv определенного формата, записи, содержимое которой представлено на рисунке 3.2.

В нем указаны, координаты X, Y, Z центра масс блоков («центроидов»), размер граней по осям блока, атрибутивные данные, в примере это содержания железа общего (feo), серы в концентрате (c\_s), объемный вес слагающих пород(density), содержание железа магнитного (fem), выход концентрата (concentrate), принадлежность к утверждённым запасам (rockcode) и т.п.

```
X,Y,Z,classification_no,size (X), size(Y), size(Z),c_feo,c_s,concentrate,density,fem,feo,m_s,min_
15417.5000,30282.5000,207.5000,1,5.000000,5.000000,5.000000,0.000000,0.000000,0.000000,3.010,2.28
15417.5000,30287.5000,207.5000,1,5.000000,5.000000,5.000000,0.000000,0.000000,0.000000,3.010,2.28
15412.5000,30292.5000,207.5000,1,5.000000,5.000000,5.000000,0.000000,0.000000,0.000000,3.010,2.28
```

Рисунок 3.2 – Структура блочной модели в виде текстового файла

Для пространственной привязки оцениваемых участков месторождения могут использоваться: план карьера на конец отработки, текущее положение горных работ по данным маркшейдерской съемки в местной системе координат. Чертеж (модель) плана горных работ разбивается по координатной сетке на участки в требуемом масштабе исследования.

Для текущего и перспективного планирования по опыту приняты исследуемые участки 100x100 метров, при необходимости участки могут иметь любые линейные размеры. Координатная привязка к местной системе координат облегчает обратный импорт данных в динамическую блочную модель после осуществления процессов календарного планирования. На рисунке 3.3 представлен вариант разбивки на участки для Западного карьера АО «Карельский Окатыш».

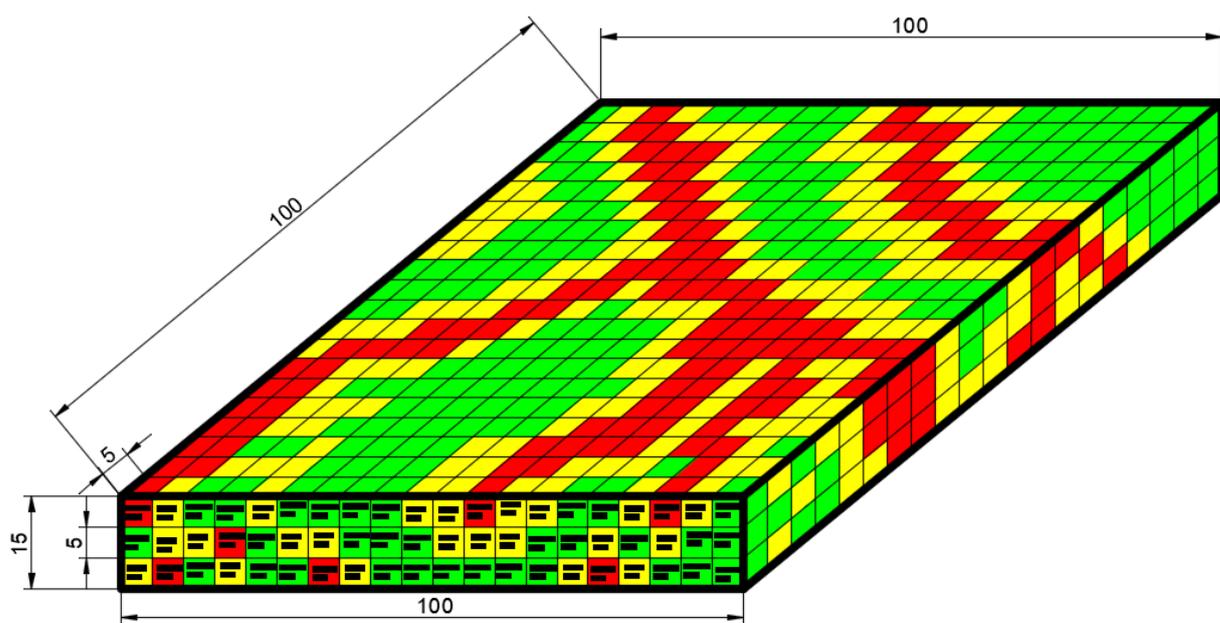
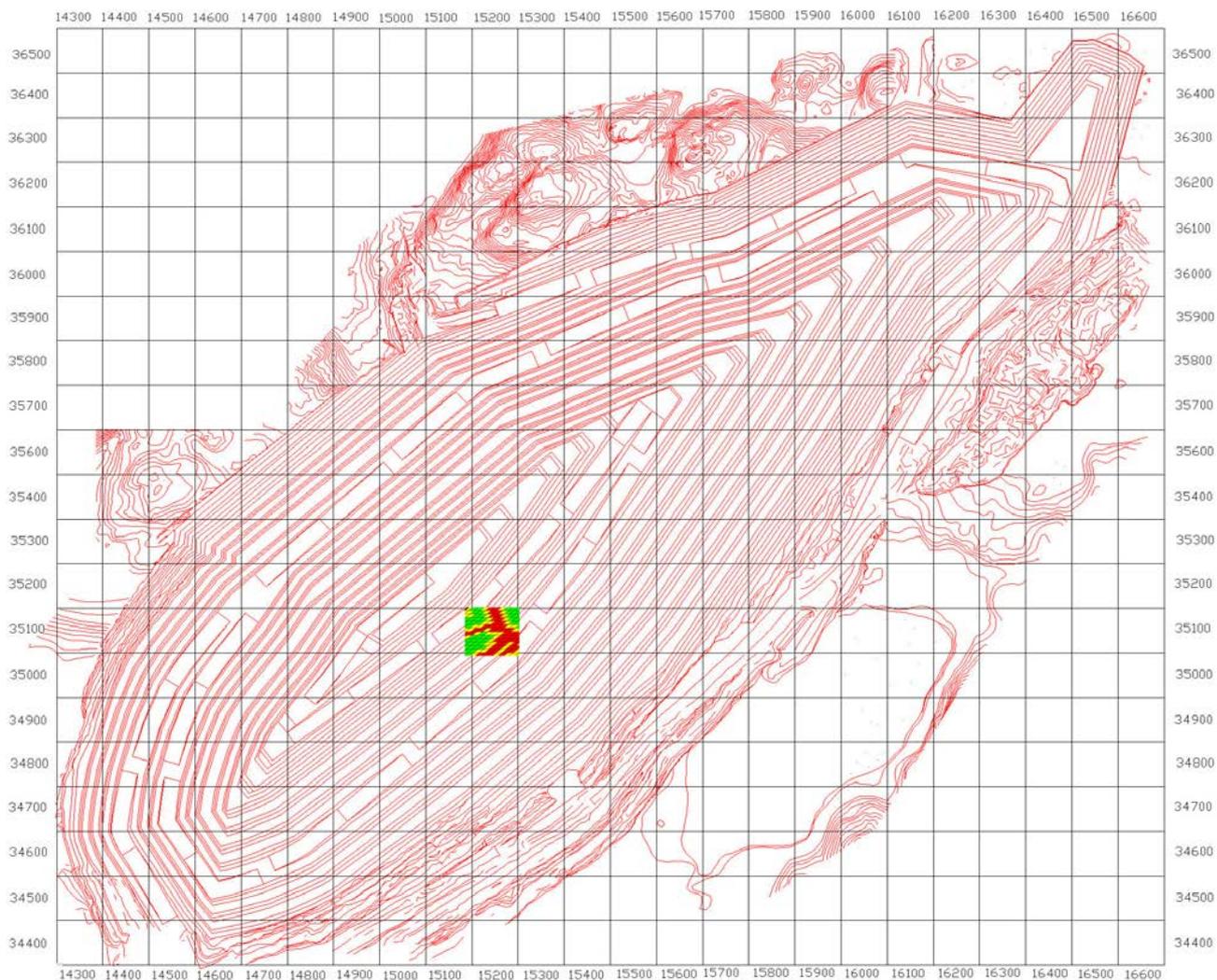


Рисунок 3.3 – Разбивка карьерного поля и блочной модели на исследуемые участки, привязанные к местной системе координат

Сформированная блочная модель сортируется по площади и глубине разработки. Кроме того, осуществляется распознавание вскрышных, рудных и сортовых блоков, производится подсчет объемов, а также рассчитываются их качественные характеристики на рассматриваемом участке. Предусматривается циклический перебор и оценка характеристик изменчивости на каждом участке.

Представленные данные являются информационной основой для реализации второго этапа работ – создания матричных моделей поуступных планов. Для его реализации в разработанной на языке Python микропрограммы вычисляется объем каждого блока, средневзвешенные качественные характеристики, производится статистическая оценка и реализуются логические операции над исходными данными. Рабочий листинг с комментариями представлен в приложении А на рисунке А.2. Так как блоки имеют форму куба, то объем блока находится с учетом размеров его граней по формуле, погрешность вычисления объемов и учета качества, таким образом, равна погрешности применяемого метода интерполяции и структуры заложенной при создании блочной модели:

$$V_i = L_x * L_y * L_z , \quad (3.1)$$

Где,  $L_x$  – размер блока по оси X,  $L_y$  – размер блока по оси Y,  $L_z$  – размер блока по оси Z.

Средневзвешенное содержание определяющих качество характеристик исследуемого участка (рассчитывается исходя из объема микроблоков его составляющих по типовым формулам:

$$M_i = V_i * C_i , \quad (3.2)$$

$$C_{\text{участка}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n V_i} , \quad (3.3)$$

где:

$M_i$  – взвешенная на объем величина содержания;

$n$  – количество блоков попавших в пространственные пределы участка;

$C_i$  – содержание полезного компонента (железа магнитного, общего, выход концентрата и т.п.) в структурной единице блочной модели.

Принадлежность блока к определенному классу устанавливается исходя из принятых на предприятии сортов, технологических типов и кондиций, расчет делается отдельно для каждой популяции классов пород- богатая, бедная руда, вскрыша и т.п. Исследуемые участки задаются переменными при старте программы: начало, конец и шаг по каждой координатной оси.

Критерием для оценки изменчивости качественных характеристик и для выбора способа рудоподготовки согласно принимается коэффициент вариации, рассчитываемый как

$$K_{\text{вар}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} \cdot \frac{100}{\bar{C}}, \quad (3.4)$$

где:

$\bar{C}$  – среднеарифметическое значение в исследуемой совокупности блоков, ограниченных пространственным приделом участка.

Рудоносность участка ( $P_{\text{уч}}$ ) характеризуется соотношением объема руды ( $Q_{\text{уч}}$ ) к общему объему участка с учетом вскрышных пород ( $V_{\text{уч}}$ ), что косвенно свидетельствует о количестве контактов руда-порода, чем ниже рудоносность, тем больше вероятность, что блок потребует либо селективной выемки, либо в случае маломощного рудного интервала предобогащения.

$$P_{\text{уч}} = \frac{Q_{\text{уч}}}{V_{\text{уч}} + Q_{\text{уч}}}, \quad (3.5)$$

Результатом этапа является рассчитанный по листингу (приложение А рисунок А.2) массив данных, фрагмент которого приведен на рисунке 3.4.

Gor	Class	Xcat	Ycat	plume.me	lume.sur	lume.std	lume.uni	plume.cou	lume.ma	lume.mi	lume.nun	emfol.me	emfol.sun	emfol.std	emfol.uni	emfol.cou	emfol.ma
40	Вскрыша	15900	31600	125	3000	0 [125.]	24	125	125	1	285	6840	0 [285.]	24	285		
40	Вскрыша	15900	31700	125	875	0 [125.]	7	125	125	1	285	1995	0 [285.]	7	285		
40	Вскрыша	16000	31600	125	1375	0 [125.]	11	125	125	1	285	3135	0 [285.]	11	285		
40	Вскрыша	16000	31700	125	21625	0 [125.]	173	125	125	1	285	49305	0 [285.]	173	285		
40	Вскрыша	16000	31800	125	34250	0 [125.]	274	125	125	1	285	78090	0 [285.]	274	285		
40	Вскрыша	16100	31800	125	3125	0 [125.]	25	125	125	1	285	7125	0 [285.]	25	285		
40	Руда	15900	31600	125	9625	0 [125.]	77	125	125	1	3437.76	264707.5	216.0397	[3467.5 34	77	3738.75	
40	Руда	15900	31700	125	22500	0 [125.]	180	125	125	1	3643.201	655776.3	305.8743	[3595. 35	180	4167.5	
40	Руда	16000	31700	125	34250	0 [125.]	274	125	125	1	3664.539	1004084	416.0033	[3028.75 2	274	4442.5	
40	Руда	16000	31800	125	54500	0 [125.]	436	125	125	1	4036.293	1759824	354.8573	[3885. 39	436	4675	
40	Руда	16000	31900	125	250	0 [125.]	2	125	125	1	3844.375	7688.75	15.02602	[3855. 38	2	3855	
55	Вскрыша	15500	30300	125	42750	0 [125.]	342	125	125	1	530.0037	181261.3	750.6255	[285. 33	342	3357.5	
55	Вскрыша	15500	30400	125	30500	0 [125.]	244	125	125	1	285	69540	0 [285.]	244	285		
55	Вскрыша	15600	30300	125	21375	0 [125.]	171	125	125	1	299.1594	51156.25	185.1576	[285. 27	171	2706.25	
55	Вскрыша	15600	30400	125	8375	0 [125.]	67	125	125	1	317.2201	21253.75	263.7333	[285. 24	67	2443.75	
55	Вскрыша	15700	30900	125	875	0 [125.]	7	125	125	1	285	1995	0 [285.]	7	285		
55	Вскрыша	15700	31000	125	6375	0 [125.]	51	125	125	1	285	14535	0 [285.]	51	285		
55	Вскрыша	15800	30900	125	1750	0 [125.]	14	125	125	1	285	3990	0 [285.]	14	285		
55	Вскрыша	15800	31000	125	33875	0 [125.]	271	125	125	1	285	77235	0 [285.]	271	285		
55	Вскрыша	15800	31100	125	24625	0 [125.]	197	125	125	1	299.1688	58936.25	198.8683	[285. 30	197	3076.25	
55	Вскрыша	15900	31600	125	37250	0 [125.]	298	125	125	1	285	84930	0 [285.]	298	285		
55	Вскрыша	15900	31700	125	2250	0 [125.]	18	125	125	1	285	5130	0 [285.]	18	285		
55	Вскрыша	16000	31600	125	54125	0 [125.]	433	125	125	1	285	123405	0 [285.]	433	285		
55	Вскрыша	16000	31700	125	68750	0 [125.]	550	125	125	1	285	156750	0 [285.]	550	285		

Рисунок 3.4 – Фрагмент результирующего массива данных после их подготовки

В данном массиве указаны количественные и качественные оценки пород, произведена статистическая оценка (минимум, максимум, размах, количество уникальных значений, сумма, стандартное отклонение, среднее и т.п.), выделены категории руд, рудоносность блоков и другие характеристики, влияющие на выбор направления развития горных работ.

Погрешность методики соответствует погрешности при построении и интерполяции блочной модели, для проверки при оценке объемов и качества участка 100x100м в ГГИС была достигнута полная идентичность расчетных значений на исследуемом участке. При переходе от блочной модели к цифровому топографическому плану текущего положения карьера возникает погрешность построений, обусловленная геометрией карьерного поля - положением откосов, берм, рабочих площадок, вскрывающих выработок. В результате погрешность построения планов горных работ на определенный календарный период (5-10 лет) составит от 4.83 до 8.87%. Сама погрешность определяется принятым методом подсчета объемов, который заключается в том, что при необходимости участок 100x100x15м может делиться на микроблоки размерами до 5x5x5м. Такой подход ускоряет значительно скорость вычислений, связанных с подсчетом объемов, планируемых к выемке, а также экономит оперативную и дисковую память компьютера. Управление погрешностью горно-геометрических расчетов

достигается сокращением размера микроблоков на определенном этапе построения планов горных работ.

Разработанная методика автоматизированного планирования горных работ предусматривает:

- генерирование и оценку вариантов календарного плана ведения горных работ с поуступной и внутрикарьерной детализацией,
- обоснование требуемого на карьерах количества экскаваторов,
- прогноз качественных характеристик и их изменчивости по планируемым периодам (пример, таблица 3.1)
- возможность спрогнозировать загрузку цеха предобогащения и обосновать применение селективной/раздельной выемки на участках.

Унификация методики достигается за счет использования (экспорта) стандартных блочных моделей, принятых в различных ГГИС при соответствующей их модернизации под решаемые задачи.

## **3.2 Формирование матричных моделей погоризонтных планов для планирования горных работ**

Назначением матричных моделей погоризонтных планов является раздельное описание объемов моделируемых участков и слагающих их рудных и вскрышных микроблоков, расчет изменчивости качества по указанным участкам, в т.ч. содержания полезных и вредных компонентов. Реализован принцип раздельного моделирования геологической среды в единой системе координат с зафиксированными «центрами масс» блоков.

Для новых месторождений при проектировании с целью дать рекомендации по применяемым параметрам системы разработки и обосновать рациональные её показатели: скорости подвигания фронта и углубки происходит исследование объемно-качественных характеристик при разной высоте уступа. Исследование обеспечивается автоматизированным сравнением в получившихся участках: средневзвешенных содержаний, коэффициента вариации и рудоносности. Чем выше содержание, рудоносность и ниже вариация в массиве участков, тем лучше получившийся вариант. Также предпочтительным является вариант с меньшим количеством блоков с высокой изменчивостью. Для действующего предприятия принимаются установленные параметры системы разработки.

Для формирования матрицы горизонта формируется таблица-заготовка с указанием координат участков X в первом строке и Y в первой колонке. С помощью разработанного программного обеспечения на языке Python погоризонтные сечения, динамически формируемые в формат таблиц Excel, заполняется данными: объемами руды, вскрыши, содержаниями определяющих качество компонентов, изменчивостью качественных показателей (примеры приведены на рисунках 3.6-3.7). Алгоритм формирования планов приведен в блок-схеме на рисунке 3.5. Excel выбран как удобная интерактивная оболочка и интерфейс позволяющий производить математические операции при планировании горных работ, поддерживает написание макрокоманд расширяющих его функционал. Еще до начала процесса планирования участки можно окрасить или трансформировать

значения ячеек из объемов в процент выполнения плана по руде, вскрыше, изменчивости качества (рисунок 3.9) или по типу преобладающей руды: к примеру, легкообогатимой, нормальнообогатимой и т.п.

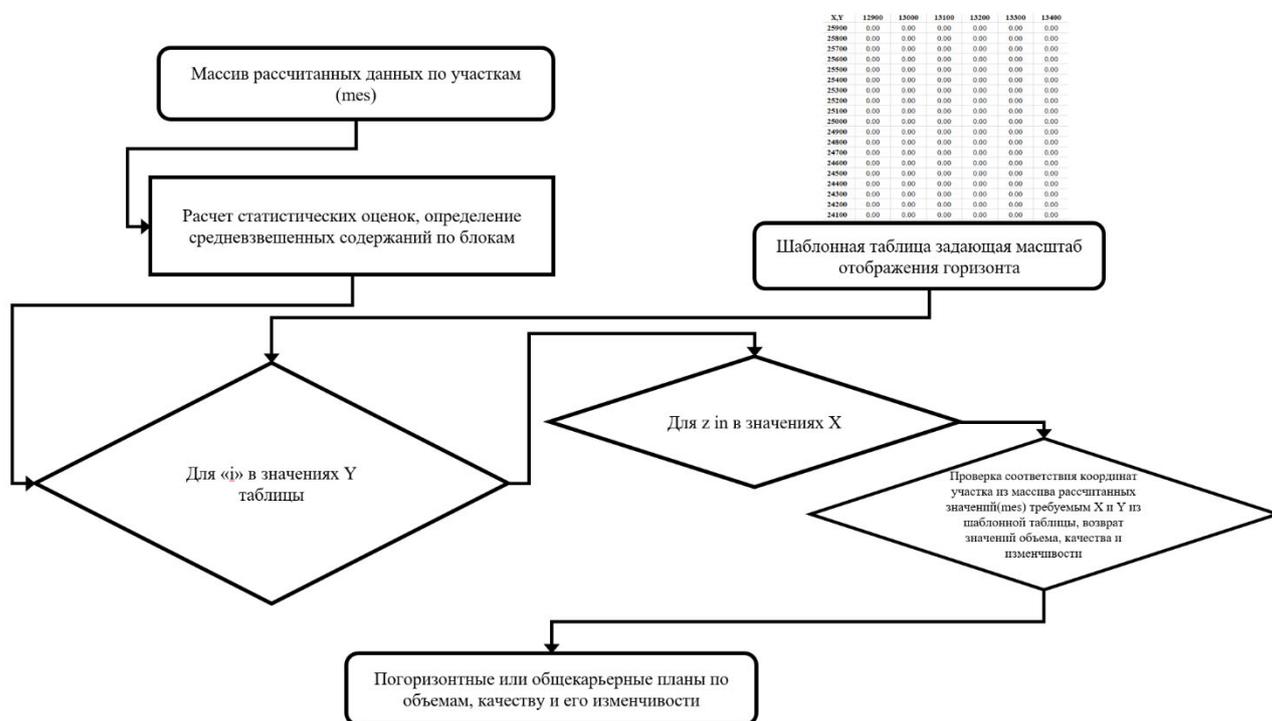


Рисунок 3.5 – Алгоритм формирования матричной модели погоризонтных планов

Взаимоувязанные по координатам и объемам участки и микроблоки являются основой для аналитических работ, связанных с формированием годовых границ разработки по различным направлениям ведения работ и в различных условиях формирования качества рудопотоков.

Первичная оценка месторождения начинается с анализа вариантов развития горных работ по глубине и в плане в объеме заключенном между текущим положением и предельным проектным. Интерпретация матричной модели поуступных планов приведена на рисунке 3.7.

При этом анализируются и выделяются участки расположения высококачественной и низкокачественной руды, определяется возможность добыть запасы с учетом мощности покрывающей вскрыши и плановых ограничений. Для примера: на Западном карьере Корпангского месторождения было установлено, что основные запасы месторождения сосредоточены на

горизонтах -30 м ÷ -165 м (зона высотой 135 м, от поверхности глубина залегания зоны -255 м); объем руды в пределах зоны составляет – 97,7 млн. т (>65% всей руды в предельных контурах карьера), а вскрышные породы в основном сосредоточены в пределах горизонтов +105 м ÷ - 90 м (зона высотой 195 м, от поверхности глубина залегания зоны вскрышных пород – 105 м); объем вскрыши в пределах зоны составляет – 94, 3 млн. м3 (>74% всей вскрыши в предельных контурах карьера). Это свидетельствует о том, что основные запасы руды сосредоточены под участками вскрышных пород максимальной мощности.

