

*На правах рукописи*



**Патачаков Игорь Витальевич**

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ  
КАРЬЕРА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2019

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, профессор  
***Юнаков Юрий Леонидович***

**Официальные оппоненты:** ***Бахаева Светлана Петровна***  
доктор технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т.Ф. Горбачева», кафедра маркшейдерского  
дела и геологии, профессор

***Свиридова Татьяна Валерьевна***  
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им Г.И. Носова», кафедра Про-  
мышленной экологии и безопасности жизнедея-  
тельности, доцент

**Ведущая организация:** Новационная фирма "КУЗБАСС-НИИОГР",  
г. Кемерово

Защита диссертации состоится «08» ноября 2019 года в 09:00 на заседа-  
нии диссертационного совета Д 212.099.23 в ФГАОУ ВО «Сибирский феде-  
ральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пр-т им. Газеты Крас-  
ноярский рабочий, 95, ауд. 200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет» и на сайте университета: [www.sfu-kras.ru](http://www.sfu-kras.ru).

Автореферат разослан «        » сентября 2019 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бондина Светлана Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Настоящий уровень развития открытых горных работ определяется освоением месторождений со сложными горнотехническими и горно-геологическими условиями, интенсификацией добычи в суровых климатических условиях. На открытых разработках сложноструктурных месторождений характерны увеличение глубины, сроков освоения карьеров, интенсификация и концентрация горных работ, а также появление высокопроизводительной техники и высокотехнологичных способов ведения последних. Разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий привело к возникновению большого количества способов расчета устойчивости карьерных откосов. Поэтому при решении задач устойчивости выбор оптимальной расчетной схемы, соответствующей конкретным условиям и обеспечивающей необходимую точность результата, выступает важнейшей задачей.

Безопасная и экономически эффективная разработка сложноструктурных месторождений обусловлена правильностью определения конструктивных параметров бортов карьера, которые зависят от степени достоверности определения физико-механических характеристик, структурно-тектонических особенностей горных пород, механизма деформирования откосов, а также правильности выбора методов расчета устойчивости и мероприятий по ее (устойчивости) обеспечению на всех стадиях освоения месторождений. Наиболее крупные сложноструктурные месторождения находятся в Сибири, где преобладают суровые климатические условия с минимальными температурами в декабре-январе до минус 60 °С и максимальными в июле до плюс 45 °С, зима длинная, с большим количеством снегопадов, а лето короткое, с ливнями. Именно для таких условий необходимо проанализировать современный уровень развития и предложить решения для определения устойчивых параметров карьерных откосов.

**Цель диссертационной работы** – повышение эффективности и безопасности разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых в суровых климатических условиях.

*Идея работы* заключается в том, что для повышения эффективности и безопасности разработки месторождения, параметры бортов карьера следует определять в соответствии с пространственной изменчивостью прочностных свойств и структурных особенностей массива.

### **Основные задачи исследования:**

- анализ факторов, определяющих устойчивость и рациональные параметры карьеров;
- изучение причин нарушения устойчивости карьерных массивов в суровых климатических условиях;
- проведение лабораторных исследований по изучению прочностных свойств сложноструктурных месторождений;
- исследование пространственной изменчивости прочностных и структурных особенностей массивов;

– обоснование расчетных схем, соответствующих условиям разработки.

**Методы исследований:**

- обобщение и анализ результатов научных и инженерных изысканий;
- лабораторные и натурные испытания с использованием инженерно-геологических, гидрогеологических и маркшейдерско-геодезических методов;
- численно-аналитические и графоаналитические расчеты с использованием методов предельного равновесия.

**Научная новизна:**

1. Выявлена пространственная изменчивость прочностных свойств и структурных особенностей массивов горных пород сложноструктурных месторождений в суровых климатических условиях.

2. Установлена динамика временной устойчивости бортов карьеров на разных стадиях их формирования в увязке с механизмом развития геомеханических процессов при разработке сложноструктурных месторождений.

3. Получены зависимости для расчета предельных параметров откосов бортов карьеров с учетом пространственной изменчивости прочностных характеристик массива пород.

4. Обоснован численный критерий оценки устойчивости уступов карьера по вероятности их деформирования.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Рациональную конструкцию борта карьера для разработки сложноструктурного месторождения в суровых климатических условиях следует определять на основе выбора геомеханической модели массива, адекватной условиям разработки, и использования численно-аналитических методов расчета устойчивых параметров бортов карьера.

2. Для увеличения эффективности открытой разработки сложноструктурного рудного месторождения в суровых климатических условиях необходимо принимать конструкцию бортов карьера, рациональные параметры которых учитывают пространственную изменчивость физико-механических и структурных особенностей массива месторождения.