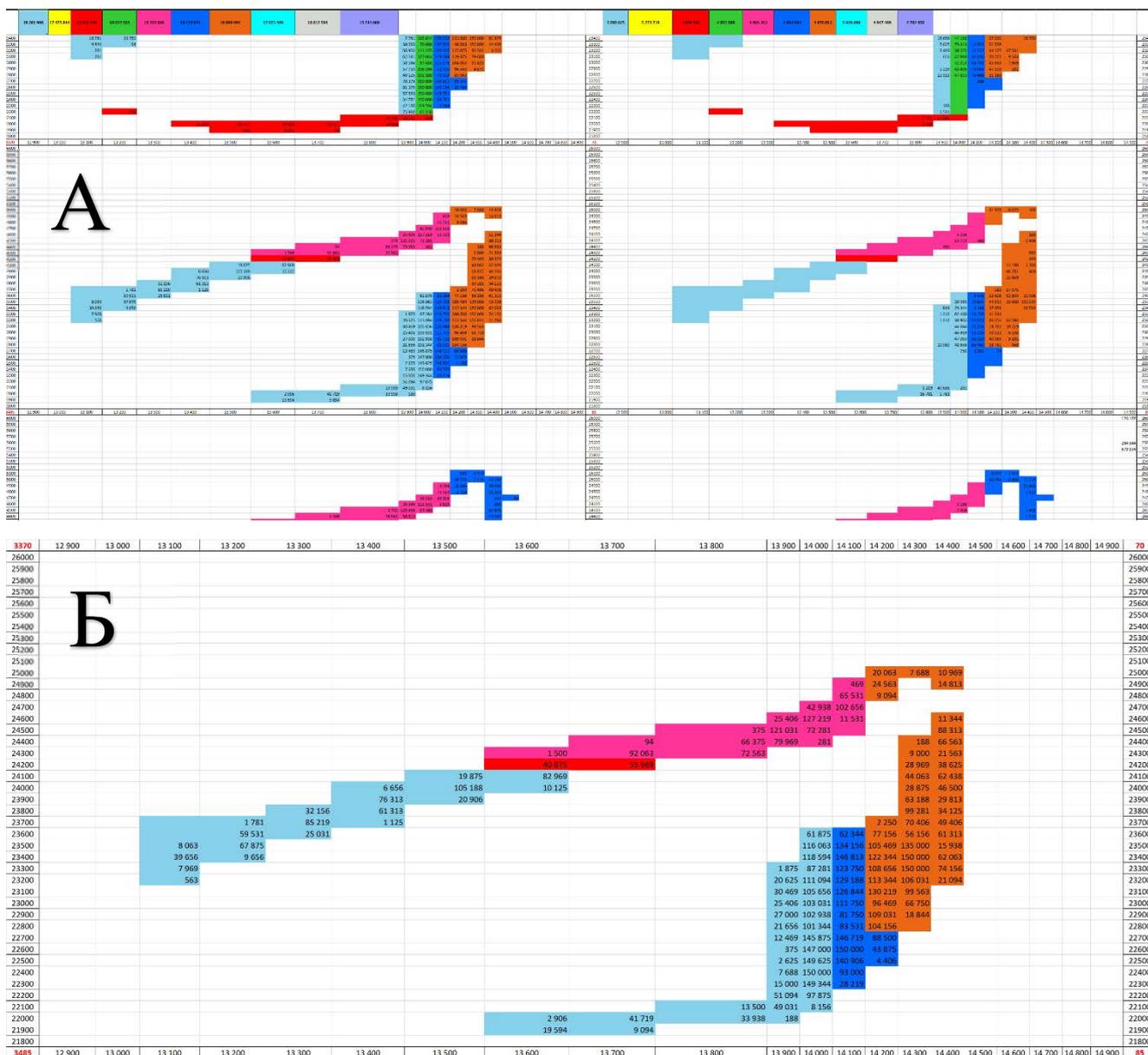


Рисунок 3.6 – Рабочее окно при планировании горных работ (А) и детализация плана с выделенными объемами вскрыши на участках для гор. +70м (Б) Центрального карьера, Костомукша

70	12 900	13 000	13 100	13 200	13 300	13 400	13 500	13 600	13 700	13 800	13 900	14 000	14 100	14 200	14 300	14 400	14 500	14 600	14 700	14 800	14 900	70
26000																						26000
25900																						25900
25800																						25800
25700																						25700
25600																						25600
25500																						25500
25400																						25400
25300																						25300
25200																						25200
25100																						25100
25000															4.454066	0.980156						25000
24900																						24900
24800																						24800
24700																						24700
24600																						24600
24500																						24500
24400																						24400
24300																						24300
24200																						24200
24100																						24100
24000																						24000
23900																						23900
23800																						23800
23700																						23700
23600																						23600
23500																						23500
23400																						23400
23300																						23300
23200																						23200
23100																						23100
23000																						23000
22900																						22900
22800																						22800
22700																						22700
22600																						22600
22500																						22500
22400																						22400
22300																						22300
22200																						22200
22100																						22100
22000																						22000
21900																						21900
21800																						21800
85	12 900	13 000	13 100	13 200	13 300	13 400	13 500	13 600	13 700	13 800	13 900	14 000	14 100	14 200	14 300	14 400	14 500	14 600	14 700	14 800	14 900	85

70	12 900	13 000	13 100	13 200	13 300	13 400	13 500	13 600	13 700	13 800	13 900	14 000	14 100	14 200	14 300	14 400	14 500	14 600	14 700	14 800	14 900	70
26000																						26000
25900																						25900
25800																						25800
25700																						25700
25600																						25600
25500																						25500
25400																						25400
25300																						25300
25200																						25200
25100																						25100
25000																						25000
24900																						24900
24800																						24800
24700																						24700
24600																						24600
24500																						24500
24400																						24400
24300																						24300
24200																						24200
24100																						24100
24000																						24000
23900																						23900
23800																						23800
23700																						23700
23600																						23600
23500																						23500
23400																						23400
23300																						23300
23200																						23200
23100																						23100
23000																						23000
22900																						22900
22800																						22800
22700																						22700
22600																						22600
22500																						22500
22400																						22400
22300																						22300
22200																						22200
22100																						22100
22000																						22000
21900																						21900
21800																						21800
85	12 900	13 000	13 100	13 200	13 300	13 400	13 500	13 600	13 700	13 800	13 900	14 000	14 100	14 200	14 300	14 400	14 500	14 600	14 700	14 800	14 900	85

	0-2%
	2-5%
	5-10%
	>10%

Рисунок 3.7 – Коэффициенты вариации по содержанию железа магнитного (А) и железа общего (Б) по участкам гор. +70м Центрального карьера, Костомукша

На следующем этапе исследуется тенденция изменения качества и текущего коэффициента вскрыши с глубиной (см. таблицу 3.3). Для примера: на Западном карьере АО «Карельский окатыш» установлено, что с глубиной отработки прогнозируется тенденция к улучшению качества руды. в т.ч.  $Fe_{\text{маг}}$  с 17% на гор. +195 м до 27% на гор. -240 м÷-270 м, что требует повышения интенсивности углубки с целью повышения среднего содержания в добываемых рудах, а также увеличивается объем балансовых запасов руды на горизонтах и сокращается объем вскрыши). Одновременно обеспечивается принятие решений по опережающей выемке вскрышных пород с целью перспективного снижения текущего коэффициента вскрыши на оцениваемой участке. Таким образом применение матричных моделей обеспечивает системную взаимоувязку порядка развития горных работ, мест выемки вскрыши и создания условий для поддержания рудных фронтов требуемой протяженности с учетом качества руд.

Анализ изменчивости качественных показателей (рисунок 3.8), свидетельствует о том, что с помощью матричных моделей наиболее просто реализуются требования к анализу вариативности показателей качества и обоснованию способов его стабилизации.

На основании произведённого предварительного анализа при заданной производительности по руде и вскрыше определяются текущие (промежуточные) границы этапов разработки. В таблице 3.3 приведены сведения о развитии горных работ в Западном – соотношение объемов руды/вскрыши на горизонте, содержания полезных и вредных компонентов. При этом возможно выделение зон разного назначения по высоте отработки: горизонты +210 .. -45 – вскрышная зона, включающая 71% вскрышных пород, горизонты -60 .. -195 – добычная зона включающая до 56% рудных запасов при минимальном коэффициенте вскрыши, горизонты -210 .. -270 – резерв рудной массы при изменении интенсивности углубки. Применительно к Западному карьере АО «Карельский Окатыш» данные таблицы свидетельствуют о том, что установленный объем производства может быть выполнен только при условии своевременной подготовки и ввода в эксплуатацию горизонтов ниже отметки -30 м.

Таблица 3.3 – Данные блочной модели по горизонтам оценки

Гор №	Глуб., м.	Отм.	Объем руды, тыс. м3	Fem, %	Объем вскрыши, тыс. м3	Соотнош. вскрыша /руда	Руда, % от карьера	Вскр%.	Зоны % руда	Зоны % вскрыша		
1	15	210			3 872	100						
2	30	195			3 913	100						
3	45	180	114	18.48	3 352	29.19	0.3	2.6	37.8	71.2		
4	60	165	134	19.37	1 634	12.17	0.3	1.3				
5	75	150	143	19.11	1 576	10.97	0.3	1.2				
6	90	135	129	18.38	3 050	23.60	0.3	2.4				
7	105	120	294	20.06	4 023	13.68	0.7	3.2				
8	120	105	309	20.16	4 190	13.53	0.7	3.3				
9	135	90	359	20.22	4 716	13.12	0.8	3.7				
10	150	75	416	20.47	5 785	13.89	0.9	4.5				
11	165	60	604	21.17	6 878	11.38	1.3	5.4				
12	180	45	703	21.45	7 165	10.18	1.6	5.6				
13	195	30	898	21.8	8 363	9.31	2.0	6.6				
14	210	15	1 114	21.35	7 931	7.12	2.5	6.2				
15	225	0	1 877	22.09	8 563	4.56	4.2	6.7				
16	240	-15	2 610	22.88	7 759	2.97	5.8	6.1				
17	255	-30	3 638	23.62	8 598	2.36	8.1	6.7				
18	270	-45	3 586	24.26	7 133	1.99	8.0	5.6				
19	285	-60	3 480	24.77	6 752	1.94	7.8	5.3			55.9	26.9
20	300	-75	3 260	25.15	5 439	1.67	7.3	4.3				
21	315	-90	3 118	25.3	5 135	1.65	7.0	4.0				
22	330	-105	2 875	25.72	3 976	1.38	6.4	3.1				
23	345	-120	2 742	25.5	3 687	1.34	6.1	2.9				
24	360	-135	2 400	25.53	2 705	1.13	5.4	2.1				
25	375	-150	2 316	25.34	2 391	1.03	5.2	1.9				
26	390	-165	1 909	25.31	1 638	0.86	4.3	1.3				
27	405	-180	1 674	25.12	1 479	0.88	3.7	1.2				
28	420	-195	1 287	25.23	1 059	0.82	2.9	0.8				
29	435	-210	1 131	25.63	902	0.80	2.52	0.71	6.3	1.8		
30	450	-225	750	25.72	633	0.84	1.67	0.50				
31	465	-240	565	26.95	515	0.91	1.26	0.40				
32	480	-255	241	27.75	267	1.11	0.54	0.21				
33	495	-270	155	28.01	106	0.69	0.35	0.08				
Итого руда, тыс. м3:			44846	Итого вскрыша, тыс. м3	127415	$K_r$ м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	2.84					

Оценка изменчивости руд и рудоносности блоков заключается в расчете коэффициента вариации и коэффициента рудоносности. При этом, выделяются

участки требующие предобогащения или выделения различных природных типов и сортов руд. Коэффициент вариации свыше 30% свидетельствует о неоднородности рудной массы в исследуемом участке и необходимости уточнения качественных характеристик. Величина коэффициента рудоносности менее 50% показывает, что данный участок должен обрабатываться с применением селективной выемки или подвергаться ряду технологических операций, связанных с рудоподготовкой. Низкий коэффициент рудоносности свидетельствует о малой мощности рудного тела, большом количестве контактов и породных промежуточных прослоев и вытекающем из этого повышении разубоживания, и увеличении потерь – такие блоки в случае маломощных рудных тел и невозможности организовать селективную выемку должны отправляться на предобогащение, к примеру сухую магнитную сепарацию. При планировании мы учитываем их объем и заранее резервируем часть мощностей комплекса рудоподготовки.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Тип пород	Горизонт	Коор.Х блока	Коор. Y блока	Объем, м3	Железо общее, %	Коэф. вар. Жел. общее, %	Коэф. вар. Жел. магн., %	Железо магн., %
4999	Руда	-410	13600	23200	109 688	30.940748	3.645552595	10.01692418	24.72950149
5198	Руда	-335	13500	22700	150 000	30.908689	3.398256313	10.15588472	23.94568732
5251	Руда	-320	13500	22700	150 000	30.758277	3.978010692	10.47912141	23.85679704
5259	Руда	-320	13600	22400	9 656	30.534193	5.899236804	11.54158164	24.77395583
5315	Руда	-305	13600	22400	19 406	32.334319	4.765061346	10.27819055	27.56005798
5384	Руда	-290	13600	23600	3 000	33.913887	6.006162763	11.93956676	27.137612
5446	Руда	-275	13600	23400	97 969	32.790309	5.504173138	11.31470366	27.43338837
5448	Руда	-275	13600	23600	8 063	34.74915	6.796373404	10.90478454	28.88249269
5491	Руда	-260	13500	22600	147 844	31.378838	4.381845196	10.68099637	24.62122707
5505	Руда	-260	13600	22800	129 094	34.060916	6.164919689	13.07290605	28.60878681
5513	Руда	-260	13600	23600	21 000	34.169047	8.12428233	13.08127148	28.23322869
5532	Руда	-260	13800	23800	68 250	32.185461	5.535483726	10.38842123	26.6772124
5569	Руда	-245	13500	23100	134 906	30.466361	5.227960412	10.81219312	24.20047862
5571	Руда	-245	13500	23300	101 625	30.673475	2.932307989	11.7162131	23.63903808
5605	Руда	-245	13800	23800	64 688	31.668893	5.103305084	10.89399258	26.30643186
5619	Руда	-245	14000	23400	37 781	31.546094	4.287244504	11.75960954	25.84992755
5647	Руда	-230	13500	23200	110 438	30.622868	3.543380485	10.53613064	23.64768926
5665	Руда	-230	13600	23600	75 000	32.579831	5.367051792	11.45742911	25.14262619
5686	Руда	-230	13800	23700	29 531	31.990278	3.374913935	10.22334793	26.62461951
5687	Руда	-230	13800	23800	49 688	31.298628	4.423416817	10.80458074	25.37412744
5701	Руда	-230	14000	23400	34 688	31.027858	3.49588304	10.85406858	25.03065015

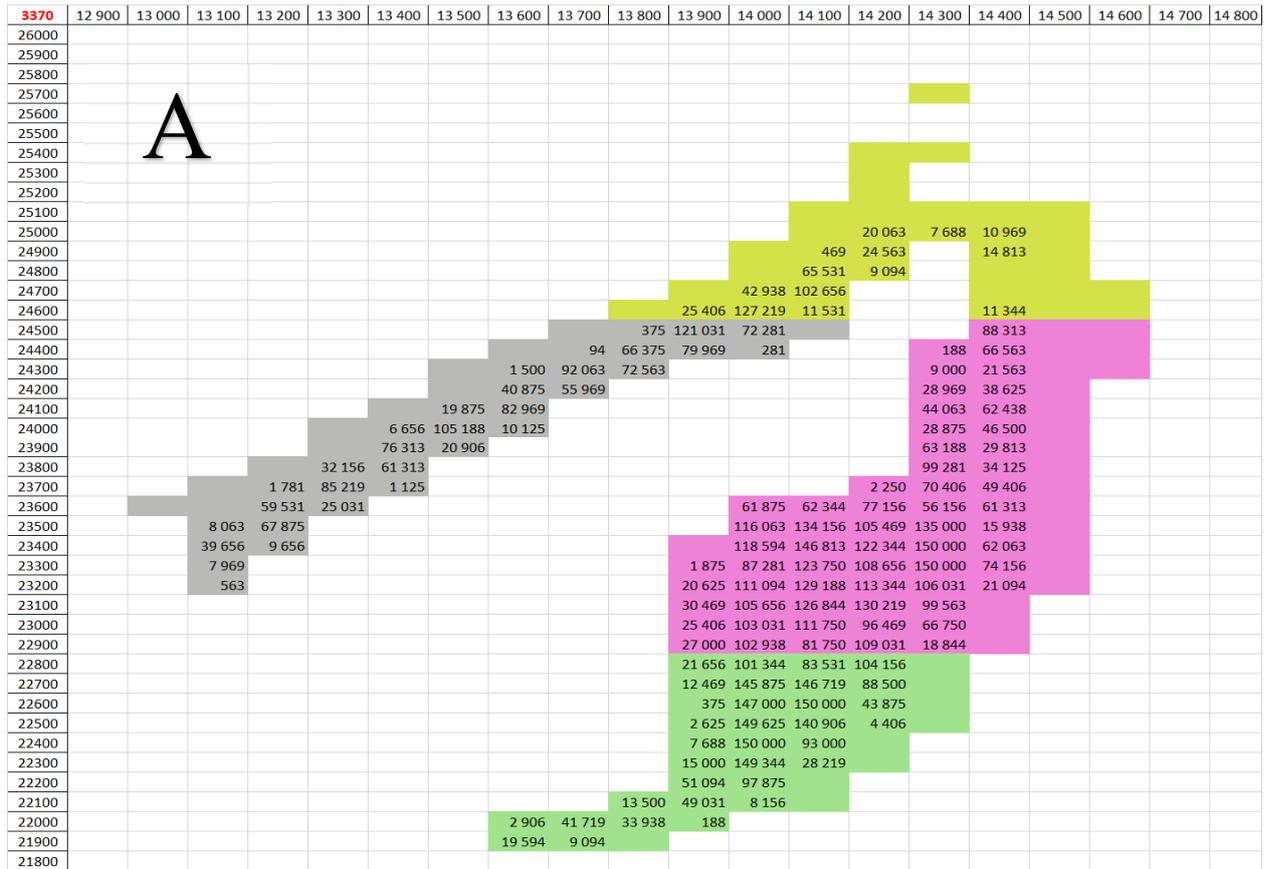
Рисунок 3.8 – Фрагмент результирующей таблицы для поиска участков перспективных для управления качеством отличающихся по качеству в силу высокого коэффициента вариации или аномальных значений содержания

Использование матричных моделей обеспечивает целенаправленный анализ развития горных работ в карьере по участкам их бортов и выделенным по глубине зонам. При этом совмещение данных об объемах, сортности полезного ископаемого и содержания в нем полезных/вредных примесей с данными об объемах вскрыши извлекаемых при площадном или углубочном развитии рабочей зоны.

На рисунке 3.9 приведены данные по оценке вариантов развития горных работ (участки выделены цветом), обеспечивающих максимальное качество, максимальный объем запасов и требуемый планом коэффициент вскрыши. Первоочередным выбирается участок карьерного поля, отработка которого может обеспечить лучшие оцениваемые параметры.

Планирование горных работ с применением матричных моделей наиболее просто реализуется в среде Excel, где производится интерактивная оценка вариантов развития горных работ в увязке с местом выемки, качественными показателями и глубиной отработки. На системе взаимоувязанных планов (рисунок 3.11) цветом выделяются блоки, соответствующие календарному этапу- году. С использованием макрокоманд на каждой итерации планирования горных работ рассчитываются объемы руды, вскрыши, средневзвешенное содержание, учитывается изменчивость руд. В условиях модели с блоками 100x100 и оставлением активного фронта с нормальной шириной рабочей площадки 50-70м принято подвигание-смещение на 1 блок-участок за 2 уступа. Таким образом формируются различные варианты календарного графика. В случае нового месторождения аналогичным образом могут исследоваться различные направления ведения горных работ.

Из рисунка 3.8 видно, что участки неоднородности часто выдерживаются по высоте нескольких уступов и формируют зоны, которые необходимо изучить более детально.



- Западный участок
- Южный участок
- Восточный участок
- Северный участок

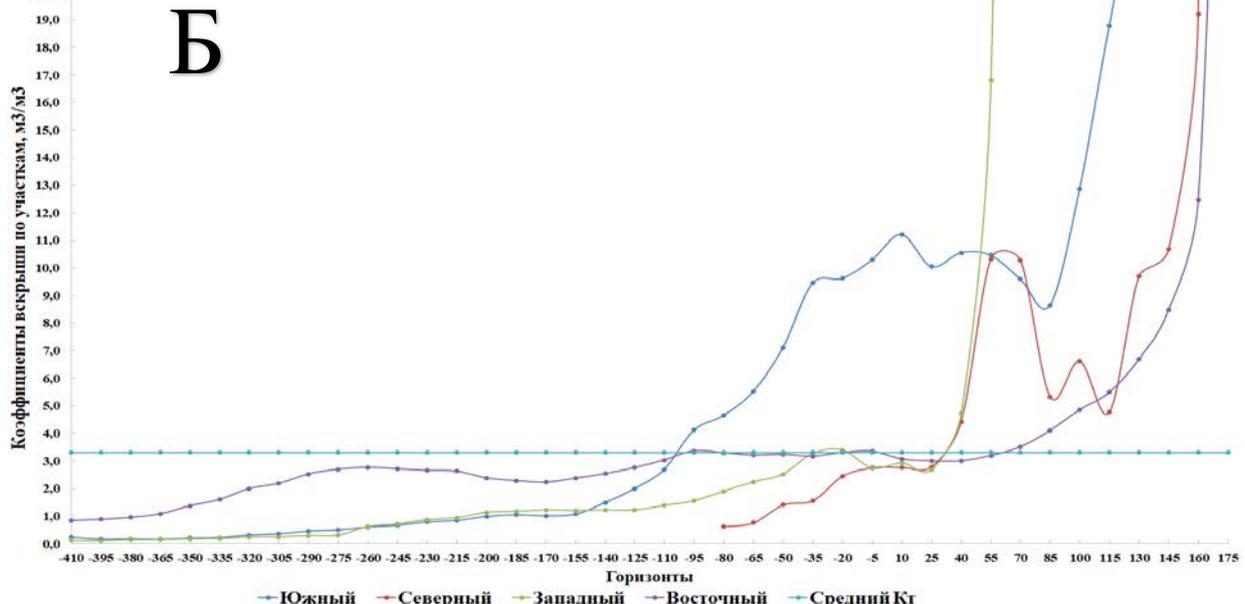


Рисунок 3.9 – Выделение крупных участков по положению относительно центральных осей карьера (А) и оценка по горизонтам соотношения вскрыши к руде по крупным участкам карьера (Б), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

Для этого производится автоматизированная оценка формы вероятностного распределения (рис. 3.10) по гистограммам содержания полезных и вредных компонентов по исследуемым участкам, с целью выбрать более рациональный способ рудоподготовки и определить возможность выделить технологические типы и природные сорта. В случае наличия двух пиков (бимодального), формы типа – «плато» или «распределения с изолированным пиком» требуется организовать в блоке селективную выемку, либо предусмотреть отдельную добычу или взрывание. Также эти участки возможно программно выделить цветом и учитывать их объем отдельно при планировании в среде Excel.

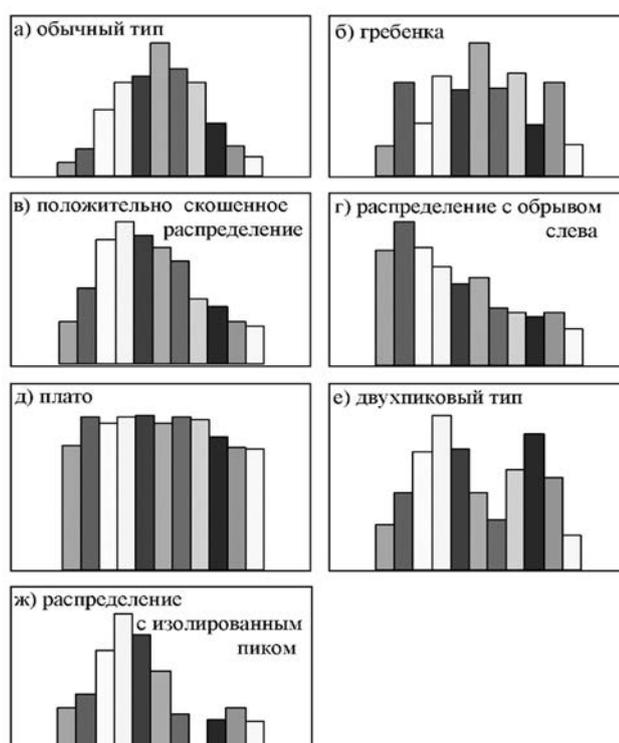


Рисунок 3.10 – Типовые формы вероятностных распределений качественных характеристик в анализируемых участках

Разработаны программные средства для создания информационного обеспечения принятий решений при комплексном освоении недр в режиме управления качеством минерального сырья, что обеспечивается созданием динамических моделей (блочных, каркасных и матричных), описывающих горизонтальными и вертикальными сечениями зоны и участки природных и технологических типов руд, устанавливающих пространственную изменчивость качественных характеристик минерального сырья.

### 3.3 Формирование динамических блочных моделей как информационная основа цифровых двойников порядка отработки эксплуатационных горизонтов

После набора объемов по вариантам производится автоматизированный расчет календарного плана и уточнение качества руд и его изменчивости с учетом базовых блоков (в примере 5x5x5) блочной модели. Генерирование вариантов долгосрочных, перспективных и текущих планов отработки осуществляется в среде Excel (рисунок 3.11) раскраской участков карьерного поля, соответствующих году или периоду прогноза. Для рассматриваемого периода в соответствии с установленными плановыми показателями по объему и качеству осуществляется расчет результирующих показателей оцениваемого варианта календарного плана. В связи с тем, что большинство крупных ГОКов в своей структуре имеют несколько карьеров, разработанная микропрограмма позволяет рассчитать интегральные показатели как по карьере, так и по ГОКу в целом (таблица 3.4).

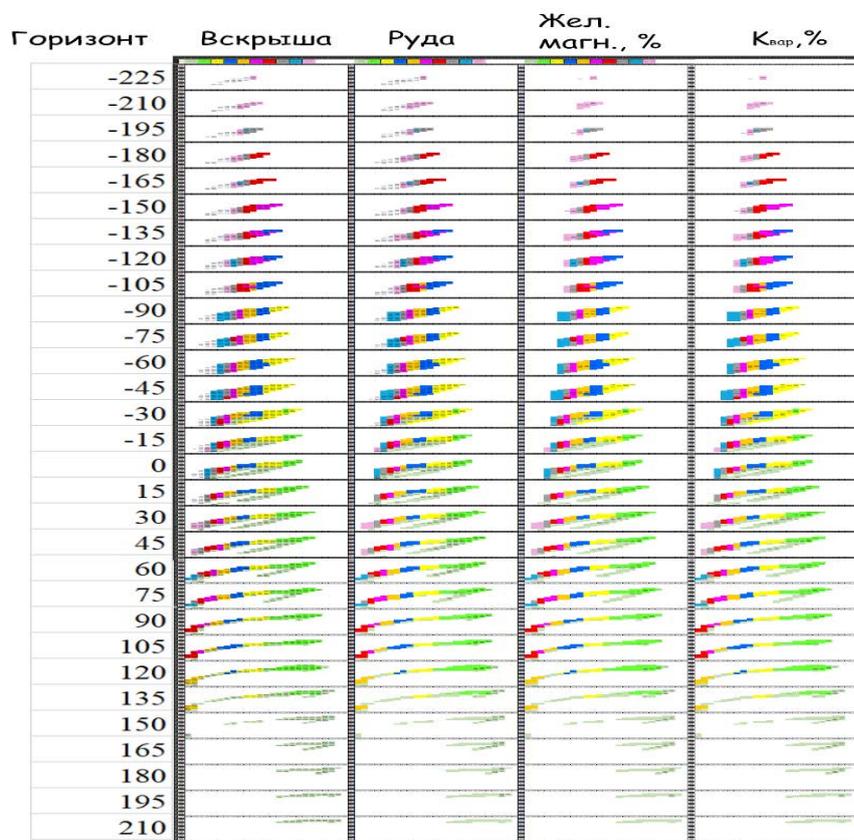


Рисунок 3.11 – Графический интерфейс программы генерирования вариантов долгосрочных, перспективных и текущих планов в среде Excel

Таблица 3.4 – Фрагмент результирующих таблиц календарного плана по ГОКу

Железо магнитное, %				
Год	Вар1	Вар2	Вар3	Вар4
1	23.82	23.84	23.97	23.97
2	23.67	23.77	23.83	23.87
3	23.39	23.59	23.78	23.91
4	24.07	24.56	24.72	24.94
5	24.44	24.62	24.62	24.69
6	24.70	24.61	24.52	24.46
7	24.61	24.57	24.52	24.79
8	24.81	24.97	24.89	25.31
9	25.81	25.89	25.75	25.72
10	25.54	25.43	25.68	26.10
Остаток запасов в недрах	26.37	26.37	26.42	26.37

Тип	Год	Карьер	Горизонт	Объем	Количество участков			
Вскрыша	1	Карьер-1	-30	1130062.55	16			
			-15	1097625.05	32			
			0	1557750.05	45			
			15	1695187.65	39			
			30	1683656.5	41			
			45	1161281.25	36			
			60	460406.25	26			
			75	97406.25	20			
			90	84187.5	16			
			105	102937.5	10			
			120	79593.75	17			
			135	1157812.6	42			
			150	1483593.75	39			
			165	1525969	29			
			180	1458093.95	26			
			195	1235062.7	22			
			210	442968.75	21			
			Карьер-2	1	Карьер-2	85	117562.5	5
						100	257625	8
		115				325687.5	10	
		130				520875	15	
		145				99468.75	15	
		160				69937.5	17	
		175				342562.5	27	
		190				585750	27	
		205				165562.5	17	
		220				126487.5	14	
		Карьер-3	1	Карьер-3	235	190968.75	10	
					250	17718.75	5	
					130	293375	4	
					145	756625	9	
					160	1836875	22	
					175	73125	3	
Карьер4	1	Карьер4	220	56250	2			
			235	5500	4			
			-125	45656.25	2			
			-110	414093.75	11			

В случае необходимости в исходную систему связанных погоризонтных планов вносятся корректировки и заново рассчитываются календарные планы по карьерам и ГОКу.

Предпосылки для формирования рудопотоков заданного качества в системе ГОКа создаются за счет изменения нагрузки на выемочные единицы в карьерах, на интенсивность ведения горных работ в каждой из производственных единиц, а также за счет изменения технологии отработки конкретного рудного участка в режиме селекции, отработки по типам и сортам руд, формирования

усреднительных складов и рудоподготовительных комплексов, а также в режиме стандартного усреднения за счет изменения нагрузки на забой, усреднения на колесах и т.д.

Средневзвешенное содержание определяющих качество характеристик исследуемого карьера (рассчитывается исходя из объема участков его слагающих по типовым формулам:

$$M_{iy} = V_{iy} * C_{iy} , \quad (3.2)$$

$$C_{\text{карьер}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{iy}}{\sum_{i=1}^n V_{iy}} , \quad (3.3)$$

где:

$M_{iy}$  – взвешенная на объем величина содержания;

$n$  – количество участков попавших в пространственные пределы горизонта планирования;

$C_{iy}$  – содержание полезного компонента (железа магнитного, общего, выход концентрата и т.п.) на участке, попавшем в пространственные пределы горизонта планирования (1 год, 1 месяц и т.п.);

Изменчивость рассчитывается на основании всех микроблоков базовой блочной модели, попавших в пространственные пределы рассматриваемого горизонта планирования.

В результате вычислений предыдущего этапа несколько вариантов порядка отработки в динамике рассматриваемого периода планирования и в соответствии с установленными плановыми показателями по объемам и качеству (они могут быть различными), который отражен в погоризонтных планах различной цветовой окраской. В приложении А рисунок А.3 представлен листинг микропрограммы, где формируются массивы данных считывая данные цвета- календарного этапа планирования (месяц, год) и координаты  $x, y, z$  каждого блока, операцию мы выполняем для каждого карьера и исследуемого участка. В результате выполнения автоматизированных расчетов (табл. 3.4) получаем варианты календарных

графиков по ГОКу и карьерам (горизонтам) - со средневзвешенным содержанием полезных компонентов.

Динамические блочные модели представляют собой модификацию исходной блочной модели, полученную в качестве исходных данных. Модификация заключается в изменении структуры информационного массива добавлением атрибутов, характеризующих варианты развития горных работ в части:

- года отработки;
- порядка отработки горизонта или участка карьера;
- изменчивости качества на участке в соответствующий год;
- интенсивности отработки карьера или его участка;
- выделенных участков карьера требующих специальных способов

управления качеством.

При создании динамических блочных моделей добавляются атрибуты, которые заполняются при обратном импорте в модель рассчитанными данными (включая изменчивость руд) и отношениями к определенному календарному этапу и типу руды. На рисунке 3.12 показаны модели последовательных положений горных работ в течение 10 лет отработки, характеризующиеся продольным развитием фронта горных работ, невысокой скоростью углубки и стабильным качеством руды. Другие рассмотренные варианты, оформленные в виде динамических моделей с переменной скоростью углубки, поперечным развитием фронта работ или отработкой карьерного поля участками представляют собой отдельные информационные массивы характеризующие технологическое существо ведения горных работ при прогнозировании их развития.

Для контроля качества динамической модели осуществляется её сверка встроенными средствами исходной ГГИС. Данная процедура подтверждает адекватность полученной динамической модели и позволяет полноценно работать, дополнительно учитывая изменчивость руд.

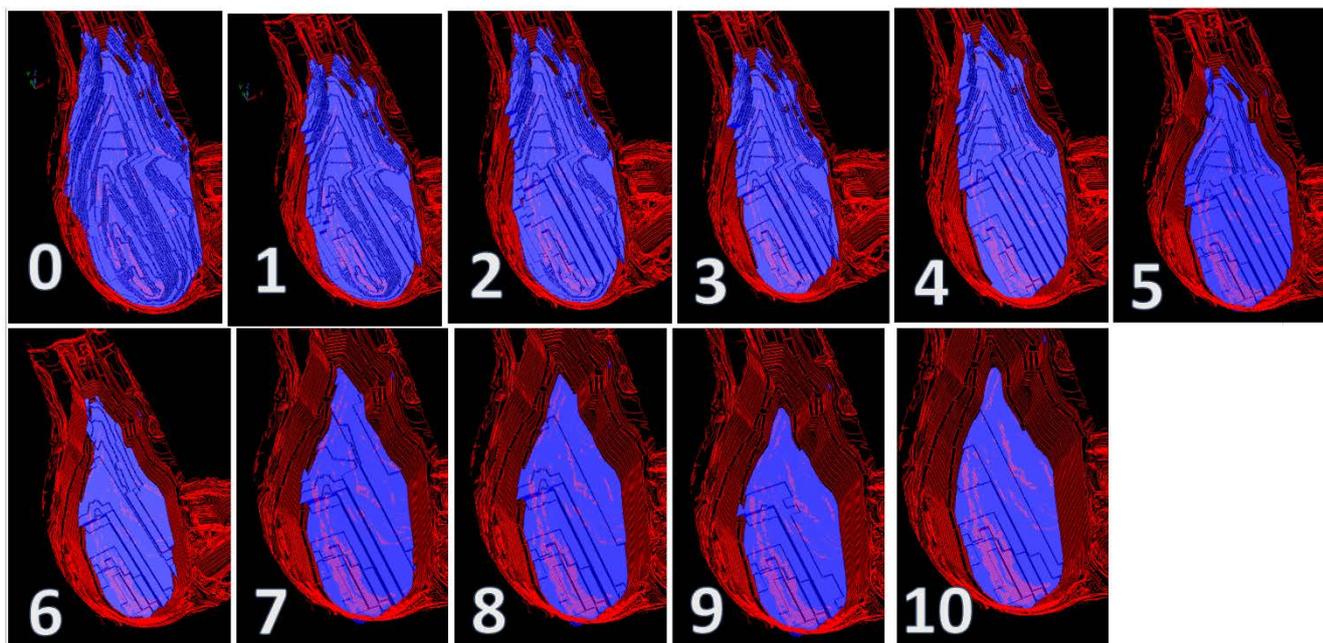


Рисунок 3.12 – Динамическая блочная модель Центрального карьера Костомукшского месторождения

Каркасные модели формируются на базе полученных динамических блочных моделей при графической интерпретации рассчитанных планов горных работ.

Каркасные модели (цифровые топографические модели) текущего и проектных положений карьера, а также горизонтальные сечения динамической блочной модели строятся в среде, действующей ГГИС и в редакторе \*.dxf файлов совмещаются сечения каркасной модели для каждого горизонта начиная с нижнего, сечения блочной модели с визуализацией рудного тела и границами этапа календарного планирования горных работ (рисунок 3.13-3.14). При построении планов горных работ погоризонтно решаются вопросы вскрытия, оптимальной формы взрывного блока в объеме годовой прирезки с целью минимизации потерь и разубоживания, варианты применения селективной выемки, отдельного взрывания, предобогащения. После построения планов горных работ средствами стандартной исходной ГГИС строятся каркасные модели, которые могут быть использованы при работе с блочной моделью или вписаны в систему планирования горного предприятия без её изменения.

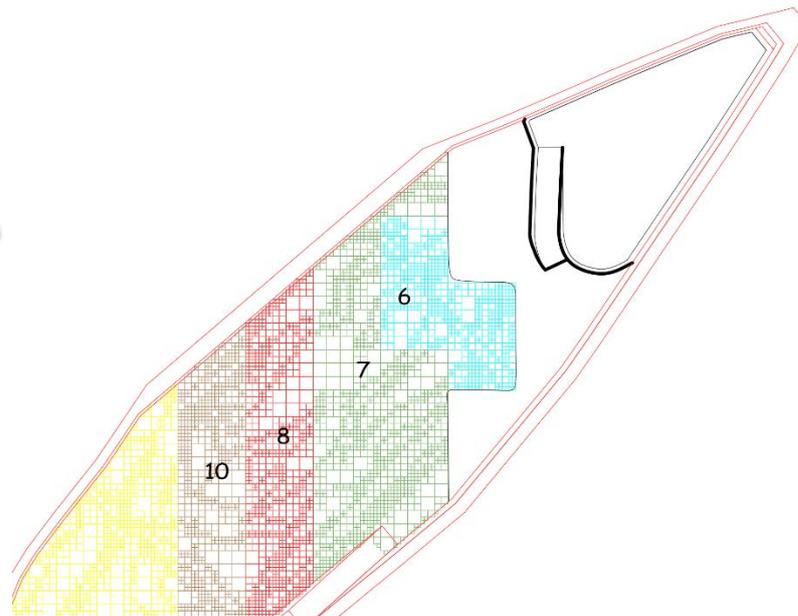
На рисунке 3.13 поэтапно матричная модель, рассчитанная для поперечного развития горных работ с выделенными участками отработки по годам (А) трансформируется в каркасную модель учитывающую динамику горных работ и положение уступов и их откосов (Б). На третьем этапе визуализации каркасная модель объединяется со стандартной блочной ГГИС для выбора способа и технологии управления качеством на оцениваемом горизонте. Построение каркасных моделей горных работ осуществляется от планируемой отметки дна вверх до объединения, пересечения или включения в отработку текущих границ горных работ на вышележащих горизонтах.

Финальной стадией графической интерпретации текущих и планируемых положений горных работ являются топографические планы, формируемые на базе каркасных моделей с учетом атрибутов присущих оцениваемым вариантам по исследуемым параметрам. Фактически цифровой топографический план является цифровым двойником, обеспечивающим информационную базу для определения порядка отработки каждого уступа и расстановки выемочного оборудования для реализации производственной программы, установленной соответствующим планом. Геоинформационная основа, сформированная на базе цифровых планов, работает в среде Geovia Surpac или Mineshed, а также совместима с отечественной системой Mineframe и другими ГГИС.

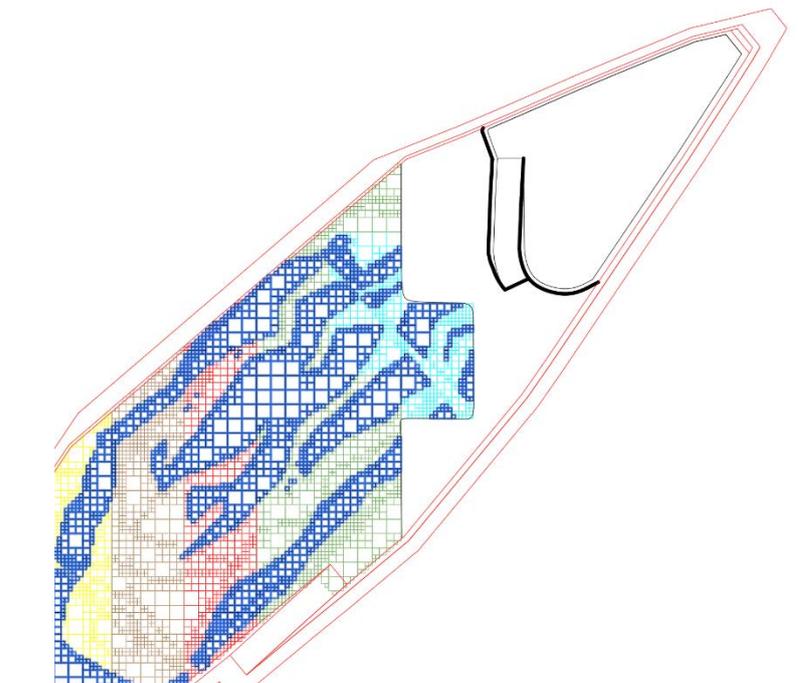
В большинстве ГГИС и программных продуктов используемых для планирования горных работ решается задача распределение оборудование по рабочим горизонтам на основе компьютерного моделирования. В то же время расстановка оборудования, осуществляемая в программных продуктах четко привязана к результатам краткосрочного планирования и календарному плану, сформированному по результатам работы программы, что оставляет для оператора и исследователя возможность управлять лишь входными параметрами, такими как: объем добычи с участков, желаемые качественные характеристики, соотношение рудных сортов, количество выемочного оборудования и его производительность.

-105	14300	14400	14500	14600	14700	14800	14900	15000	15100	15200	15300	15400	15500	15600	15700	15800	15900	16000	16100	16200	16300	
36500																						
36400																						
36300																						
36200		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
36100																						
36000																						
35900																						
35800																						
35700																						
35600																						
35500																						
35400																						
35300																						
35200																						
35100																						
35000																						
34900																						
34800																						
34700																						
34600																						
34500																						
34400																						
-90	14300	14400	14500	14600	14700	14800	14900	15000	15100	15200	15300	15400	15500	15600	15700	15800	15900	16000	16100	16200	16300	

**А**



**Б**



**В**

Рисунок 3.13 – План горизонта с участками в Excel(А), построения плана горных работ с визуализацией календарного этапа (Б) и учетом контуров рудных тел(В)

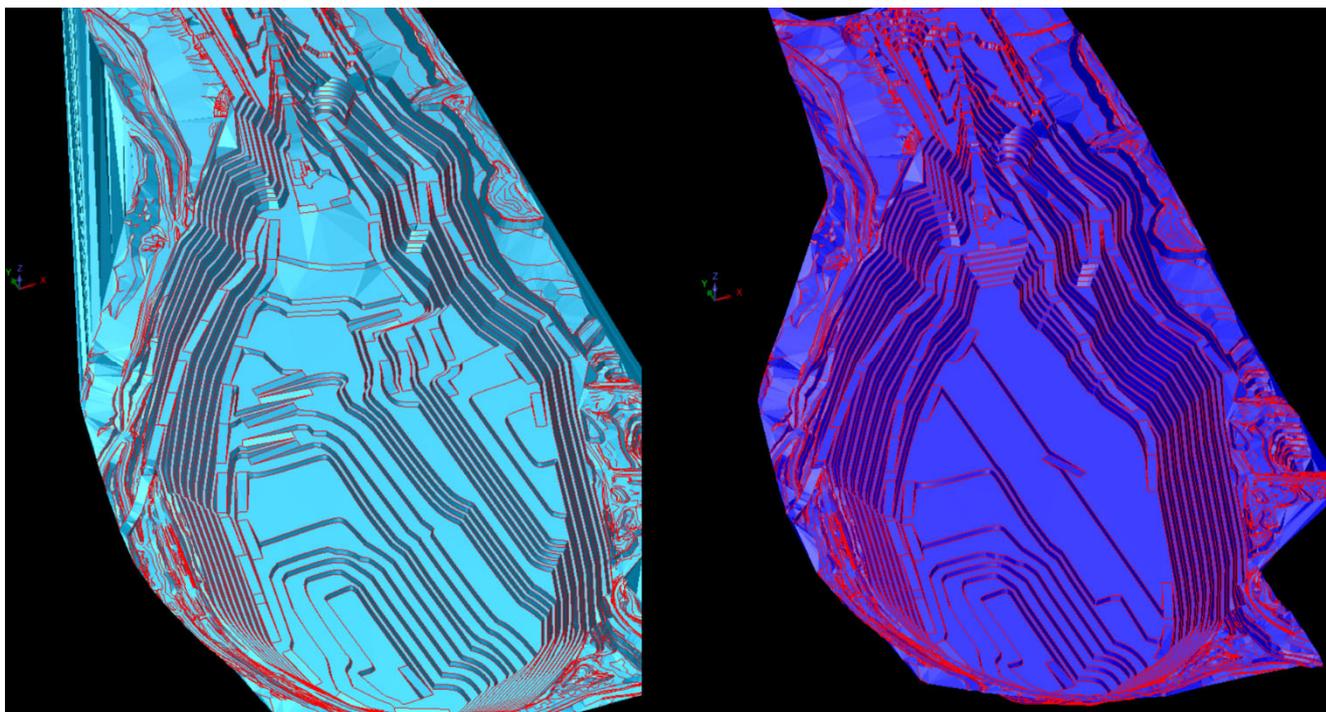


Рисунок 3.14 – Цифровые топографические планы горных работ на 5 и 10 лет по Центральному карьеру Костомукшского месторождения

При задании жестких ограничений по содержанию и объемам, повышении интенсивности отработки- программные продукты не всегда отрабатывают корректно, особенно для глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, предпочитая полностью «погашать» верхние горизонты и только затем осуществлять углубку за рудной массой. Для решения задачи расстановки оборудования при невозможности осуществить планирование горных работ в существующих программных продуктах был разработан алгоритм позволяющий осуществлять расстановку оборудования исходя из разработанной методики геоинформационного обеспечения. В качестве исходных данных для выполнения расчета необходимо указать фактическую производительность оборудования, количество рабочего времени с учетом ремонтов и возможных простоев оборудования на весь срок планирования. В результате автоматизированного расчета на основании предыдущих результатов планирования горных работ – формируется массив данных отражающий дефицит/профицит производительности парка выемочного оборудования (см таблица 3.5) по структурным единицам – карьерам или участкам-секторам карьеров больших линейных размеров.