3. Повышение безопасности разработки сложноструктурных месторождений в суровых климатических условиях возможно за счет конструкции борта карьера и системы его мониторинга, позволяющих контролировать проявления деформационных процессов для прогнозирования устойчивости.

**Практическая значимость работы.** Построены номограммы для оперативного определения конструктивных параметров откосов бортов карьеров с учетом прочностных свойств массивов и их пространственной изменчивости. Предложены методы контроля и прогноза состояния и свойств карьерных массивов, позволяющие управлять параметрами бортов карьера в период проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации, а также обеспечивающие промышленную и экологическую безопасность горных работ в суровых климатических условиях.

**Реализация результатов работы.** Полученные результаты использованы в проектах разработки следующих месторождений: «Горевское»; «Эльдорадо»; «Кия-Шалтырское»; «Мазульское».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались на следующих конференциях: X Юбилейная Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященная 80-летию образования Красноярского края «Молодежь и наука» (г. Красноярск, 2014); международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив свободный – 2015», посвященная 70-летию Великой победы; международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив свободный – 2017»; XXVII Международный симпозиум «Неделя горняка – 2019», а также на научных семинарах кафедр «Маркшейдерское дело» и «Открытые горные работы».

**Личный вклад автора.** Автор самостоятельно выбрал и обосновал тему диссертационного исследования, сформулировал его цель и задачи, выполнил анализ научно-технической литературы, провел лабораторные и натурные эксперименты, обработал и интерпретировал их результаты, выбрал и обосновал расчетные модели, выполнил расчеты устойчивости, установил зависимости для расчета параметров бортов карьера и написал текст диссертации.

**Публикации.** Основное содержание работы отражено в 9 публикациях, из них 5 аннотированы ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и приложений. Текстовая часть объемом 221 страница печатного текста содержит 120 рисунков, 41 таблицу, список использованных источников из 140 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору, канд. техн. наук Ю.Л. Юнакову, профессору, д-ру техн. наук А.И. Косолапову и профессору, д-ру техн. наук П.С. Шпакову за неоценимую помощь в работе над диссертацией. Автор благодарен сотрудникам кафедр «Маркшейдерское дело» и «Открытые горные работы» за ценные замечания при обсуждении и апробации квалификационной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе* рассмотрено состояние изученности вопросов обеспечения устойчивости бортов карьеров, обоснованы критерии их устойчивости, показана необходимость достоверности знаний о физико-механических свойствах горных пород, структурно-тектонических особенностях массивов, механизме деформирования откосов и мероприятий по обеспечению устойчивости при обосновании конструкции и параметров откосов уступов и бортов карьера на всех стадиях разработки.

*Во второй главе* проанализированы методы определения физико-механических свойств горных пород, обоснованы расчетные прочностные характеристики пород для карьеров, расположенных в суровых климатических условиях, приведены результаты исследований физико-механических свойств

пород по данным лабораторных испытаний, а также полученные методом обратных расчетов оползней Горевского свинцово-цинкового месторождения.

**В третьей главе** рассмотрены методики изучения структурно-тектонических особенностей прибортовых массивов карьеров и приведены результаты натуральных исследований соответствующих месторождений. Выявлены основные системы трещин, влияющие на устойчивость откосов при обосновании конструкции и параметров уступов и бортов карьеров.

**В четвертой главе** изучено современное состояние откосов уступов и бортов карьеров, а также показаны причины деформирования откосов карьеров при разработке соответствующих месторождений.

**В пятой главе** предложена методика расчета устойчивых параметров откосов уступов и бортов карьеров для сложноструктурных массивов месторождений в суровых климатических условиях. Обоснованы прочностные свойства массива горных пород и выполнены расчеты устойчивых параметров откосов карьеров Кия-Шалтырского (КШНР), Эльдорадо, Горевского и Мазульского. Исследовано влияние погрешности определения прочностных характеристик на параметры устойчивости бортов карьера. Получены уравнения для определения углов и высоты откосов с учетом прочностных свойств массивов. Разработаны рекомендации по формированию конструкции нерабочих бортов карьера.

**В шестой главе** рассмотрен вопрос геолого-маркшейдерского мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов и предложена концепция геомеханического мониторинга последних при разработке сложноструктурных месторождений.

**В седьмой главе** представлены данные апробации результатов проведенных исследований применительно к условиям Горевского свинцово-цинкового месторождения.

**Основные результаты проведенных исследований отражены в ниже приведенных защищаемых положениях.**

Анализ факторов, оказывающих влияние на конструкцию бортов карьера, показал, что наиболее значимы контурный коэффициент вскрыши, запасы полезного ископаемого в контуре карьера, конечная глубина карьера, размеры по дну, угол наклона на предельном контуре, объем горной массы в контуре карьера, границы карьера на уровне дневной поверхности и вид транспорта. При этом уменьшение угла откоса увеличивает затраты на вскрышные работы, а рост повышает вероятность нарушения устойчивости уступов и бортов карьеров (рис. 1).