Таблица 3.5 – Фрагмент результирующих таблиц календарного плана по ГОКу

Год	Карьер	Объем горной массы, м3	Кол. Блоков 100x100	Факт ЭКГ-10	Факт ЭКГ-15	Факт ЭКГ-20	Производительность парка, тыс. м3	Требуемый добор, м3	Требуемый добор, % от годовой производительности по ГМ
1	Карьер-1	18 294 020	763	3	1	2	12 493	5 801 138	31.7
	Карьер-2	2 939 979	205	1			1 206	1 733 538	59.0
	Карьер-3	3 121 425	76	1	1		3 726	-605 016	-19.4
	Карьер-4	21 035 278	698	2	4	3	20 593	442 396	2.1
	Карьер-5	7 820 634	307	1.5	2		6 850	970 973	12.4
<b>Итого в 1 год:</b>		<b>47 890 203</b>	<b>2 049</b>	<b>8.5</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>40 381</b>	<b>8 343 029</b>	<b>17</b>
2	Карьер-1	17 653 529	430	2	1	2	10 873	6 780 647	38.4
	Карьер-2	2 960 972	102	1			1 206	1 754 972	59.3
	Карьер-3	2 854 463	93	1.5	1		4 330	-1 475 438	-51.7
	Карьер-4	20 474 606	423	2	4	3	20 593	-118 276	-0.6
	Карьер-5	7 809 159	251	2	2		7 453	356 259	4.6
<b>Итого в 2 год:</b>		<b>46 577 456</b>	<b>1 299</b>	<b>8.5</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>40 009</b>	<b>7 298 165</b>	<b>16</b>
3	Карьер-1	18 339 245	363	2	1	2	10 873	7 466 363	40.7
	Карьер-2	2 961 647	63	0.5			603	2 358 426	79.6
	Карьер-3	2 856 825	96		1		2 520	336 825	11.8
	Карьер-4	20 134 744	470	2	4	3	20 593	-458 138	-2.3
	Карьер-5	7 828 819	311	1.5	2		6 850	979 157	12.5
<b>Итого в 3 год:</b>		<b>46 909 152</b>	<b>1 303</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>37 295</b>	<b>10 682 633</b>	<b>23</b>
4	Карьер-1	17 502 582	298	2	1	2	10 873	6 629 700	37.9
	Карьер-2	2 940 638	67				0	2 940 638	100.0
	Карьер-3	3 098 025	83		1		2 520	578 025	18.7
	Карьер-4	20 589 525	472	1.5	4	2.5	18 640	1 949 864	9.5
	Карьер-5	7 180 650	222	1	2		6 246	934 209	13.0
<b>Итого в 4 год:</b>		<b>46 180 278</b>	<b>1 142</b>	<b>4.5</b>	<b>8</b>	<b>4.5</b>	<b>34 451</b>	<b>13 032 435</b>	<b>28</b>
5	Карьер-1	14 058 141	238	2	1	2	10 873	3 185 259	22.7
	Карьер-2	2 919 122	107				0	2 919 122	100.0
	Карьер-3	3 271 050	104		1		2 520	751 050	23.0
	Карьер-4	20 796 497	537	1	4	1	13 986	6 810 056	32.7
	Карьер-5	6 741 563	191	1	2		6 246	495 122	7.3
<b>Итого в 5 год:</b>		<b>43 007 735</b>	<b>1 177</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>30 263</b>	<b>14 160 609</b>	<b>33</b>
6	Карьер-1	11 750 232	214	1	1	2	9 666	2 083 791	17.7
	Карьер-2	2 915 325	94				0	2 915 325	100.0
	Карьер-3	3 310 538	114		1		2 520	790 538	23.9
	Карьер-4	20 708 747	449	1	4		11 286	9 422 306	45.5
	Карьер-5	6 751 434	171	1	2		6 246	504 993	7.5
<b>Итого в 6 год:</b>		<b>40 892 648</b>	<b>1 042</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>26 747</b>	<b>15 716 953</b>	<b>38</b>
7	Карьер-1	10 916 354	219		1	2	8 460	2 456 354	22.5
	Карьер-2	2 931 778	78				0	2 931 778	100.0
	Карьер-3	3 106 350	123		1		2 520	586 350	18.9
	Карьер-4	19 682 916	435	1	4		11 286	8 396 475	42.7
	Карьер-5	5 837 063	136	1	2		6 246	-409 379	-7.0
<b>Итого в 7 год:</b>		<b>38 227 014</b>	<b>991</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>25 662</b>	<b>13 961 578</b>	<b>37</b>
8	Карьер-1	10 088 298	196		1	2	8 460	1 628 298	16.1
	Карьер-2	2 497 838	67				0	2 497 838	100.0
	Карьер-3	1 105 763	38		1		2 520	-1 414 238	-127.9
	Карьер-4	19 884 741	353	1	4		11 286	8 598 300	43.2
	Карьер-5	5 830 481	126	1	2		6 246	-415 960	-7.1
<b>Итого в 8 год:</b>		<b>35 466 408</b>	<b>780</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>25 662</b>	<b>10 894 238</b>	<b>31</b>
9	Карьер-1	9 070 060	151		1	2	8 460	610 060	6.7
	Карьер-2	1 882 744	49				0	1 882 744	100.0
	Карьер-3	1 376 438	68		1		2 520	-1 143 563	-83.1
	Карьер-4	19 404 056	340	1	4		11 286	8 117 615	41.8
	Карьер-5	4 958 381	117	1	2		6 246	-1 288 060	-26.0
<b>Итого в 9 год:</b>		<b>33 022 511</b>	<b>725</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>25 662</b>	<b>8 178 797</b>	<b>25</b>
10	Карьер-1	7 258 528	177		1	2	8 460	-1 201 472	-16.6
	Карьер-2	1 887 131	40				0	1 887 131	100.0
	Карьер-3	1 446 975	57		1		2 520	-1 073 025	-74.2
	Карьер-4	17 994 066	313	1	4		11 286	6 707 625	37.3
	Карьер-5	5 022 844	127	1	2		6 246	-1 223 597	-24.4
<b>Итого в 10 год:</b>		<b>30 248 590</b>	<b>714</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>25 662</b>	<b>5 096 662</b>	<b>17</b>

По отклонением происходит корректировка необходимого парка в сторону увеличения при нехватке производительности или релокации фактического парка в случае профицита. Также необходимо учитывать, что выполнение операций по управлению качеством – селективной выемки или отработки подступами снижает производительность выемочных машин на 20-35%. В результате планирования горных работ зная объем горной массы на горизонтах всех карьеров, координаты участков и объем горной массы требующей селективной выемки, становится возможным ввести снижающий производительность выемочных машин коэффициент (для объемов этих участков).

Разработанная методика геоинформационного обеспечения позволяет в экспресс-режиме оценить различные варианты календарного плана по нескольким карьерам и ГОКу в целом, спрогнозировать сопутствующее качество: средневзвешенное содержание полезных компонентов и их изменчивость, экспортировать данные в исходные блочные модели, трансформировав их в динамические. Использовать данные расчетов при построении планов горных работ и распределении экскаваторного оборудования по уступам и карьерам ГОКа.

### 3.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Совершенствование системы геоинформационного обеспечения принятия решений на стадии планирования горных работ связано с необходимостью учитывать изменчивость качественных характеристик, т.к. она, наряду с горно-геологическими условиями определяет применяемый подход к управлению качеством на горнодобывающем предприятии. Анализ изменчивости качественных показателей, свидетельствует о том, что с помощью матричных моделей наиболее просто реализуются требования к анализу вариативности показателей качества и обоснованию способов его стабилизации.

2. Назначением матричных моделей погоризонтных планов является раздельное описание объемов моделируемых участков и слагающих их рудных и вскрышных микроблоков, расчет изменчивости качества по указанным участкам, в т.ч. содержания полезных и вредных компонентов. Реализован принцип раздельного моделирования геологической среды в единой системе координат с зафиксированными «центрами масс» блоков.

3. Динамические блочные модели представляют собой модификацию исходной блочной модели, полученную в качестве исходных данных. Модификация заключается в изменении структуры информационного массива добавлением атрибутов, характеризующих варианты развития горных работ в части:

- года отработки;
- порядка отработки горизонта или участка карьера;
- изменчивости качества на участке в соответствующий год;
- интенсивности отработки карьера или его участка;
- выделенных участков карьера требующих специальных способов

управления качеством.

При создании динамических блочных моделей добавляются атрибуты, которые заполняются при обратном импорте в модель рассчитанными данными

(включая изменчивость руд) и отношениями к определенному календарному этапу и типу руды.

4. Информационное обеспечение планирования горных работ обеспечивается созданием совокупности блочных, каркасных и матричных динамических моделей, учитывающих неоднородность распределения показателей качества минерального сырья и обеспечивающих достижение заданных показателей по объемам и содержанию оцениваемых компонентов в геопространстве и времени. Унификация методики достигается за счет использования (экспорта) стандартных блочных моделей, принятых в различных ГГИС при соответствующей их модернизации под решаемые задачи.

5. Практическая реализация изложенных результатов исследования позволяет повысить эффективность и комплексность освоения запасов сложноструктурных месторождений, что особенно важно в период санкционной политики и необходимости импортозамещения. Для примера: на Западном карьере АО «Карельский окатыш» установлено, что с глубиной отработки прогнозируется тенденция к улучшению качества руды. в т.ч.  $Fe_{\text{маг}}$  с 17% на гор. +195 м до 27% на гор. -240 м÷-270 м, что требует повышения интенсивности углубки с целью повышения среднего содержания в добываемых рудах, а также увеличивается объем балансовых запасов руды на горизонтах и сокращается объем вскрыши). Одновременно обеспечивается принятие решений по опережающей выемке вскрышных пород с целью перспективного снижения текущего коэффициента вскрыши на оцениваемой участке. Таким образом применение матричных моделей обеспечивает системную взаимоувязку порядка развития горных работ, мест выемки вскрыши и создания условий для поддержания рудных фронтов требуемой протяженности с учетом качества руд.

6. Оценка изменчивости руд и рудоносности блоков заключается в расчете коэффициента вариации и коэффициента рудоносности. При этом, выделяются участки требующие предобогащения или выделения различных природных типов и сортов руд. Коэффициент вариации свыше 30% свидетельствует о неоднородности рудной массы в исследуемом участке и необходимости уточнения

качественных характеристик. Величина коэффициента рудоносности менее 50% показывает, что данный участок должен обрабатываться с применением селективной выемки или подвергаться ряду технологических операций, связанных с рудоподготовкой. Низкий коэффициент рудоносности свидетельствует о малой мощности рудного тела, большом количестве контактов и породных промежуточных прослоев и вытекающем из этого повышении разубоживания, и увеличении потерь – такие блоки в случае маломощных рудных тел и невозможности организовать селективную выемку должны отправляться на предобогащение, к примеру сухую магнитную сепарацию. При планировании мы учитываем их объем и заранее резервируем часть мощностей комплекса рудоподготовки.

7. Использование матричных моделей обеспечивает целенаправленный анализ развития горных работ в карьере по участкам их бортов и выделенным по глубине зонам. При этом совмещение данных об объемах, сортности полезного ископаемого и содержания в нем полезных/вредных примесей с данными об объемах вскрыши извлекаемых при площадном или углубочном развитии рабочей зоны. Для этого производится автоматизированная оценка формы вероятностного распределения по гистограммам содержания полезных и вредных компонентов по исследуемым участкам, с целью выбрать более рациональный способ рудоподготовки и определить возможность выделить технологические типы и природные сорта. В случае наличия двух пиков (бимодального), формы типа – «плато» или «распределения с изолированным пиком» требуется организовать в блоке селективную выемку, либо предусмотреть отдельную добычу или взрывание.

8, Разработанная методика геоинформационного обеспечения процесса планирования горных работ на основе данных блочных моделей, позволяет произвести анализ текущего состояния горных работ на предприятии, оценить по горизонтам объемы и качество руд, изменчивость качественных показателей, в короткие сроки произвести многовариантную оценку дальнейшего развития горных работ, разработать автоматизированные календарные планы не только по объемам и содержанию полезных и вредных компонентов на требуемый период

планирования, но и с учетом изменчивости руд и соотношения различных их сортов. Данная методика может использоваться для первоначальной оценки стратегии освоения месторождения и выбора направлений развития горных работ, оценки применяемых методов рудоподготовки, что позволяет строить трехмерные планы горных работ с детальной картой грузопотоков по системе «склад-карьер-горизонт». Методика не нарушает используемой на предприятии стратегии планирования и использования ГГИС, а позволяет по-новому посмотреть на объемы и запасы с учетом всей полноты информации, заложенной в блочную модель. Методика апробирована на АО «Карельский Окамыш», результаты используются при планировании горных работ.

## 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАНОЙ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

### 4.1 Комплексная оценка потерь и засоренности минерального сырья (примере Эльгинского месторождения каменного угля)

Для прогноза распределения размещения коксующихся и энергетических углей в границах Эльгинского месторождения, а также показателей потерь и засорения применена автоматизированная экспресс-методика его геометризации.

Геометризация угольных пластов осуществлена по определяющим коксующийся уголь качественным показателям зольности ( $A^d$ ) и пластичности ( $Y$ ):

- 1)  $A^d > 30\%$ ,  $Y > 16\text{мм}$  – коксующийся уголь с зольностью больше 30% ;
- 2)  $A^d < 30\%$ ,  $Y > 16\text{мм}$  – коксующийся уголь с зольностью меньше 30%;
- 3)  $Y < 16\text{мм}$  – некоксующиеся угли (энергетические).

Последовательность моделирования и автоматизированных оценок:

- оцифровка данных интервальных колонок скважин (рисунок 4.1) и создание геологической базы данных (таблица 4.1);

- автоматизированное вычисление (в разработанной микропрограмме) для угольных пластов средневзвешенных скважинных значений, определяющим их тип и сорт качественным показателям;

- построение и анализ изолиний зольности и пластичности угля, сформированных на триангуляционных поверхностях,

- совмещение моделируемых показателей с графическим выделением зон по коксемости углей и их энергетике (рисунок 4.2).

- анализ соотношения запасов коксующегося и энергетического угля по пластам (табл. 4.2);

- создание каркасных моделей угольных пластов в среде AutoCad с учетом распределения качественных показателей (рисунок 4.3).

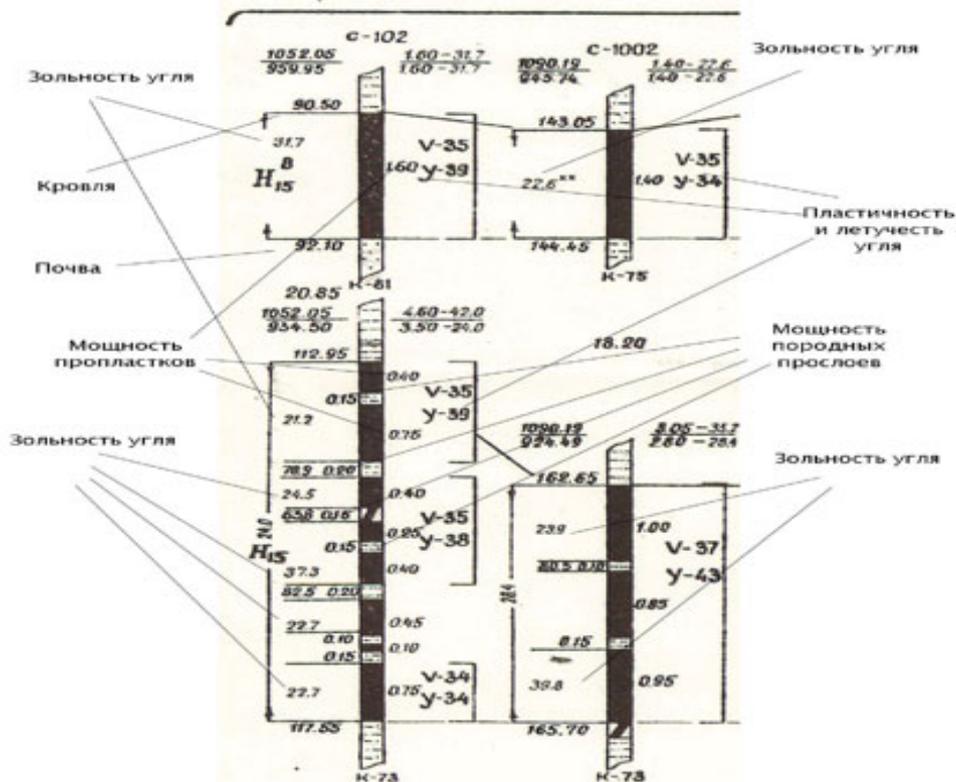


Рисунок 4.1 – Зональности основных пластов У4(левый нижний), Н16(справа сверху), Н15(слева сверху), У5(справа внизу)

Таблица 4.1 – Фрагмент атрибутивных и пространственных данных после оцифровки

Пласты	№ скважины	Интервал пачки пласта			Интервал породного пропласт			Зольность		Физ.хим. Свойств		Разрез	x	y	zu	oz	пп
		Кровля	Почва	Мощность	Кровля	Почва	Мощность	уголь	пласт	Vdaf	Y						
H15B	102	90.5	92.1	1.6				31.7	10	11	12	A	210888.3	290925.3			
OM H15B	102											A	210888.3	290925.3	31.7	31.7	39
H15	102	112.95	113.35	0.4	113.35	113.5	0.15	21.2	80.8	35	39	A	210888.3	290925.3			
H15	102	113.5	114.25	0.75	114.25	114.45	0.2	21.2	70.9	35	39	A	210888.3	290925.3			
H15	102	114.45	114.85	0.4	114.85	115	0.15	24.5	63.8	35	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	115	115.25	0.25	115.25	115.4	0.15	37.3	80.8	36	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	115.4	115.8	0.4	115.8	116	0.2	37.3	82.5	35	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116	116.45	0.45	116.45	116.55	0.1	22.7	80.8	35	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116.55	116.65	0.1	116.65	116.8	0.15	22.7	80.8	34	34	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116.8	117.55	0.75				22.7		34	34	A	210888.3	290925.3			
OM H15	102											A	210888.3	290925.3	25.12	37.53	37
H15B	1002	143.05	144.45	1.4				22.6		35	34	A	210645.6	291056.2			
OM H15B	1002											A	210645.6	291056.2	22.6	22.6	34
H15	1002	162.65	163.65	1	163.65	163.75	0.1	23.9	80.5	37	43	A	210645.6	291056.2			
H15	1002	163.75	164.6	0.85	164.6	164.75	0.15	24.7	80.8	37	43	A	210645.6	291056.2			
H15	1002	164.75	165.7	0.95				39.8		37	43	A	210645.6	291056.2			
OM H15	1002											A	210645.6	291056.2	29.54	33.73	43
H15B	104	160.65	161.4	0.75	161.4	161.55	0.15	25.8	25.8	34	33	A	210551	291170.9			
H15B	104	161.55	162.45	0.9				21.9		34	33	A	210551	291170.9			
OM H15B	104											A	210551	291170.9	23.67	23.85	33
H15	104	180.95	181.2	0.25	181.2	181.5	0.3	16.3	70.2	36	40	A	210551	291170.9			
H15	104	181.5	182.55	1.05	182.55	182.65	0.1	26.9	26.9	36	40	A	210551	291170.9			
H15	104	182.65	183.1	0.45	183.1	183.25	0.15	26.9	78.3	36	39	A	210551	291170.9			
H15	104	183.25	183.35	0.1	183.35	183.4	0.05	34.7	76.5	36	39	A	210551	291170.9			
H15	104	183.4	184.15	0.75				23.9		39	36	A	210551	291170.9			
OM H15	104											A	210551	291170.9	25.32	32.86	39
H15B	1393gr	188.1	188.96	0.85	188.96	189.05	0.1	26.3	26.3	33	14	A	210439	291259.4			
H15B	1393gr	189.05	189.85	0.8				26.3		33	14	A	210439	291259.4			
OM H15B	1393gr											A	210439	291259.4	26.3	26.3	14
H15	1393gr	208.2	208.6	0.4	208.6	208.7	0.1	36	36	36	14	A	210439	291259.4			

Результаты работы экспресс-методики по прогнозу распределения качественных показателей представлены в виде планов изозольности,

изопластичности и планов зонального размещения в площади пластов по типу «кокс – энергетический уголь» по каждому пласту отдельно (см. рис. 4.2).

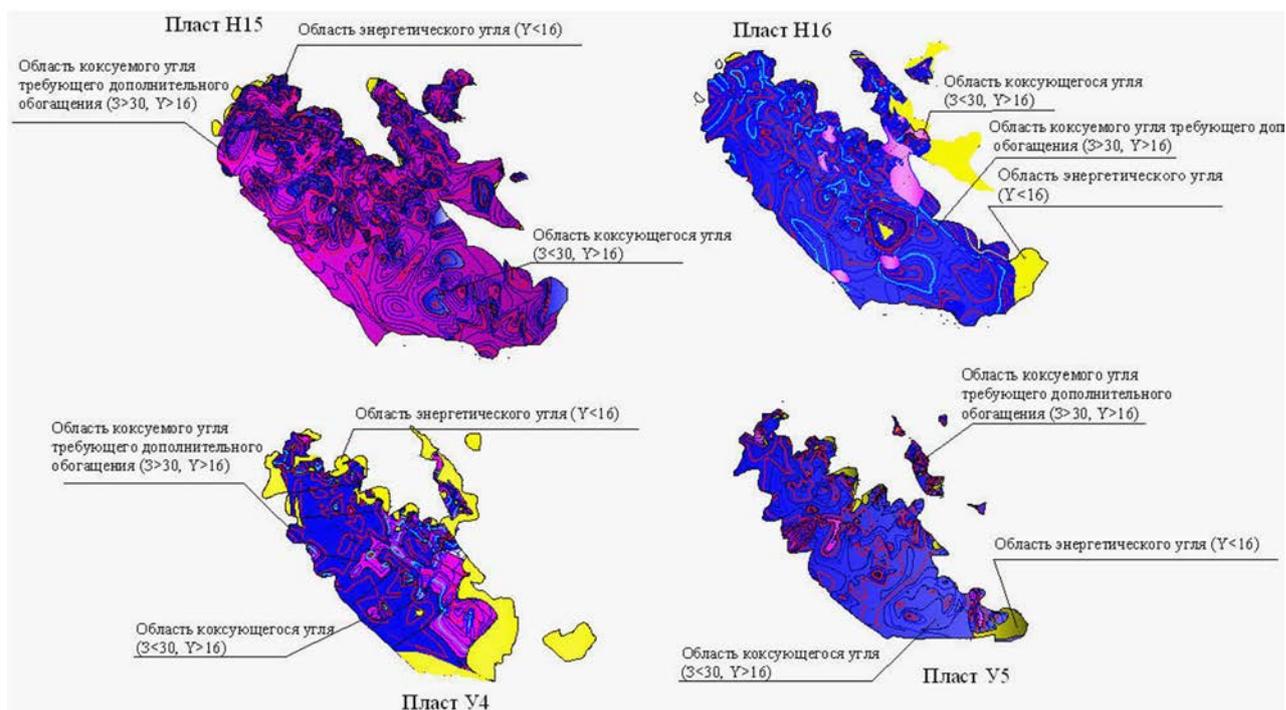


Рисунок 4.2 – Зональности основных пластов У4(левый нижний), Н16(справа сверху), Н15(слева сверху), У5(справа внизу)

Таблица 4.2 – Результаты геометризации по пластам Эльгинского месторождения каменного угля

Пласт	Энергетика, м3			Кокс А>30, м3			Кокс А<30, м3			Общий объем, м3		
	По геол. Отчету	По модели	%	По геол. Отчету	По модели	%	По геол. Отчету	По модели	%	По геол. Отчету	По модели	%
У5	14832.55119	14909.68978	5.4	20284.64377	20390.137	7.4	240702.7	241954.51	87.3	275819.9	277254.337	100
Н15	3590.435973	3577.696339	1.2	265007.4092	264067.11	91.1	22378.2	22298.752	7.7	290976	289943.555	100
У14	7237.51597	7214.947304	19.6	26304.45097	26222.426	71.3	3356.5	3346.0066	9.1	36898.44	36783.38	100
У13	7287.96353	7148.32805	22.8	8197.87824	8040.809	25.6	16542.3	16225.362	51.6	32028.15	31414.499	100
У12	4039.624584	4079.063797	12.8	22689.83758	22911.36	71.8	4861.3	4908.7187	15.4	31590.72	31899.143	100
Н15В	365.9637405	369.5115042	1.2	14675.88912	14818.162	48.7	15104.1	15250.521	50.1	30145.95	30438.194	100
У5В	2206.598305	2208.869662	5.0	33917.34669	33952.259	76.6	8168.2	8176.5829	18.4	44292.12	44337.712	100
У5Н	682.810334	681.4307298	3.9	8075.002525	8058.6871	45.8	8877.3	8859.4082	50.3	17631.46	17595.836	100
У4	68593.80167	68494.05018	26.9	67756.94669	67658.412	26.6	118191.4	118019.47	46.4	254542.1	254171.936	100
У4В1	6747.004456	6762.34671	80.8	1083.233227	1085.6964	13.0	520.5	521.66586	6.2	8350.72	8369.709	100
Н16	59109.84797	58874.77222	12.3	33132.5856	33000.82	6.9	387987.4	386444.38	80.8	480182.4	478272.748	100

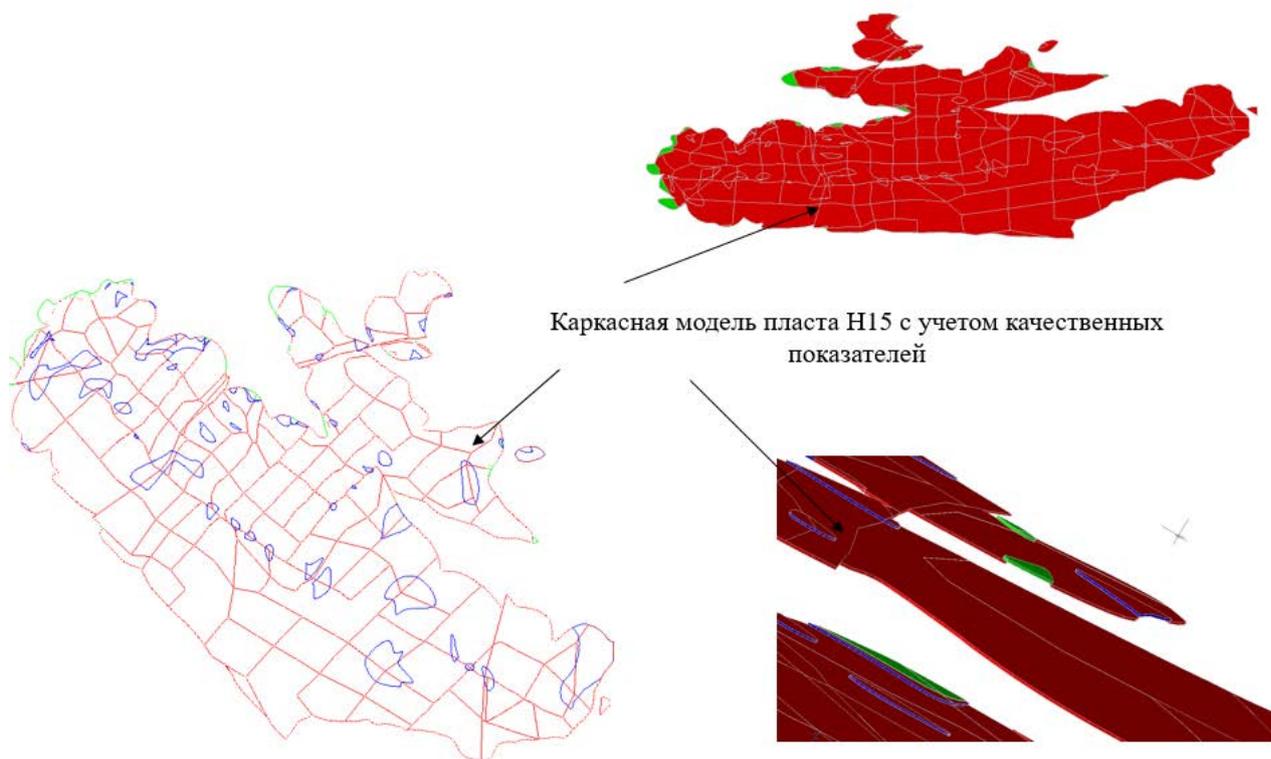


Рисунок 4.3 – Трансформация модели изолиний в каркасную SOLID-модель угольного пласта Н15.

Методика геометризации использована при обосновании показателей потерь и засорения. Расчет засоренности выполнялся для каждой скважины, как отношение суммарной мощности прослоев пустых пород к совокупности пропластков угля и пустой породы (рис. 4.4) по формулам 4.1-4.2.

$$\sum m = m_1 + m_2 + m_3 \quad (4.1)$$

$$\frac{\sum m}{M} = K_B \quad (4.2)$$

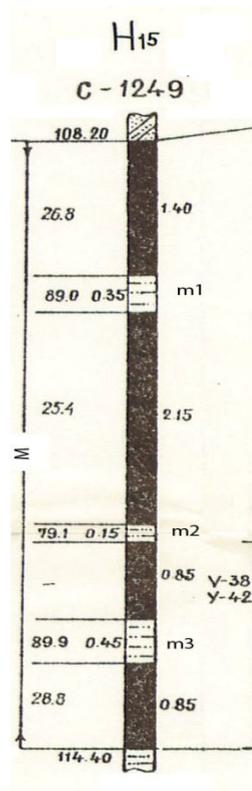


Рисунок 4.4 – Схема распределения засоренности угольного пласта по скважине.

Потери на контактах представляют собой слой теряемого полезного ископаемого, а разубоживание – слой примешиваемых пород по всей площади пласта при зачистке его кровли и почвы. Проектирование потерь и засорения при зачистке почвы и кровли пласта предполагает наиболее вероятное соотношение стружки потерь и засорения как 0,5 : 0,5. Таким образом, соотношение количества теряемого угля и засоряющих пород имеет вид:

$$\omega = B / \Pi = \omega_V \frac{\rho_B}{\rho_{\Pi}} = \frac{S_B}{S_{\Pi}} \frac{\rho_B}{\rho_{\Pi}} \quad (4.3)$$

где  $\omega_V$  - соотношение объемов теряемой руды и разубоживающих пород

$$\text{как } \omega_V = \frac{V_B}{V_{\Pi}} = \frac{(1-k)^2}{k^2}; \quad (4.4)$$

$k$  – безразмерный параметр, измеряющийся от 0 до 1;

$\Pi$  – количество теряемого полезного ископаемого;

$B$  – количество разубоживающих пород;

$\rho_{\Pi}, \rho_B$  - средняя плотность теряемого полезного ископаемого и засоряющих пород, т/м<sup>3</sup>;

$\frac{S_B}{S_{\Pi}}$  - отношение площадей стружки засорения к стружке потерь.

Коэффициент потерь определяется из соотношения (4.3)

$$K_{\Pi} = \frac{K_B \rho_{\Pi}}{\rho_B} \quad (4.5)$$

Таким образом, для условий проектной отработки Эльгинского месторождения каменного угля для каждой скважины значение  $K_{\Pi}$  будет равно

$$K_{\Pi} \approx \frac{K_B 1,35}{2,6} = 0,52 K_B \quad (4.6)$$

Расчет мощности отсекаемого или теряемого слоя производится по следующим формулам:

$$P_{(k,n)i} = \frac{h_{ni}}{m} \quad (4.7)$$

$$B_{(k,n)i} = \frac{h_{ei} \gamma_e}{m \gamma_n} \quad (4.8)$$

где  $P_{(k,n)i}$  и  $B_{(k,n)i}$  - коэффициенты количественных и качественных потерь  $i$ -го варианта разработки кровли  $P_{ki}$ ,  $B_{ki}$  и  $P_{ni}$ ,  $B_{ni}$  почвы, доли единицы;

$h_{ni}$  - высота слоя теряемого угля  $i$ -го варианта, м;

$h_{ei}$  - высота слоя примешиваемых пород  $i$ -го варианта, м;

$m$  - мощность пласта в пределах блока, м;

$\gamma_n$  и  $\gamma_e$  - соответственно плотность угля и примешиваемых пород, т/м<sup>3</sup>.

По приведенным зависимостям для каждой скважины был рассчитан коэффициент засорения  $K_B$  и далее геометризован в поверхность дифференцированно для каждого анализируемого пласта (рис. 4.5). выделено

несколько пространственных зон, где значения коэффициента засоренности варьировались в пределах: 0 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 5.

Также была рассчитана допускаемая мощность отсекаемого слоя на породугольных контактах для каждой скважины (табл. 4.3) пласта Н15.

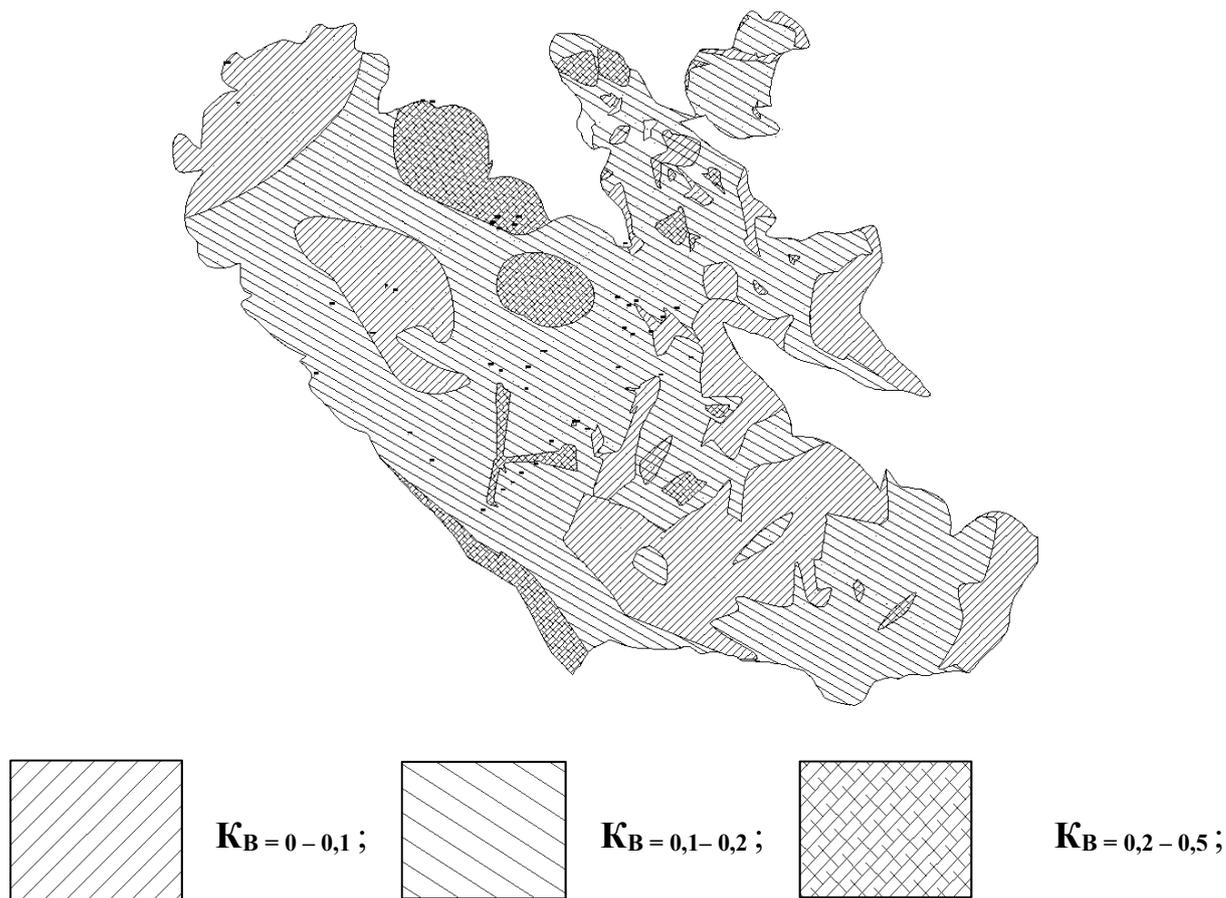


Рисунок 4.5 – Геометризация показателя коэффициента засоренности  $K_B$  угольного пласта Н15

Допускаемая мощность отсекаемого слоя пустых пород должна удовлетворять требованию:

$$\Delta l_{\text{п}} \leq \frac{A_{\text{пред}} \sum_{i=1}^n m_{yi} \gamma_{yi} - \sum_{i=1}^n m_{yi} A_{yi} \gamma_{yi}}{\sum_{i=1}^n A_{ni} \gamma_{ni} - A_{\text{пред}} \sum_{i=1}^n \gamma_{ni}}, \quad (4.9)$$

где  $A_{\text{пред}}$  - предельная зольность добываемой угольной продукции, %;  $m_{yi}$  - мощность угольной пачки, м;  $\gamma_{ni}$  - удельный вес породы из породугольного контакта, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{yi}$  - удельный вес угля из породугольного контакта, т/м<sup>3</sup>.

Таблица 4.3 – Фрагмент таблицы для расчета мощности присекаемого слоя

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
1	Пласты	№ скважины	M пласт	M проп	уголь пласт	пропласток	Пластов	Пропластков	А предельная		50					
2	1	2	5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
6	H15	102	0.4	0.15	21.2	80.8	1.38	2.31	8.48	12.12	11.7024	27.9972	29.256	186.648		
7	H15	102	0.75	0.2	21.2	70.9	1.38	2.31	15.9	14.18	21.942	32.7558	29.256	163.779		
8	H15	102	0.4	0.15	24.5	63.8	1.38	1.88	9.8	9.57	13.524	17.9916	33.81	119.944		
9	H15	102	0.25	0.15	37.3	80.8	1.38	2.31	9.325	12.12	12.8685	27.9972	51.474	186.648		
10	H15	102	0.4	0.2	37.3	82.5	1.38	2.31	14.92	16.5	20.5896	38.115	51.474	190.575		
11	H15	102	0.45	0.1	22.7	80.8	1.38	2.31	10.215	8.08	14.0967	18.6648	31.326	186.648		
12	H15	102	0.1	0.15	22.7	80.8	1.38	2.31	2.27	12.12	3.1326	27.9972	31.326	186.648		
13	H15	102	0.75		22.7		1.38		17.025		23.4945		31.326			
14	OM H15	102	3.5	1.1												
			1.38	30%	1.88	60%	2.31	80%								
		102	0.4	0.15	21.2	80.8	1.38	2.31								
			0.75	0.2	21.2	70.9	1.38	2.31								
			0.4	0.15	24.5	63.8	1.38	1.88								
			0.25	0.15	37.3	80.8	1.38	2.31								
			0.4	0.2	37.3	82.5	1.38	2.31								
			0.45	0.1	22.7	80.8	1.38	2.31								
			0.1	0.15	22.7	80.8	1.38	2.31								
			0.75		22.7		1.38									
	А пред	50														
									Знаменатель							
					Мощность	Плотность			Зольность	Мощность	Плот			Зольность	Плотность	Сумма плотностей
		числитель	1		0.552	0.3465			11.7024	27.9972			29.256	186.648		
					1.035	0.462			21.942	32.7558			29.256	163.779	26.78	
					0.552	0.282			13.524	17.9916			33.81	119.944		
					0.345	0.3465			12.8685	27.9972			51.474	186.648		
					0.552	0.462			20.5896	38.115			51.474	190.575		
					0.621	0.231			14.0967	18.6648			31.326	186.648		
					0.138	0.3465			3.1326	27.9972			31.326	186.648		
					1.035				23.4945				31.326			
					7.3065				312.8691				1510.138			
	Числ	=		52.4559												
	Знам	=		171.138	Конд. М	0.306512	м									

На основании проведенных исследований и выполненных работ показано, что:

1. максимальное соотношение кокс/не кокс отмечается в пластах У5, Н15, Н15В, У5В, Н16 (см. рис. 4.2)
2. минимальное соотношение кокс/не кокс отмечается в пласте У4В1 (табл. 4.2);
3. повышенное содержание энергетических углей в пласте У4В1 позволяет считать этот пласт не коксуемым;
4. прослеживается закономерность сосредоточения энергетических углей в северной части вдоль контуров основных пластов. По некоторым пластам

энергетический уголь районирован идет вдоль восточной и южной границы пластов.

Для примера геометризация засоренности угольного пласта Н15 свидетельствует о том, что:

- Уголь с большей степенью засоренности (0,2-0,5) находится в северно-восточной части пласта.
- Уголь с меньшей степенью засоренностью (0-0,1) расположен на востоке и южной границе пласта.
- Пласт преимущественно имеет среднюю засоренность (0,1-0,2)

На основе проведенной геометризации проектных показателей потерь и засоренности каменного угля Эльгинского месторождения получены закономерности, отражающие их распределение в поле угольного пласта.

Кондиционная мощность угольных пропластков согласно расчетам по пласту Н15, составила 0.3-0.4 м.

Полученные сведения о позволили рекомендовать внедрение технологии предобогащения - грохочения угольной массы на местах ведения горных работ.

## **4.2 Комплексная оценка титаномагнетитовых руд Гусевогорского и Собственно-Качканарского месторождений**

На примере Гусевогорского и Собственно-Качканарского титаномагнетитовых показана эффективность организации раздельной добычи полезного ископаемого по природным типам, либо за счет усреднения качественных свойств за счет смешивания карьерных грузопотоков. Исследования, проведенные совместно с ИМЕТ УрО РАН и кафедрой обогащения УГГУ, показали отличия в обогатимости и измельчаемости малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей руды на Гусевогорском месторождении.

Разработанные технологии информационного обеспечения по выделению и оконтуриванию в карьерном пространстве ванадистых, титанистых и рядовых типов руд создают условия для организации их раздельной отработки. Селективная выемка и организация обогащения легкообогатимых (крупно - и средне вкрапленных) руд на горизонтах ниже +55 м отдельно от мелковкрапленных руд может снизить удельные затраты до 15 % по сравнению с обогащением их в смеси с мелковкрапленными рудами и позволит повысить извлечение железа, ванадия, титана из руд.

Апробация методики экспресс-моделирования в опытном порядке осуществлена погоризонтно в границах Главного и Северного карьеров на основе информационной базы данных детальной разведки Гусевогорского месторождения.