Вместе с тем, в условиях разработки сложноструктурных месторождений Сибири необходимо учитывать влияние на указанные параметры климатических условий, которые интенсифицирует процессы выветривания и трещинообразования, воздействуя на физико-механические свойства массива горных пород.

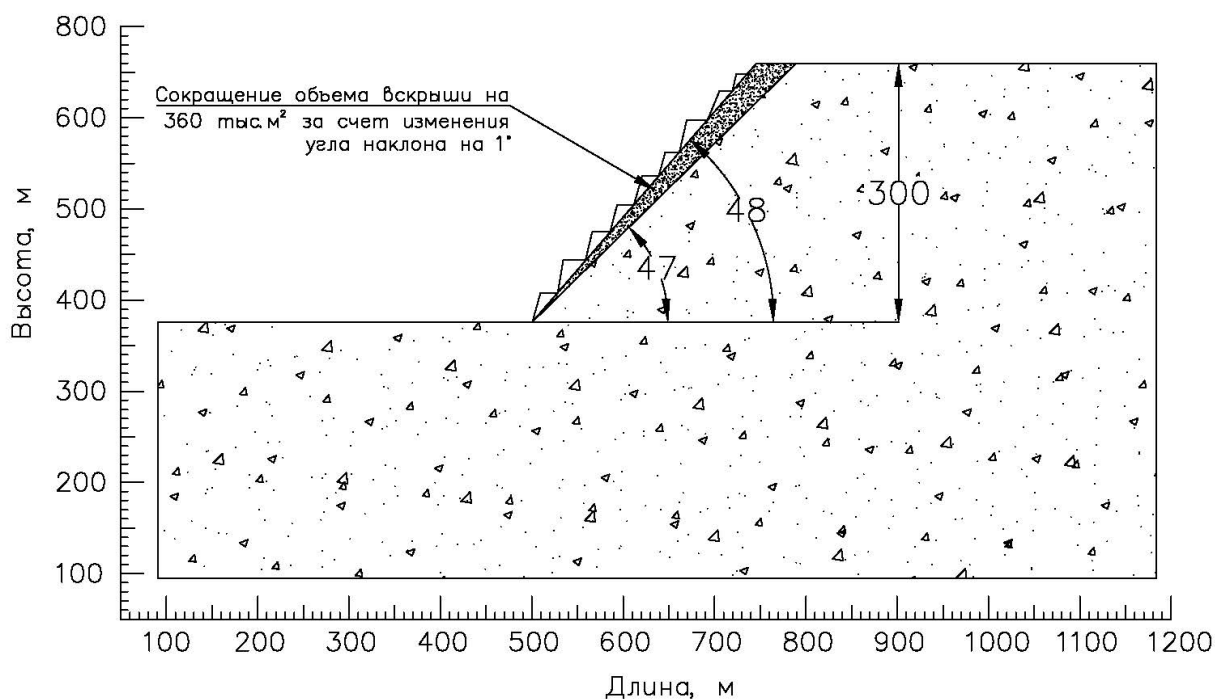


Рисунок 1 – Иллюстрация возможности сокращения объема вскрышных работ за счет изменения угла откоса борта карьера

Из опыта определения устойчивых параметров бортов карьеров следует, что неполный учет особенностей строения массива и условий разработки уменьшает достоверность решения поставленных задач и не гарантирует точности конечных результатов. Это требует повышения уровня изученности отдельных элементов и массива в целом для подбора адекватной геомеханической модели месторождения и соответствующей для нее расчетной схемы, отвечающей объективным горно-геологическим условиям. Сегодня известно несколько общих и множество частных расчетных схем и соответствующих им геомеханических моделей.

Выполненные исследования показали, что геомеханическая модель прибортового массива должна учитывать структурно-тектонические особенности, характер деформирования массива, слагающего борта карьера, а также его (массива) физико-механические свойства.

Структурно-тектонические особенности массива горных пород (условия залегания, состав и строение, трещиноватость, дизъюнктивная и пликтивная нарушенность) оказывают значительное влияние на параметры системы разработки, схему вскрытия и технологию ведения горных работ, а также на устойчивость бортов карьеров, которая зависит от ориентировки поверхностей ослабления в массиве относительно поверхности откоса. Это влияет на форму и положение поверхностей скольжения, а значит, и выбор расчетной схемы.

Также основной исходной информацией при оценке степени устойчивости уступов и бортов карьеров сложноструктурных месторождений являются физико-механические свойства горных пород, которые определяют напряженное состояние откосов, возникающее под влиянием внутренних и внешних сил.