Данные детальной разведки представлены таблицами (рисунок 4.6) в формате, необходимом для обработки геологической информации в программных комплексах ГГИС, в которых содержатся: названия скважин, их координаты, высотная отметка устьев скважин, номер геологического разреза к которому они принадлежат, данные интервального опробования, глубина скважины, данные инклинометрии (наклон и азимут) и пр.

hole_id	hole_path	max_depth	n_raz	x	y	z	Добавить поле
	CURVED	140,7	I-S	3079,89	7126,84	307,2	
10	CURVED	145,7	III-S	3270,21	6977,58	282,8	
100	CURVED	123,5	V-N	3633,71	7606,82	280,52	
1000	CURVED	56	XII-XIII-N	3770	8346	320,3	
1001	CURVED	55	XII-XIII-N	3812	8352	314,5	
1002	CURVED	53	XII-XIII-N	3858	8353	310,1	
1003	CURVED	54,7	XII-N	3791	8302	318,7	
1004	CURVED	40	XII-XIII-N	3900	8344,5	306,4	
1005	CURVED	111,5	IX-X-N	3493	8061	388	
1006	CURVED	41	XIII-N	3913	8396	301,1	
1007	CURVED	40,7	XII-N	3936	8288	304,6	
1008	CURVED	149	IX-X-N	3451,84	8048,28	381,6	
1009	CURVED	41,5	XI-XII-N	3927	8236	310	
101	CURVED	144,75	V-N	3732,73	7599,23	279,03	
1010	CURVED	45,2	XII-N	3894	8291	309,5	
1011	CURVED	46,4	XI-XII-N	3878	8243	312,6	
1012	CURVED	54	XI-XII-N	3828	8248	316,5	
1013	CURVED	59,4	XI-XII-N	3780	8256	324,4	
1014	CURVED	63	XII-XIII-N	3705,5	8353,6	326	
1015	CURVED	64,3	XI-XII-N	3738,2	8254,5	330	
1016	CURVED	71,3	XII-XIII-N	3653,1	8357	335	
1017	CURVED	66,7	XII-N	3692,1	8303	331	
1018	CURVED	86,3	XIII-N	3593,6	8411,7	351	
1019	CURVED	81	XII-XIII-N	3603,1	8359,1	345	
102	CURVED	147,35	V-N	3833,25	7594,48	282,88	
1020	CURVED	170,1	XII-N	3644,5	8306,1	339	
1021	CURVED	83	XII-N	3593,2	8308,6	348	
1024	CURVED	86,9	XI-XII-N	3585,2	8263	352	
1025	CURVED	76,5	XI-XII-N	3681,2	8256	338,9	
1026	CURVED	80	XI-XII-N	3631,2	8258	346,5	
1027	CURVED	80	XI-N	3690	8212	342	
1028	CURVED	75,5	XI-N	3797	8203	326	
1029	CURVED	61	X-XI-N	3830	8142	322	
103	CURVED	153,1	V-N	3935,15	7588,84	291,12	
1030	CURVED	71	X-XI-N	3780	8148	330	

Рисунок 4.6 – Фрагмент таблицы исходных данных

Геометризация размещения исследуемых качественных характеристик рудного тела и геоинформационное моделирование реализованы в виде следующих этапов:

- формирование по данным скважин детальной разведки усредненных интервалов опробования (рисунок 4.7) по выделенным горизонтам для статистического анализа с целью локализации зон повышенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия;

- преобразование данных, построение численных распределений и выделение областей, характеризующих пространственное размещение одноименной вкрапленности зерен титаномагнетита по обследуемым горизонтам, поскольку существуют классификации Гусевгорских руд, основанные на их текстурных особенностях - вкрапленности, а также процентном содержании железа в магнитной фракции - обогатимости;

- погоризонтное моделирование распределения качественных характеристик

рудного тела на основе построения изолиний содержания  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ , железа в магнитной фракции;

- погоризонтное выделение и моделирование границ рудных зон, отражающих распределение вкрапленности и показателя обогатимости титаномагнетитовых руд ( )

- для выделения малотитанистых и нормальнотитанистых типов руд в действующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, при геометризации введен дополнительный параметр - предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

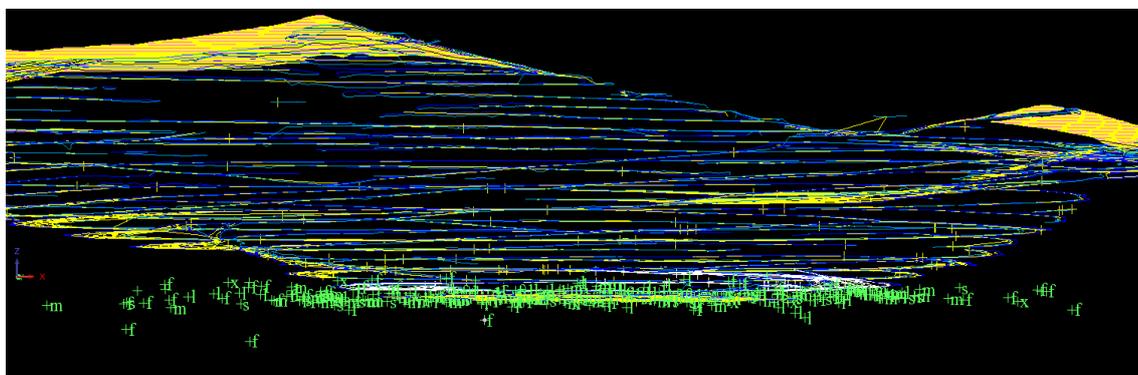


Рисунок 4.7 – Модель данных опробования гор. +55м,  
Главный карьер Гусевогорское месторождение

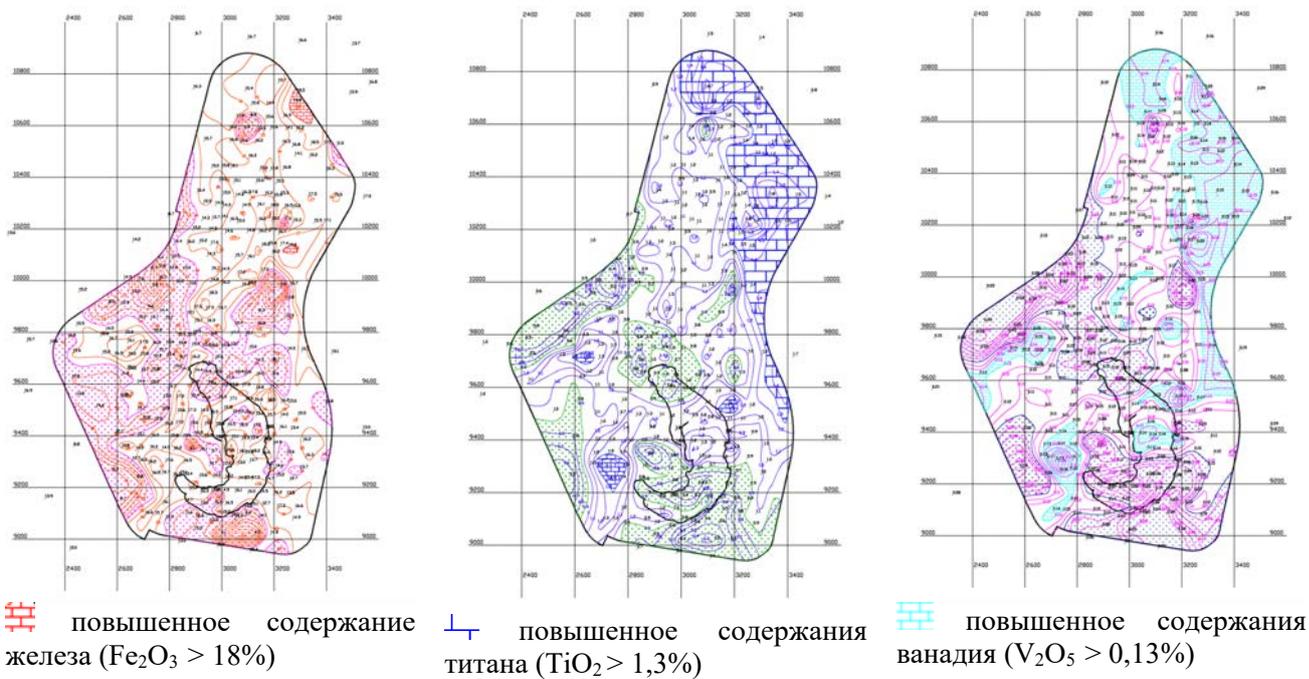


Рисунок 4.8 – Распределение содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  и  $\text{TiO}_2$  на горизонте +160 м Северного карьера

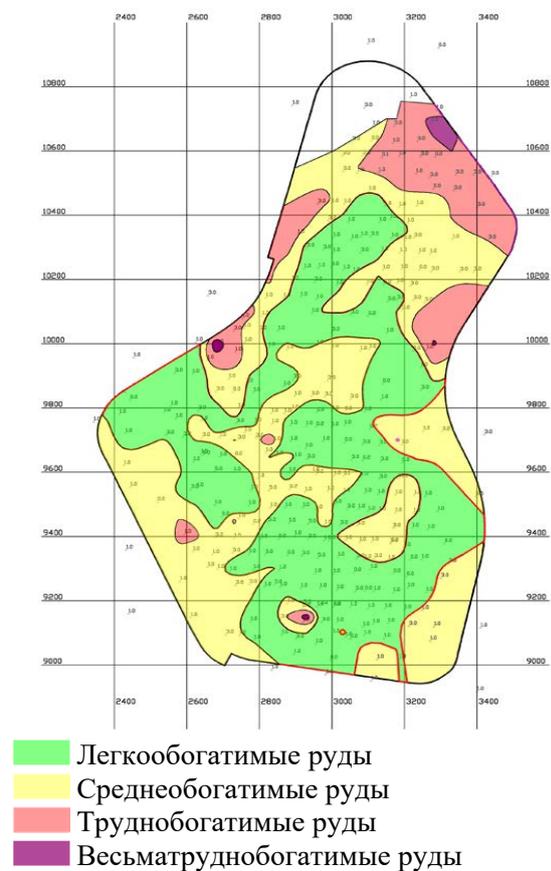


Рисунок 4.9 – Районирование титаномагнетитовых руд по показателю обогатимости (содержание железа в магнитной

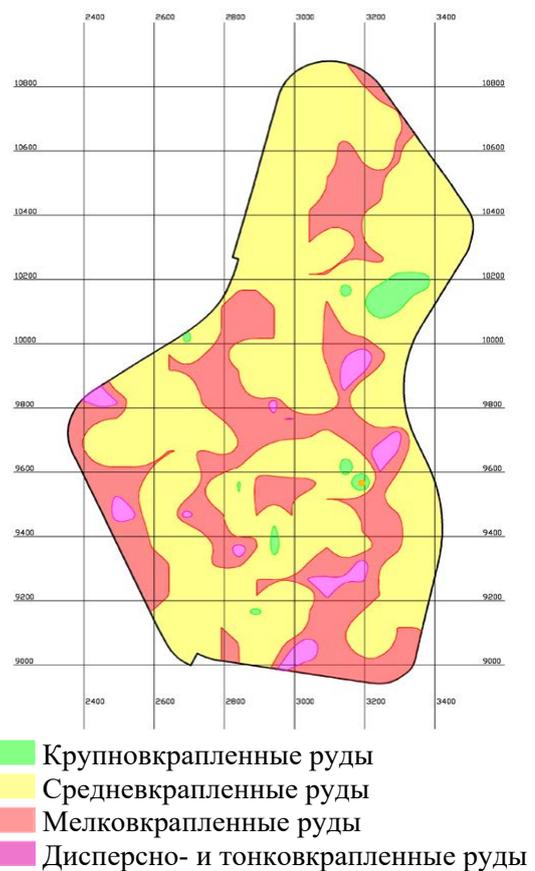
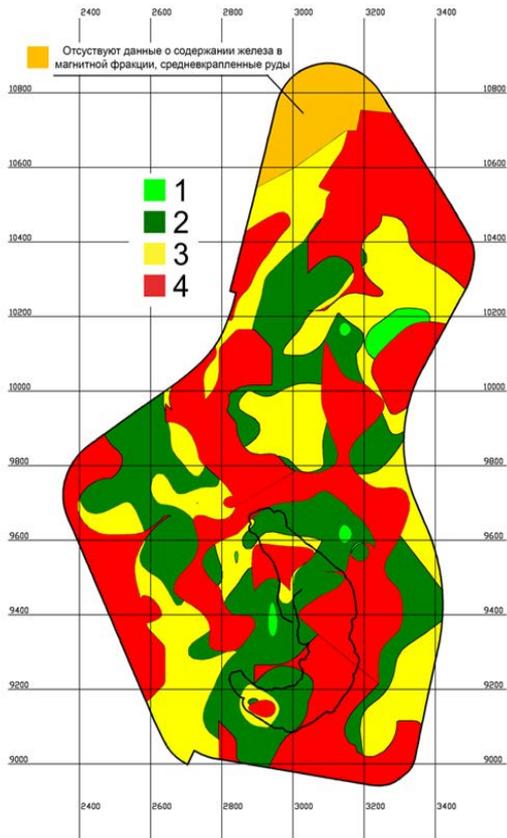


Рисунок 4.10 – Районирование титаномагнетитовых руд по размеру вкрапленности зерен

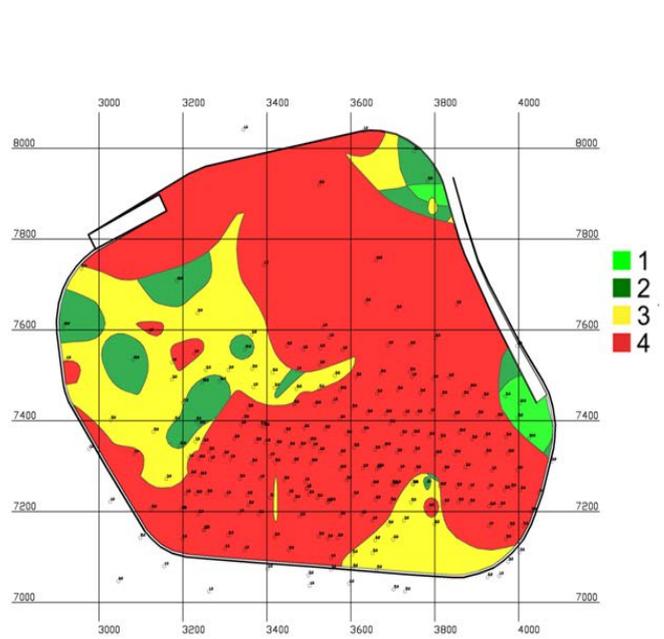
фракции проб) на гор.+160 м,  
Северный карьер



- 1 - Легкообогатимые
- 2 - Нормальнообогатимые
- 3 - Среднеобогатимые
- 4 - Труднообогатимые
- Оранжевый - Средневкрапленные

Рисунок 4.11 – Районирование титаномагнетитовых руд по комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности): гор.+160 м, Северный карьер

титаномагнетита на гор.+160м,  
Северный карьер



- 1 - Легкообогатимые
- 2 - Нормальнообогатимые
- 3 - Среднеобогатимые
- 4 - Труднообогатимые

Рисунок 4.12 – Районирование титаномагнетитовых руд комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности): гор. +55 м, Главный карьер

Таблица 4.4 – Показывает соотношения между различными типами руд по обогатимости на Северном карьере, гор. +160 м. и отражает классификационные критерии комплексного показателя обогатимости

Цвет	№	Наименование	Категория вкрапленности	по	Содержание железа в маг. фракции, %	%	S	V
	1	Легкообогатимые	крупновкрапленные		>64,4	1,1	14589,2	218838,63
	2	Нормальнообогатимые	крупно- средневкрапленные	(или (или >64,4)	62,61-64,4 (или >64,4)	26,4	356297,5	5344461,9
	3	Среднеобогатимые	средневкрапленные		62,61-64,4	25,7	346677,3	5200159,2
	4	Труднообогатимые	мелко-, тонко- и дисперсновкрапленные		<62,6	42,3	572023,5	8580352,4
		Средневкрапленные	Средневкрапленные		Нет данных	4,6	61478	922170,35

Статистическая обработка данных и 3D-моделирование показали возможность геометризации отрабатываемого месторождения с выделением нормальнотитанистой и низкотитанистой разновидностей руд, что в свою очередь свидетельствует о реальной технологической возможности организации их раздельной добычи.

Выполненное районирование малотитанистых и нормальнотитанистых руд в пределах Главной и Северной залежи Гусевогорского месторождения с учетом предельного (минимального) содержания  $TiO_2$  по граничным вариантам 1,1, 1,2%, 1,3%, 1,4% (рис. 4.13), свидетельствует о том, что на обследованных горизонтах нормальнотитанистые руды локализованы на Северном карьере – в северо-восточной его части, а на Главном карьере распространены повсеместно, за исключением северо-западного участка.

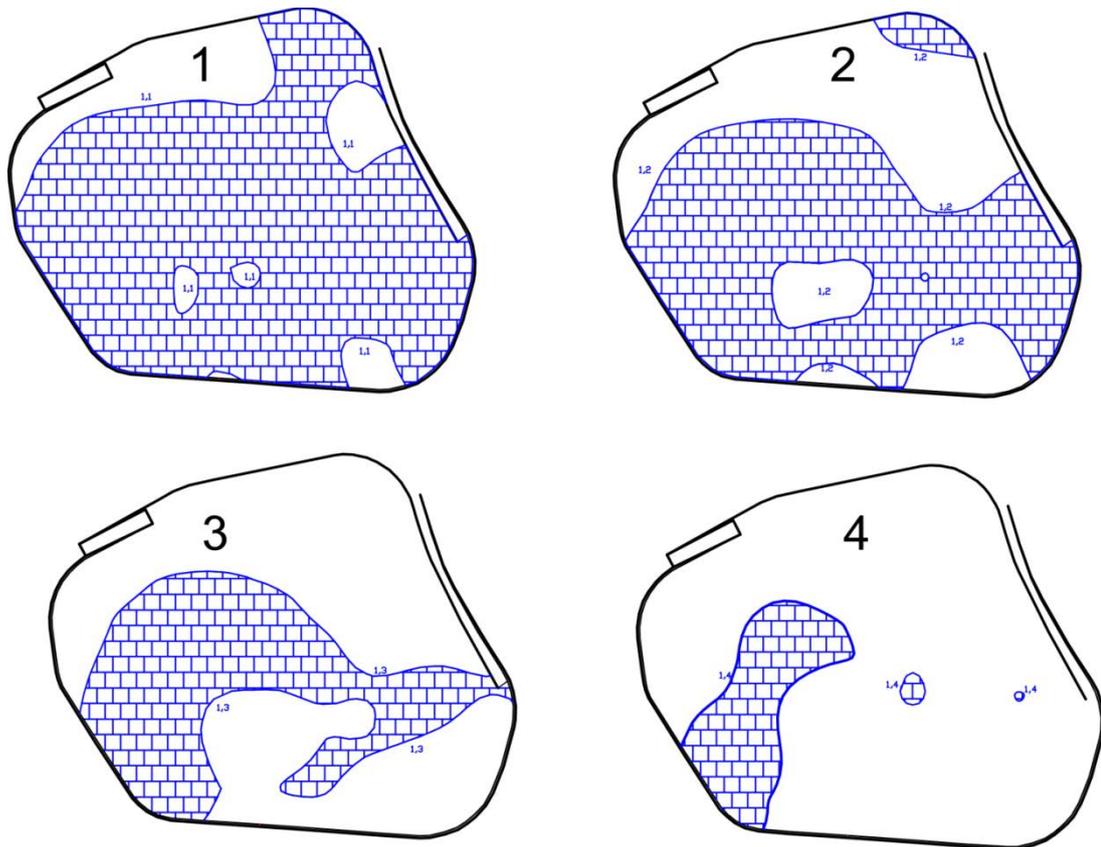


Рис. 4.13 – Размещение «нормальнотитанистых» руд границах Главного карьера (гор. + 55м; содержание титана: 1 - 1,1%, 2 - 1,2%, 3 - 1,3%, 4 - 1,4%)

Повышение содержания титана в рудах для Северного карьера ориентировано на северо-восток (рис. 4.14), а для Главного карьера – на юго-запад, при этом размещение разновидностей руд и соотношение их запасов на обследованных горизонтах достаточно неравномерно (табл. 4.5).

Анализ логистики перемещения рудных потоков по обогатительной фабрике (от приёмных бункеров корпуса ККД до склада концентрата) показал, что на обогатительной фабрике КГОКа имеется принципиальная возможность отдельной переработки двух рудных потоков при условии выполнения реконструкции, связанной с перераспределением потоков руды по конвейерам и бункерам.

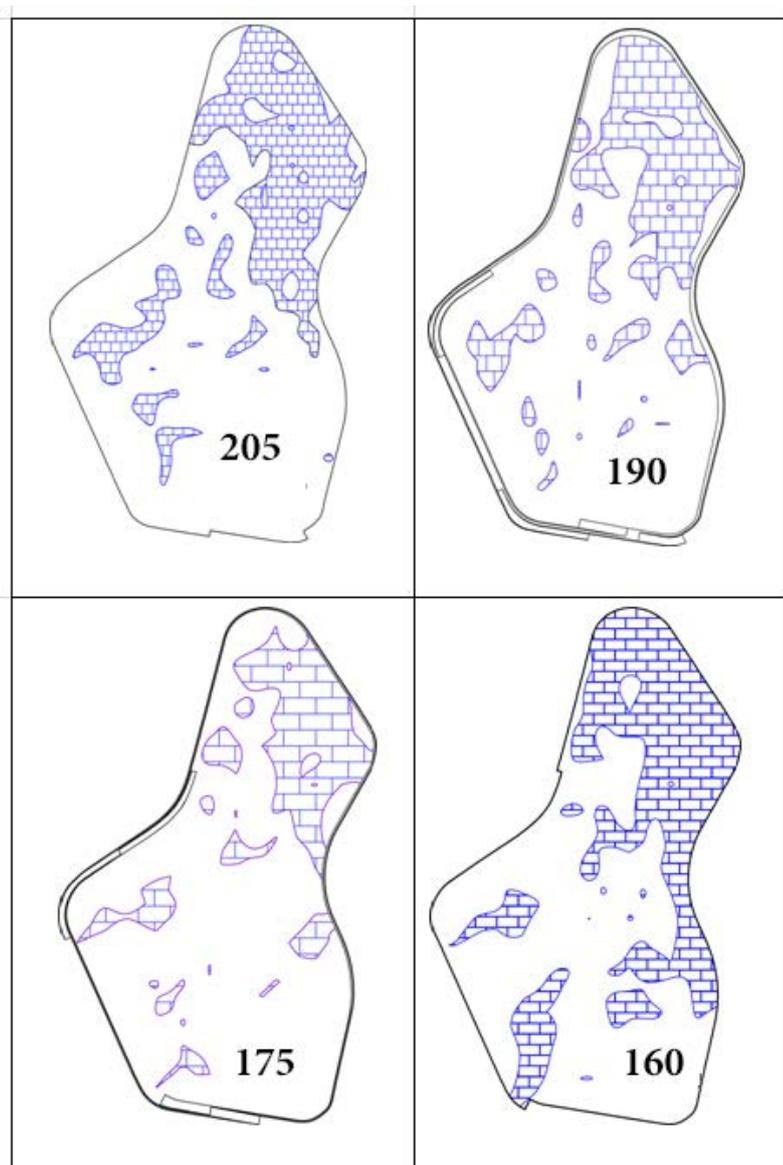


Рисунок 4.14 – Нормальнотитанистые руды на рабочих горизонтах Северного карьера ОАО "ЕВРАЗ КГОК"

Основное оборудование и схема обогащения при этом не изменяются, а рудные потоки нормальнотитанистой и преимущественно малотитанистой руды перерабатываются на разных технологических секциях. Концентраты, полученные из обоих типов руд, могут быть усреднены стандартным способом – в сборных зумпфах, в сгустителях, на сборных конвейерных трактах разгрузки вакуум-фильтров и складах концентратов.

Таблица 4.5 – Соотношение руд по типам по карьерам

Карьер	Доля руд по обогатимости (вкрапленность, содержание железа в магнитной фракции), %				Доля руд по разновидностям, %	
	Легкообогатимые	Нормально обогатимые	Средне обогатимые	Трудно обогатимые	Малотитанистые	Нормальнотитанистые
Северный	1,1	26,5	30,1	42,3	61,0	39
Главный	1,6	10,5	23,0	64,9	28,0	72

Данные таблиц 4.5 и 4.6 свидетельствуют также о том, что в условиях раздельной добычи и переработки титаномагнетитов объектом, системно обеспечивающим формирование рудопотоков заданного качества, является Северный карьер. При этом для перехода к раздельной добыче по типам руд необходимо будет выполнить ряд исследовательских и проектных работ, обосновывающих способы организации селективной отработки нормальнотитанистых и малотитанистых руд и их раздельного взрывания, изменения порядка отработки карьерного поля в связи с необходимостью формирования рудопотоков конкретного типа, поступающих на фабрику в корпуса крупного дробления при заданном соотношении руд по типам и т.п.

Основное оборудование и схема обогащения при этом не изменяются, а рудные потоки нормальнотитанистой и преимущественно малотитанистой руды перерабатываются на разных технологических секциях. Концентраты, полученные из обоих типов руд, могут быть усреднены стандартным способом – в сборных зумпфах, в сгустителях, на сборных конвейерных трактах разгрузки вакуум-фильтров и складах концентратов.

По результатам экспресс методики выполнен анализ распределения малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей руды, рекомендуется выделить их в разные технологические типы и перерабатывать отдельно. При этом суммарные технологические и экономические показатели раздельного обогащения природных типов руд будут выше показателей обогащения руды валовой добычи.

Таблица 4.6 – Соотношение нормальнотитанистых и малотитанистых руд на рабочих горизонтах Северного карьера ОАО "ЕВРАЗ КГОК"

Горизонт	НТ, %	МТ, %	НТ, м <sup>3</sup>	МТ, м <sup>3</sup>
205	29,8	70,2	465437	1096280
190	28,2	71,8	6024210	15320569
175	22,6	77,4	4642805	15927498
160	39	61	7910298	12355684,05
Ср. данные в %; Итого, м3	25,6	74,4	11132452 (11,1 млн м <sup>3</sup> )	32344347 (32,3 млн м <sup>3</sup> )

Результаты исследований показали, что малотитанистая разновидность руды по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жёсткость. Поэтому в действующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, при геометризации введен дополнительный параметр - предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

Предварительный анализ показал, что полученные в результате отдельной добычи и обогащения концентраты Гусевогорского месторождения в ближайшей перспективе целесообразно перерабатывать по схеме «доменная печь – конвертер». При замещении руд Западного карьера сырьём Собственно Качканарского месторождения объектом, системно обеспечивающим формирование рудопотоков заданного качества, становится Северный карьер.

### 4.3 Геоинформационное обеспечение планирования горных работ на примере карьеров АО «Карельский окатыш»

Разработка месторождений АО «Карельский окатыш» ведется 5-ю карьерами: Костомукшское месторождение – карьерами Центральный, Южный, Северный-2; Корпангское месторождение – карьером Западный; Южно-Корпангское месторождение – карьером Северный -3.

С 2014 г на АО «Карельский окатыш», с целью увеличения производительности и снижения потерь при переработке руды на ДОФ, реализована и применяется схема отдельного обогащения руд. По физико-механическим свойствам, структурно-текстурным особенностям, а также технологическим показателям руда разделяется на два типа: легкообогатимая руда - ЛОР (при обогащении на ДОФ получается концентрат более 70,2% Fe<sub>конц</sub>); труднообогатимая руда - ТОР (при обогащении на ДОФ получается концентрат 67,2% Fe<sub>конц</sub>).

К легкообогатимой относится руда Корпангского месторождения, Южно-Корпангского участка недр и Костомукшского месторождения с содержаниями Fe<sub>конц</sub> более 69%. К труднообогатимой – руда Костомукшского месторождения с содержаниями Fe<sub>конц</sub> менее 69% и руда с содержанием серы в концентрате свыше 0,4%.

На предприятии предусмотрено усреднение качества руды, которое осуществляется на перегрузочно-усреднительных складах и достигается смешиванием недробленной руды, поступающей одновременно из разных добычных забоев. Доставка руды из забоев карьера осуществляется автосамосвалами в соответствии со сменно-суточным заданием. Первичное межзобойное усреднение обеспечивает плановое значение магнетитового железа путем объединения массы руды из разных забоев в определенных пропорциях. Вторичное усреднение, осуществляемое на перегрузочном складе с последующей отгрузкой в железнодорожный транспорт.

Планирование горных работ на карьерах осуществляется непрерывно в программной среде продукта Geovia MineSched. Основой для планирования и проектирования горных работ является блочная модель месторождений.

При обосновании долгосрочной программы развития горных работ рассмотрено 4 варианта стратегии их развития различными объемами подачи рудной массы на ДОФ: 37/33/35/39 млн.т./год. При этом необходимо выдерживать соотношение ЛОР к ТОР: 60 на 40%.

В ходе выполнения работ с применением методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ:

- проанализированы блочные модели ГОКа по всем карьерам, планы горных работ и др. материалы (состав оборудования, качество руды и т.п.), по результатам которых выполнена оценка текущего состояния горных работ;

- разработаны матричные модели погоризонтных планов, осуществлено планирование горных работ и на их базе построены динамические блочные модели карьеров с учетом качественных характеристик и целевых объемов добычи по 4-м вариантам стратегии развития горных работ (добыча руды - 37, 33, 35 и 39 млн.т/год);

- выполнена многовариантная оценка развития горных работ в карьерах в рамках принятых стратегий;

Основой для апробации методики явились блочные модели месторождений, которые для реализации поставленной задачи были трансформированы в динамические матричные модели по каждому карьере.

Результаты моделирования по вариантам сравнивались:

- по объемам вскрышных пород в различные годы с возможностью разбить пиковые объемы вскрыши по годам,

- среднему содержанию и вариабельности качественных показателей.

Отмечена низкая изменчивость качественных показателей по всем карьерам (меньше 30%), что подтверждает действующие на предприятии подходы к управлению качеством – усреднение: в рудопотоках и на складах.

В связи с низкой изменчивостью качества и достаточно высоким для железорудных карьеров содержанием полезных компонентов для выбора направления развития горных работ более приоритетными являлись объемные характеристики, а именно объемы вскрышных пород, которые необходимо удалить из карьера, чтобы обеспечить план по руде. В то же время по Центральному и Западному карьере – где сосредоточены свыше 70% запасов, были определены тенденции к улучшению качества (снижение содержание серы в концентрате и увеличение железа магнитного) с глубиной разработки, что при варианте с большей производительностью по ГОКу незначительно повысило качество руды (таблицы 4.7-4.8).

Таблица 4.7 – Сравнение изменения содержания железа магнитного в запасах и объемах руд по ГОКу и вариантам стратегии

Железо магнитное, %				
Год	33	35	37	39
2022	23.82	23.84	23.97	23.97
2023	23.67	23.77	23.83	23.87
2024	23.39	23.59	23.78	23.91
2025	24.07	24.56	24.72	24.94
2026	24.44	24.62	24.62	24.69
2027	24.70	24.61	24.52	24.46
2028	24.61	24.57	24.52	24.79
2029	24.81	24.97	24.89	25.31
2030	25.81	25.89	25.75	25.72
2031	25.54	25.43	25.68	26.10
Остаток запасов в недрах	26.37	26.37	26.42	26.37

Таблица 4.8 – Сравнение изменения содержания серы в концентрате в запасах и объемах руд по ГОКу и вариантам стратегии

Сера в концентрате, %				
Год	33	35	37	39
2022	0.32	0.32	0.31	0.31
2023	0.26	0.26	0.26	0.27
2024	0.37	0.38	0.39	0.39
2025	0.40	0.39	0.38	0.35
2026	0.35	0.33	0.34	0.34
2027	0.37	0.37	0.36	0.37
2028	0.41	0.39	0.39	0.38
2029	0.41	0.39	0.39	0.39
2030	0.38	0.35	0.35	0.35
2031	0.33	0.33	0.32	0.32

Остаток запасов в недрах	0.31	0.31	0.31	0.31
-----------------------------	------	------	------	------

При апробации методики по каждому карьере были сделаны выводы касательно закономерностей его отработки. Например, на Центральном карьере анализ показал, что:

- основные запасы сосредоточены на горизонтах +25м ÷ -410 м (зона высотой 435 м, от поверхности глубина залегания зоны – 210 м);

- с глубиной отработки прогнозируется тенденция к улучшению качества руды. в т.ч. Fe<sub>маг</sub> с 17% на гор. +195 м до 27% на гор. -240 м ÷ -270 м, а также увеличивается объем балансовых запасов руды на горизонтах и сокращается объем вскрыши;

- вскрышные породы в основном сосредоточены в пределах горизонтов + 235 м ÷ -155 м (зона высотой 390 м); объем вскрыши в пределах зоны составляет – 240 млн. м<sup>3</sup> (>73% всей вскрыши в предельных контурах карьера).

После формирования матричных моделей и календарных планов по различным вариантам, базовые блочные модели были модифицированы в динамические (рис. 4.15). Для этого создавались пустые атрибуты отражающие принадлежность к календарному этапу планирования, значения изменчивости по участкам, а затем был импортирован модифицированный файл центроидов. После этого средствами ГГИС строились планы горных работ и производилось вскрытие.

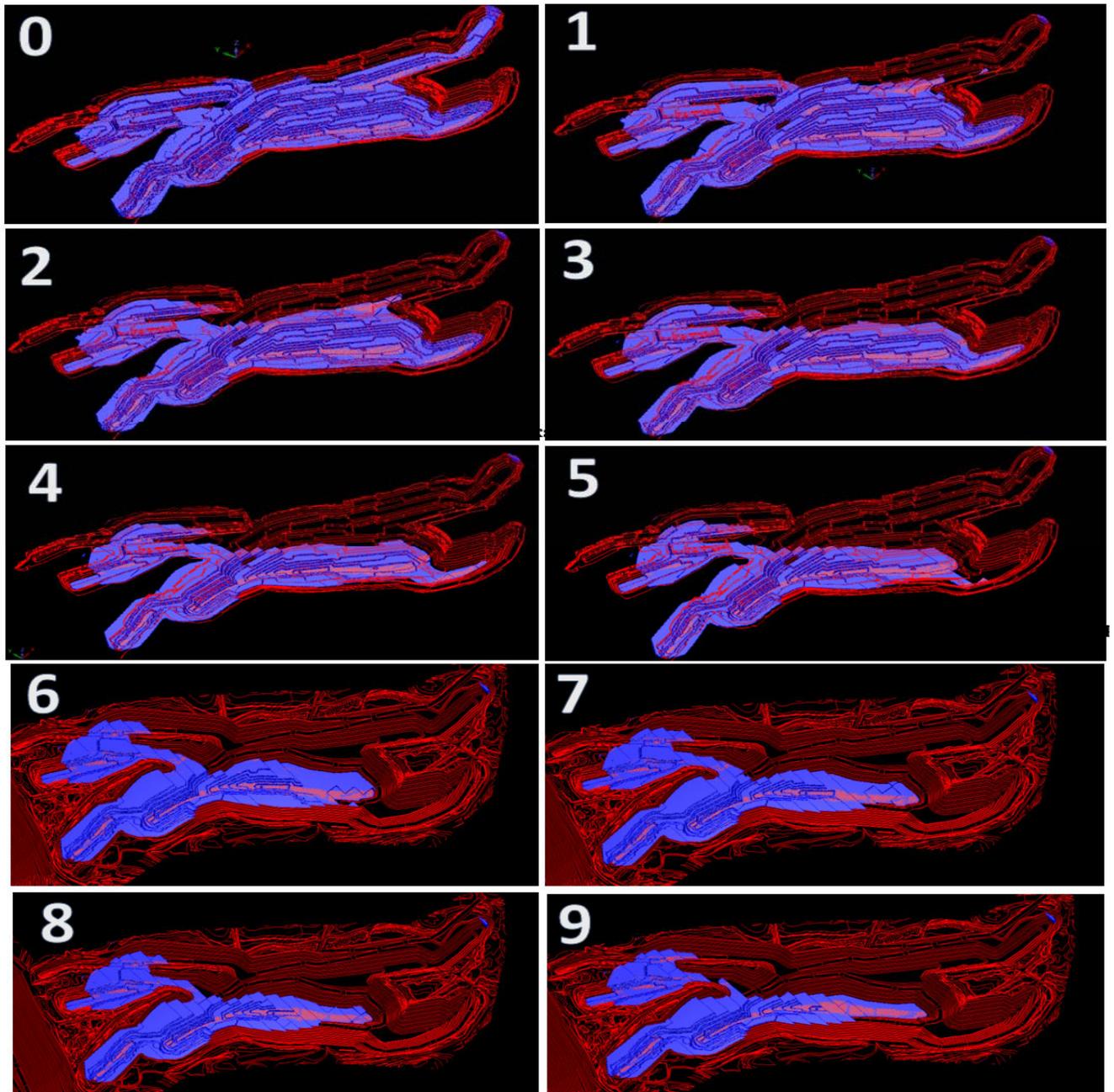


Рисунок 4.15 – Положения динамической блочной модели по годам

- разработаны календарные планы горных работ (месяц, год, 5-10 лет) по вариантам стратегий развития горных работ;

- построены планы горных работ в формате *str*, произведена оценка качественных характеристик руды по вариантам стратегии, выполнена оптимальная расстановка оборудования по карьерам.

В результате исследований установлено, что:

1) рассмотренные варианты стратегии развития ГОКа (подача рудной массы на ДОФ в размере 37, 33, 35 и 39 млн. т/год) могут быть реализованы;

2) все варианты обеспечивают примерно одинаковое соотношение технологических типов руд ЛОР и ТОР в пропорции 60% на 40%;

3) наиболее предпочтительным является базовый вариант стратегии развития горных работ (подача рудной массы на ДОФ в размере 37 млн. т/год) по следующим основаниям:

- обеспечивается наилучшее соотношение ЛОР и ТОР в пропорции 60% на 40% и добыча более качественной руды ( $> Fe_{\text{маг}}$  на 2%) с нижних горизонтов Южного, Западного и Северный 2- 3 карьеров;

- обеспечивается более низкий коэффициент вскрыши ( $< 0,1 \text{ м}^3/\text{т}$ ) относительно вариантов 33 и 35 млн. т/год и более рациональное использование парка горного оборудования по карьерам;

- по сравнению с вариантом 39 млн.т/год сокращается парк технологического оборудования и транспортная работа автотранспорта (на 47 млн. ткм за 10 лет),

- несколько снижается интенсивность ведения горных работ в карьерах.

Для последующей реализации рекомендован базовый вариант стратегии развития горных работ с подачей рудной массы на ДОФ в размере 37 млн. т/год.

Апробация методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ показала, возможность быстрой адаптации геологической блочной модели, имеющейся на предприятии и трансформации ее в систему взаимосвязанных динамических матричных моделей по каждому из карьеров, вовлеченных в процесс планирования отработки, что позволяет формировать интегральные и взаимоувязанные показатели разработки по объемам и качеству во времени разработки в учетом переменной интенсивности горных работ в каждом из карьеров.

#### **ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4:**

1. Апробация результатов исследований в различных условиях свидетельствует о том, что разработанные методики геоинформационного обеспечения оперирует унифицированными моделями, адаптируемыми к принятым на предприятиях ГГИС. Основная область адаптации сложных и разветвленных систем — разработанный подход к экспорту/импорту данных геологической базы данных и базовых блочных моделей, не нарушающий установленные пользователем алгоритмы планирования и работы с созданными предприятием информационными моделями.

2. Показано, что исследование и уточнение качественных показателей при экспресс-оценках оруденения оценивается совокупностью изогипс, каркасных и блочных моделей. При этом оно позволяет учитывать их изменчивость по глубине и в плане.

3. Геоинформационное обеспечение принятия решений при планировании обеспечивается моделированием поперечных, продольных и кольцевых систем разработки с вычислением во времени изменчивости качественных показателей рудной массы. Развитие рабочей зоны во времени обеспечивается учетом текущих и средних коэффициентов вскрыши, а также прогнозом качества по каждому варианту календарного плана.

4. Способы управления качеством извлекаемого минерального сырья выбираются исходя из долгосрочного и текущего прогноза колеблемости качественных показателей в недрах. Предлагаемая методика позволяет оценивать развитие горных работ по участкам рудного тела.

5. На основании оценки календарного распределения извлекаемых объемов руды и вскрыши с оценками среднего качества и его вариабельности определены подходы к расстановке выемочного оборудования по горизонтам карьера и в случае формирования годовой программы при наличии нескольких добычных единиц распределение экскаваторов между карьерами.

6. Формируемая динамическая основа расчетов для ускорения времени вычислений и анализа качественных показателей допускает изменение параметров

анализируемых участков и микроблоков начиная с размеров 100x100x15 (возможно более) заканчивая 5x5x5. Модификация исходных статических блочных моделей в динамические достигается не только за счет изменения размеров и конфигурации совокупности микроблоков, но и за счет ввода атрибутов: время, показатели вариации качества, участки, требующие специальных способов управления качеством.

7. Использование триангуляции поверхностей и на этой основе создание моделей изогипс позволило разработать применительно к условиям Эльгинского месторождения экспресс-методику оценки изменчивости качественных показателей энергетических свойств, коксуетности, а также потерь и засорения угольных пластов. Полученные сведения о позволили рекомендовать внедрение технологии предобогащения - грохочения угольной массы на местах ведения горных работ.

8. Результаты исследований на Гусевогорском и Собственно-Качканарском месторождениях титано-магнетитов показали, что малотитанистая разновидность руды по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жёсткость. Поэтому в действующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, при геометризации введен дополнительный параметр - предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

9. Апробация методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ показала, возможность быстрой адаптации геологической блочной модели, имеющейся на предприятии и трансформации ее в систему взаимосвязанных динамических матричных моделей по каждому из карьеров, вовлеченных в процесс планирования отработки, что позволяет формировать интегральные и взаимоувязанные показатели разработки по объемам и качеству во времени разработки в учете переменной интенсивности горных работ в каждом из карьеров.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований в работе представлено решение актуальной научно-практической задачи - разработана методика компьютерного моделирования динамики горных работ на основе оценки пространственного размещения качественных характеристик добываемого минерального сырья в недрах, обеспечивающая обоснование способов управления качеством рудной массы в процессе добычи, при проектировании и планировании горных работ.

**Основные научные результаты работы заключаются в следующем:**

1. Систематизация горно-геологических условий отработки крупнейших железорудных месторождений РФ позволила выделить 9 характерных групп со схожими морфологическими, качественными и гидрогеологическими особенностями, влияющими на эффективность реализации системы управления качеством.

2. Оценка изменчивости руд и рудоносности блоков заключается в расчете коэффициента вариации и коэффициента рудоносности. Обоснование подходов к управлению рудопотоками на участках карьера достигается изменением высоты выемочного слоя и шага подвигания горных работ, способа выемки, усреднения или предобогащения, осуществляемых на основании анализа изменчивости качества. При этом, выделяются участки, требующие предобогащения или выделения различных природных типов и сортов руд.

3. Показано, что автоматизированное планирование горных работ в режиме управления качеством минерального сырья обеспечивается созданием и использованием динамических матричных и блочных моделей, учитывающих морфологические особенности оруденения и объемно-качественные свойства полезных ископаемых. Предложенная методика районирования технологических типов руд в зависимости от масштаба оцениваемого объекта основана на построении моделей изогипс (экспресс-оценка объектов: уступ-блок), а также каркасных и блочных моделей при детальном анализе стратегии управления качеством.

4. Разработанные методики геоинформационного обеспечения оперирует унифицированными моделями, адаптируемыми к принятым на предприятиях ГГИС. Основная область адаптации сложных и разветвленных информационных систем — разработанный подход к экспорту/импорту данных геологической базы данных и базовых блочных моделей, не нарушающий установленные пользователем алгоритмы планирования и работы с созданными предприятием информационными моделями. Применение матричных моделей обеспечивает системную взаимоувязку порядка развития горных работ, мест выемки вскрыши и создания условий для поддержания рудных фронтов требуемой протяженности с учетом качества руд.

5. Формируемая динамическая основа расчетов для ускорения времени вычислений и анализа качественных показателей допускает изменение параметров анализируемых участков и микроблоков начиная с размеров 100x100x15 (возможно более) заканчивая 5x5x5. Модификация исходных статических блочных моделей в динамические достигается не только за счет изменения размеров и конфигурации совокупности микроблоков, но и за счет ввода атрибутов: время, показатели вариации качества, участки, требующие специальных способов управления качеством.

6. Подтверждена универсальность методики блочного моделирования качества полезного ископаемого, использование которой при геометризации и выявлении распределения сортовых закономерностей в недрах, способствуют разработке эффективных технологий рудоподготовки и обеспечению процесса планирования горных работ на разных этапах планового прогноза. При этом, селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3.

7. Использование алгоритма триангуляции и на этой основе создание моделей изогипс позволило разработать применительно к условиям Эльгинского месторождения экспресс-методику оценки изменчивости качественных показателей энергетических свойств, коксуемости, а также потерь и засорения угольных пластов. Полученные сведения о позволили рекомендовать внедрение

технологии предобогащения - грохочения угольной массы на местах ведения горных работ.

8. Результаты исследований на Гусевогорском и Собственно-Качканарском месторождениях титаномагнетитов показали, что малотитанистая разновидность руды по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жёсткость. Поэтому в действующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, при геометризации введен дополнительный параметр - предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

9. Апробация методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ показала, возможность быстрой адаптации геологической блочной модели, имеющейся на предприятии и трансформации ее в систему взаимосвязанных динамических матричных моделей по каждому из карьеров, вовлеченных в процесс планирования отработки, что позволяет формировать интегральные и взаимоувязанные показатели разработки по объемам и качеству во времени разработки в учете переменной интенсивности горных работ в каждом из карьеров.

Основные результаты исследований рекомендуются в качестве методической базы для совершенствования методики автоматизированных расчетов при планировании горных работ, адаптации осваиваемых новых и действующих программных средств на предприятиях и в проектных организациях, а также в учебном процессе при изучении студентами дисциплин, связанных с освоением информационных технологий в горном деле.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А – ЛИСТИНГИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

```
import numpy as np
import pandas as pd

#ввод исходных данных
path = 'D:\DiserTag\GLAsss.xls'
pastexp = 'D:\DiserTag\export.txt'

x1 = pd.ExcelFile(path)
x2= x1.parse('sample')
x3= x1.parse('skv')

grupx30= x2.groupby('Hole').agg(
    MaxRuda = pd.NamedAgg(column = 'FeRUD', aggfunc = 'max'),
    MinRuda = pd.NamedAgg(column = 'FeRUD', aggfunc = 'min'),
    CountRuda = pd.NamedAgg(column = 'FeRUD', aggfunc = 'count'),
    StdRuda = pd.NamedAgg(column = 'FeRUD', aggfunc = 'std'),
    MeanRuda = pd.NamedAgg(column = 'FeRUD', aggfunc = 'mean'),
)
df = pd.merge(x2,x3[['Hole','Z','X','Y','Профиль']],on='Hole', how='left')
df['From_Abs'] = df['Z']-df['От']
df['To_Abs'] = df['Z']-df['До']
df['Mochnost'] = df['From_Abs']-df['To_Abs']
#агрегация по координате X
Xa = np.around(df['X'].min())
Xq = np.around(df['X'].max())
L= 500
xhru = []
xxru = []
xlook = []
for g in np.arange(Xa,Xq+1,L):
    og = g+L
    # print(df.query('X < @og & X > @g or X < @og & X > @g'))
    xhru.append(df.query('X < @og & X > @g')['FeRUD'].values)
    xlook.append(df.query('X < @og & X > @g'))
    xxru.append(int(g))
#трансформация в фрейм результата
xzar = pd.DataFrame(xhru)
xzar.index= xxru
# #вычисления коэффициента вариации
xqi= xzar.agg('std', axis=1)
xqa= xzar.agg('mean',axis=1)
xqs= xqi/xqa
```

Рисунок А.1 – Фрагмент программного кода для оценки изменчивости качества  
вдоль координатных осей

```
#используемая библиотека
import pandas as pd
#легенда блочной модели
#X,Y,Z,classification_no,size (X), size(Y), size(Z),rock_code,fem,c_s,concentrate,c_feo,fem_idw,feo,feo_idw
#путь к блокам
path = '\Blocks.csv'
x2 = pd.read_csv(path, header=0)
#ввод исходных данных участков моделирования
xb= int(input("Введите начальную отметку участков по оси X: "))
xf= int(input("Введите конечную отметку участков по оси X: "))
yb= int(input("Введите начальную отметку участков по оси Y: "))
yf= int(input("Введите конечную отметку участков по оси Y: "))
zb= int(input("Введите нижнюю отметку участков по оси Z: "))
zf= int(input("Введите верхнюю отметку участков по оси Z: "))
sx= int(input("Введите шаг итерации оси X: "))
sy= int(input("Введите шаг итерации оси Y: "))
sz= int(input("Введите шаг итерации оси Z: "))
#определение объема
x2['Volume']= x2['size (X)']*x2['size(Y)']*x2['size(Z)']
#расчет необходимый для вычисления средневзвешенного содержания после группировки
x2['femfol'] = x2['fem']*x2['Volume']
#присвоение блокам категории по условиям
x2.loc[(x2['rock_code'] ==1) & (x2['fem'] >=17), 'Class'] = 'Руда'
x2.loc[(x2['rock_code'] ==1) & (x2['fem'] <17), 'Class'] = 'Руда требующая предобогачения'
x2.loc[x2['rock_code'] !=1, 'Class'] = 'Вскрыша'
#классификация блоков по моделируемому участкам
for i in range(zb,zf,sz):
    o = i+sz
    x2.loc[(x2['Z'] >=i) & (x2['Z'] <o), 'Gor'] = i
for i in range(xb,xf,sx):
    o = i+sx
    x2.loc[(x2['X'] >=i) & (x2['X'] <o), 'Xcat'] = i
for i in range(yb,yf,sy):
    o = i+sy
    x2.loc[(x2['Y'] >=i) & (x2['Y'] <o), 'Ycat'] = i
#сохранение исходных данных и расчет статистических оценок для атрибутивных данных (в примере железо магнитное)
at = x2.groupby(['Gor','Class','Xcat','Ycat',])[['Volume','femfol','fem']].agg(['mean','sum','std','unique','count','max','min','nunique'])
at.to_excel('gor.xlsx', engine='xlsxwriter',sheet_name = 'Orders')
```

Рисунок А.2 – Листинг модуля подготовки данных геоинформационного  
обеспечения планирования горных работ

```

from openpyxl import load_workbook
import string
import pandas as pd
import os
import fnmatch

root = '\\sever3'
pattern = '*.xlsx'
lupus = []

papk = ('\\VSK', '\\RUDA', '\\BRUD')

for uh in papk:
    roots = root+uh
    df = pd.DataFrame()
    lupus = []

    for folder, subdirs, files in os.walk(roots):
        for filename in fnmatch.filter(files, pattern):
            fullname = os.path.join(folder, filename)
            workbook = openpyxl.load_workbook(fullname)
            sheets_list = workbook.sheetnames
            sheet_active = workbook[sheets_list[0]]
            n = 1
            for i in range(2):
                for i in string.ascii_uppercase:
                    if n>26:
                        i= 'A'+i
                    if i != 'A':
                        for z in range(2,24):
                            buka = sheet_active[i+str(z)].fill.start_color.index
                            pustotka = sheet_active[i + str(z)].value
                            if pustotka != None:
                                if buka != '00000000':
                                    snak = sheet_active[i+str(z)].value
                                    ycor = sheet_active['A'+str(z)].value
                                    xcor = sheet_active[i+str(1)].value
                                    zcor = sheet_active['A1'].value
                                    lupa = (buka,xcor,ycor,zcor,snak,i+str(z),(uhpid[1:]))
                                    lupus.append(lupa)
                                n +=1
            df = pd.DataFrame(lupus, columns=['Color', 'X', 'Y', 'Z', 'Val', 'Ych', 'Class'])
            df.to_excel('\\Северный-3\\Result2'+ str(uh[1:]) + '.xlsx', engine='xlsxwriter', sheet_name='Orders', merge_cells=False, index=False)

```

Рисунок А.3– Фрагмент кода микропрограммы для формирования календарного плана по ГОКу

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чантурия, В. А. Инновационные процессы в технологиях переработки минерального сырья сложного вещественного состава / В. А. Чантурия // ГИАБ. – 2009. – № 12. – Т. 15. – С. 9-25.
2. Букринский, В. А. Практический курс геометризации недр / В. А. Букринский. – Москва : Недра, 1965. – 244 с.
3. Букринский, В. А. Характеристика изменчивости показателей месторождения / В. А. Букринский // Вопросы маркшейдерско – геологической службы горных предприятий : научные труды МВИ. – Москва, 1968. – 156 с.
4. Вилесов, Г. И. Методика геометризации месторождений / Г. И. Вилесов, А. Н. Ивченко, И. М. Диденко ; под общ. ред. проф. Г. И. Вилесова. – Москва : Недра, 1973. – 173 с.
5. Вилесов, Г. И. Упрощенный метод вычислений при горногеометрических работах / Г. Г. Вилесов // Известия вузов. Горный Журнал. – 1958. – № 12. – С. 48-56.
6. Гудков, В. М. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого / В. М. Гудков, А. А. Васильев, К. П. Николаев. – Москва : Наука, 1976. – 192 с.
7. Дремуха, А. С. Математические основы прогнозирования геологических показателей при добыче руд / А. С. Дремуха, В. В. Ершов // Научные основы создания высокопроизводительных комплексно–механизированных рудников : научные труды МГИ. – Москва, 1978. – С.132-136.
8. Кудряшов, Л. И. Геометризация и учет запасов месторождений твердых полезных ископаемых / Л. И. Кудряшов, В. И. Кузьмин. – Москва : Недра, 1981. – 276 с.
9. Рыжов, П. А. Геометрия недр / П. А. Рыжов. – Москва : Недра, 1964. – 500 с.

10. Гальянов, А. В. Теоретические предпосылки количественной оценки изменчивости показателей / А. В. Гальянов // Известия вузов. Горный журнал. – 1973. – № 1. – С. 33-44.

11. Гальянов, А. В. Расчет дисперсии показателей при объединении потоков / А. В. Гальянов, П. П. Бастан, С. В. Новоселова // Горнорудное производство. Разработка месторождений открытым способом : труды ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1976. – Вып. 49. – С. 3-6.

12. Гальянов, А. В. Рудоподготовка на карьерах / А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2000. – 426 с.

13. Гудков, В. М. Определение и использование характеристик изменчивости показателей. Месторождения полезных ископаемых / В. М. Гудков // Геология угольных месторождений : сборник. – Москва : Наука, 1969. – Т. 1. – С. 175-180.

14. Гуськов, О. Н. Математическое моделирование изменчивости геолого-разведочных параметров на примере золоторудного месторождения / О. Н. Гуськов, И. З. Массврман, Б. В. Гузман // Известия вузов. Серия геология и разведка. – 1975. – № 5. – С.104-112.

15. Ушаков, И. Н. Горная геометрия (геометрия недр) : [учебник для горных вузов и фак.]. / И. Н. Ушаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Госгортехиздат, 1962. – С. 459.

16. Brooker, P. I. Semi-Vacriogram estimation using a simulated deposit / P. I. Brooker // Mining Engineering. – 1983. – V. 35. – № 1. – P. 37-42.

17. Matheron, G. Les variables régionalisées et leur estimation / G. Matheron. – Paris : Masson, 1965. – 306 p.

18. Матерон, Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж. Матерон ; [пер. с фр. Ю. В. Рощина ; под ред. и с предисл. д-ра геол.-мин. наук Д. Я. Суражского и канд. техн. наук А. М. Марголина ; послесл. канд. техн. наук А. М. Марголина]. – Москва : Мир, 1968. – 407 с. – (Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии; [Т. 12]).

19. Давид, М. Геостатические методы при оценке запасов / М. Давид ; пер. с англ. О. А. Лутковской. – Ленинград : Недр : Ленингр. отд-ние, 1980. – 360 с.

20. Трофимов, А. А. Основы горной геометрии / А. А. Трофимов. – Москва : Изд. Московского ун-та, 1980. – 224 с.
21. Францкий, И. В. Математическая статистика и геометризация месторождений / И. В. Францкий, Г.А. Базанов. – Иркутск, 1975. – 251 с.
22. Калинин, В. М. Геометрия недр : учебник. Ч. 1: Теоретические основы геометрии недр / В. М. Калинин, В. В. Руденко ; ред. В. М. Калинин ; Юж.– Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – 2014. – 354 с.
23. Васильев, М. В. Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд / М. В. Васильев. – Москва : Недра, 1968. – 182 с.
24. Зарайский, В. Н. Усреднение руд / В. Н. Зарайский, К. П. Николаев, К. В. Казанский. – Москва : Недра, 1975. – 295 с.
25. Бастан П. П. Теория и практика усреднения руд / П. П. Бастан, Е. И. Азбель, Е. И. Ключкин. – Москва : Недра, 1979. – 255 с.
26. Адигамов, Я. М. Нормирование запасов руды по степени подготовленности к добыче / Я. М. Адигамов, В. Н. Зарайский. – Москва : Недра, 1978. – 264 с.
27. Зарайский, В. Н. Усреднение железорудного сырья на предприятиях черной металлургии и направления его совершенствования / В. Н. Зарайский, Г. В. Шавинский // Горный журнал, 1982. – № 2. – С. 13-16.
28. Ломоносов, Г. Г. Формирование качества руды при открытой добыче / Г. Г. Ломоносов. – Москва : Недра, 1975 – 224 с.
29. Гальянов, А. В. Оценка гомогенности при смешивании кускового рудного материала / А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 1998 – 179 с.
30. Школьников, А. Д. Эффективность усреднения фосфорного сырья перед обогащением (на примере комбината «Каратау») / А. Д. Школьников, Е. И. Азбель, А. П. Панчишкин // Записки Горного института, 1975. – Т. 68. – № 1. – С. 101–104.
31. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / В. И. Ревнивцев, Е. И. Азбель, Е. Г. Баранов, В. М. Изойтко, Е. И. Крапивский, М. И. Кротков, Е. П. Леман, А. С. Петров. – Москва : Недра, 1987 – 307 с.

32. Секисов, Г. В. Рациональное использование недр при открытой разработке рудных месторождений / Г. В. Секисов. – Фрунзе : Илим, 1976, 204 с.
33. Школьников, А. Д. Управление качеством минерального сырья / А. Д. Школьников, Е. И. Азбель // Горный журнал. – 1973. – № 2. – С. 38–40.
34. Гудков, В. М. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого / В. М. Гудков, А. А. Васильев, К. П. Николаев. – Москва : Наука, 1976. – 192 с.
35. Грачев, Ф. Г. Управление качеством сырья на горнорудных предприятиях / Ф. Г. Грачев. – Москва : Недра, 1977. – 208 с.
36. Овсейчук, В. А. Оптимизация качества товарных руд при разработке урановых месторождений / В. А. Овсейчук, А. А. Решетников, В. А. Пшенников // Горный журнал. – 1999. – № 12. – С. 37-38.
37. Яковлев, В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск : Наука СО, 1989. – 280 с.
38. Козырин К. А. Практика усреднения руд / К. А. Козырин // Горный журнал. – 1953. – № 2.–С. 32-34.
39. Дженике, Э. В. Складирование и выпуск сыпучих материалов / Э. В. Дженике. – Москва : Мир, 1968. – 164 с.
40. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых Текст . / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – Москва : Недра, 1980. – 415 с.
41. Бызов, В. Ф. Управление качеством продукции карьеров / В. Ф. Бызов. – Москва : Недра, 1991. – 239 с.
42. Еременко, Ю. И. Показатели усреднения качества руды на железорудных карьерах / Ю. И. Еременко, В. В. Антонов // Сборник трудов Международной научно–практической конференции ИНФОКОМ–2007. – СПб, 2007. – С. 39-44.
43. Корнилков, С. В. Технологические аспекты разработки месторождений глубокими карьерами / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Глубокие карьеры : сборник докладов Всероссийской научно-техн. конф. с международ. участием 18 - 22 июня 2012 г. / ГоИ КНЦ РАН. – Апатиты; СПб, 2012. – С. 38-52.

44. Порцевский, А. К. Управление качеством рудной массы на открытых горных работах. / А. К. Порцевский. – Москва : Изд-во МГГА им. Серго Орджоникидзе, 1998. – 50 с.

45. Аленичев, В. М. Основные этапы построения математической модели месторождения / В. М. Аленичев, А. А. Старков // Известия вузов. Горный журнал. – 1980, № 5. – С. 23-28.

46. Ржевский, В. В. Использование ЭВМ для планирования и управления технологическими процессами на карьерах / В. В. Ржевский, А. Д. Школьников, С. Д. Коробов. – Москва : ЦНИИТЭИ угля, 1965. – 267 с.

47. Хохряков, В.С. Проектирование карьеров : [учебник для вузов по спец. "Технология и комплекс. механизация открытой разраб. месторождений полез. ископаемых"] / В. С. Хохряков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1980. – 336 с.

48. Хохряков В.С. Аналитическое исследование режима горных работ карьера с применением вычислительных машин / В. С. Хохряков, А. Ф. Ткачев // Известия вузов. Горный журнал. – 1964. – № 1. – С. 36-44.

49. Выбор оптимального режима горных работ для карьера Ингулецкого горнообогатительного комбината / А. К. Полищук, В. Г. Близнюков, Н. Д. Бевз [и др.] // Разработка рудных месторождений : сборник. – Киев : Техника. – Вып. 9. – 1970. – С. 33-38.

50. Научные основы проектирования карьеров / ред. В. В. Ржевский. – Москва : Недра, 1971. – 598 с.

51. Ржевский, В. В. Исследование электронных вычислительных машин для подсчета объемов горных работ / В. В. Ржевский, С. Д. Коробов // Горный журнал. – 1963. – № 10. – С. 3-8.

52. Табакман, И. Б. Управление горнотранспортными работами на карьерах / И. Б. Табакман, Г. М. Абидов, С. Р. Ризаев. – Ташкент : Фан, 1977. – 152 с.

53. Резниченко, С. С. Пути совершенствования планирования открытых горных работ / С. С. Резниченко, Г. И. Багрова // Сборник научных трудов 1 Московский горный институт. – Москва : МШ, 1980. – С.81-84.

54. Арсентьев, А. И. Критерии оценки оптимальности направления развития горных работ в карьерах / А. И. Арсентьев // Записки горного института. – 1972. – Т. LXIII; Вып.1. – С. 14-19.

55. Близнюков, В. Г. Определение максимальной производительности карьера при установленном режиме горных работ / В. Г. Близнюков // Разработка рудных месторождений : Республиканский межведомственный науч.–технич. сборник. – Киев, 1975. – Вып. 19. – С. 11–18.

56. Васильев, М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев. – Москва : Наука, 1972. – 199 с.

57. Автоматизированное проектирование карьеров / В. С. Хохряков, С. В. Корнилков, Г. А. Неволин, В. М. Каплан. – Москва: Недра, 1985. – 263с.

58. Наговицын О.В. Автоматизированное планирование открытых горных работ / О.В. Наговицын, А.Ю. Алисов, К.П. Гурин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2014 – № 9 (1377). С. 19-23.

59. Капутин, Ю. Е. Геостатистика в горно–геологической практике / Ю. Е. Капутин, А. И. Ежов, С. Хенли ; Рос. АН, Кол. науч. центр, Горн. ин-т. – Апатиты : КНЦ РАН, 1995. – 188 с.

60. Шаклеин, С. В. Количественная оценка достоверности геологических материалов угольных месторождений / С. В. Шаклеин. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2005. – 243 с.

61. Юматов, Б. П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов / Б. П. Юматов, Б. Н. Смирнов. – Москва : Недра, 1973. – 192 с.

62. Медведев, М. Л. Определение направления углубки в карьерном поле по принципу предельной стабильности качества руды / М. Л. Медведев, Н. И. Кишкин // Проектирование открытой и подводной разработки месторождений. – Ленинград, 1982. – С. 59-62.

63. Близнюков, В. Г. Проектирование горных работ на карьерах при переменном качестве и комплексной разработке полезных ископаемых / В. Г. Близнюков // Известия вузов. Горный журнал. 1982. – № 8. – С. 22-25.

64. Аленичев, В. И. Применение ЭВМ при оперативном планировании добычных работ повышение качества сырой руды / В. И. Аленичев, В. И. Худяков, Л. В. Шашлурич // Горный журнал. – 1984. – № 1. – С. 21-24.

65. Полищук, Г. К. Эвристический алгоритм оперативного планирования добычи руд на карьерах / Г. К. Полищук, Н. И. Горлов // Разработка рудных месторождений. – Киев, 1984. – № 37. – С. 34-39.

66. Pildes, R. Forecasting and planning / R. Pildes, D. Wood // Parnborough. – 1978. – p. 203.

67. Rendu, J. M. A new geostatistical model for the estimation of coal deposits and of the sedimentary deposits / J. M. Rendu, M. David // 16th. Intern. Symp. on the application of computer and operations research in the mineral Industry. – New York, 1979. – p. 182–195.

68. Месторождения полезных ископаемых : учебник / В. А. Ермолов, Г. Б. Попова [и др.]. – Москва : Горная книга, 2009. – 570 с.

69. Смирнов, В. И. Геология полезных ископаемых / В. И. Смирнов. – Москва : Недра, 1982. – 672 с.

70. Ясковский, П. П. Горно–геологические условия при оценке месторождений / П. П. Ясковский. – Москва : МГГА, 2001. – 37 с.

71. Хохряков, В. С. Проектирование карьеров / В. С. Хохряков. – Москва : Недра, 1992. – 383 с.

72. Орлова, В. П. Железорудная база России / В. П. Орлова, М. И. Верегина, Н. И. Голипкина. – Москва : ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 842 с.

73. Валуев, А. М. Численный метод решения задач дискретного оптимального управления со смешанными ограничениями : диссертация ... кандидата физико–математических наук : 01.01.07 / Валуев Андрей Михайлович. – Москва, 1983. – 182 с.

74. Васильев, Г. А. Моделирование и разработка методов управления комплексами работ в природно–экономических системах с минерально–сырьевыми ресурсами (на примере карьеров) : диссертация ... кандидата

технических наук : 05.13.10 / Васильев Геннадий Александрович. – Ташкент, 1984. – 144 с.

75. Беспалько, В. А. Исследование и разработка скоростных автоматизированных систем преобразования сигналов в лазерной анемометрии : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Беспалько Владимир Алексеевич. – Рига, 1980. – 216 с.

76. Чан Хыу Дыонг Установление режима горных работ угольных разрезов Вьетнама : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.03 / Чан Хыу Дыонг. – Кривой Рог, 1984 – 208 с.

77. Лукидия, Лукомбо Разработка метода динамической геометризации меднорудных месторождений для формирования качества руд при подземной добыче : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.01 / Лукидия Лукомбо. – Москва, 1984. – 145 с.

78. Максимов, И. И. Прогноз эрозионных процессов, техника и технология для обработки склоновых земель : диссертация ... доктора технических наук : 05.20.01 / Максимов Иван Иванович. – Чебоксары, 1996. – 359 с.

79. Лаврентьев, И. Г. Разработка методики оценки горно–геологической сложности на основе геометризации рудных месторождений для рациональной их отработки : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.01 / Лаврентьев Игорь Глебович. – Москва, 1984. – 165 с.

80. Отгонбилэг, Шагдарын Управление стабилизацией качественных показателей руд месторождения Эрдэнэтийн–Овоо при планировании добычных работ : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.01 / Отгонбилэг Шагдарын. – Москва, 1984. – 153 с.

81. Городниченко, В. И. Основы горного дела : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Горное дело" (квалификация - бакалавр техники и технологии) и по специальности "Физические процессы горного или нефтегазового производства" направления подготовки "Горное дело" / В. И. Городниченко, А. П. Дмитриев. – Москва : Горная кн. : Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2008. - 455 с.

82. Изоитко, В. М. К вопросу о геолого–минералогической основе технологической классификации сплошных и вкрапленных руд Норильского района / В. М. Изоитко, Н. Л. Шалыгина // Обогащение руд. – 1983. – №. 2. – С. 28-32.

83. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям железных руд : утв. ГКЗ СССР (Гос. комис. по запасам полез. ископаемых) 23.11.82. – Москва : ГКЗ СССР, 1983. – 41 с.

84. Технологическое опробование месторождений цветных металлов в процессе разведки : Метод. руководство / М-во цвет. металлургии СССР. – Москва : М-во цвет. металлургии СССР, 1974. – 48 с.

85. Бастан, П. П. Усреднение руд на горнообогатительных предприятиях / П. П. Бастан, Н. Н. Болошин. – Москва : Недра, 1981. – 280 с.

86. Бастан, П. П. Смешивание и сортировка руд / П. П. Бастан, Н. К. Костина. – Москва : Недра. 1990. – 168 с.

87. Eliseo Clementini, Paolino Di Felice, and Peter van Oosterom A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction / Eliseo Clementini, Paolino Di Felice, and Peter van Oosterom // Third International Symposium, SSD'93, Singapore, June 23-25, 1993 / In David J. Abel and Beng Chin Ooi, editors, Advances in Spatial Databases Proceedings. – Singapore : Springer, 1993. – Vol. 692 of Lecture Notes in Computer Science. – P. 277–295.

88. Strobl, Christian Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM) / Christian Strobl. – URL: [https://giswiki.hsr.ch/images/3/3d/9dem\\_springer.pdf](https://giswiki.hsr.ch/images/3/3d/9dem_springer.pdf) (дата обращения: 20.05.2022).