Физико-механические характеристики определяют по результатам лабораторных и натурных испытаний, а также на основе применения методов обратных расчетов искусственных или естественных оползней, широко используя методы комплексных исследований. Наиболее информативные характеристики могут быть получены в результате маркшейдерско-геодезических наблюдений за деформациями карьерных откосов и применения методов обратных расчетов оползней.

Изучение механизма деформирования откосов для конкретных горно-геологических условий позволяет принять гипотезу о возможном характере смещения или деформирования и выбрать наиболее достоверную геомеханическую модель массива. В настоящее время широкое распространение получила модель, основанная на достижении предельного равновесия по всей поверхности скольжения. Соответственно, положение поверхности скольжения предопределено геологическим строением массива и соотношением между удерживающими и сдвигающими силами. Установлено, что вид поверхности скольжения влияет на выбор метода расчета устойчивости. Следовательно, от уровня достоверности результатов геологических исследований, от правильного составления геологического разреза откоса зависит надежность выбранной расчетной схемы. В условиях Горевского свинцово-цинкового месторождения на основе выполненных расчетов было установлено положение поверхности скольжения произошедшего оползня (рис. 2) по разведочной линии № 2, а также определены физико-механические свойства массива горных пород.

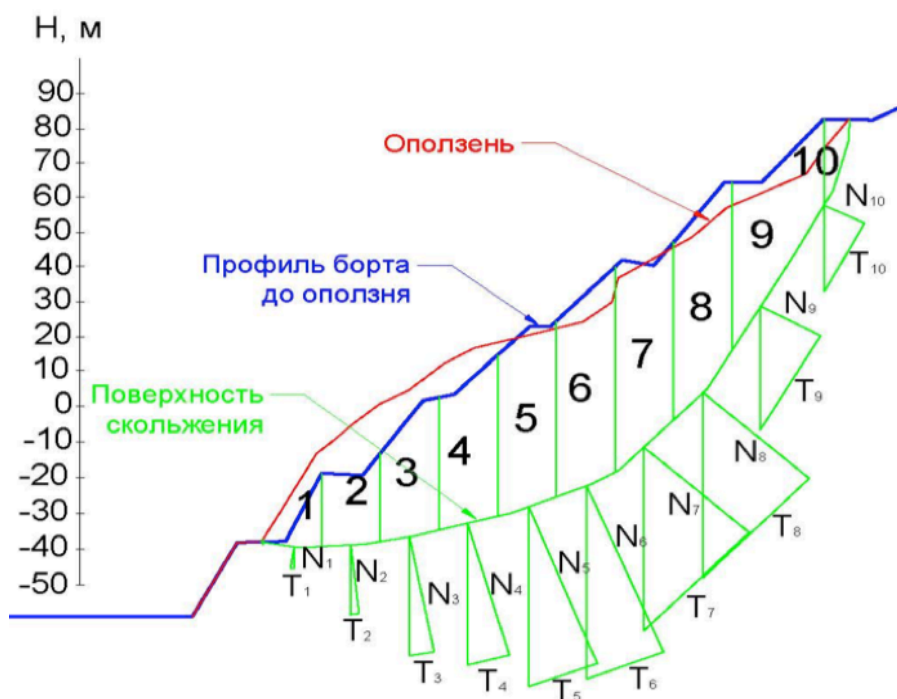


Рисунок 2 – Определение положения поверхности скольжения методом обратных расчетов для условий Горевского свинцово-цинкового месторождения

На основании изучения структурно-тектонических особенностей массива Горевского свинцово-цинкового месторождения, разрабатываемого в суровых



климатических условиях, были выявлены системы трещин, наиболее влияющие на устойчивость отдельных уступов, а также определены геометрические параметры основных тектонических нарушений (рис. 3).

Физико-механические характеристики горных пород рассматриваемых сложноструктурных месторождений определены с использованием лабораторных и натурных испытаний, а также методом обратных расчетов оползней, что позволило наиболее точно выбрать геомеханическую модель и подходящую расчетную схему.

На основе детальной изученности всех элементов геомеханической модели и построения поверхности скольжения по результатам обратных расчетов оползней была принята модель, учитывающая механизм деформирования отко-сов, структурно-тектонические и физико-механические особенности массива и их пространственную изменчивость. Это позволило использовать численно-аналитический способ расчета профессора П.С. Шпакова с применением программного обеспечения Delphi 2009 «STABILITY ANALYSIS».

Таким образом, для геомеханической модели (см.рис. 2) выполнены расчеты и отстроены конструктивные борта карьера, соответствующие требованиям устойчивости и экономичности разработки (рис. 4). По результатам исследований, выполненных в работе, обоснована конструкция бортов Горевского месторождения, обеспечивающая возможность увеличения углов наклона уступов на  $4-16^{\circ}$ , а углов наклона бортов – на  $2-3^{\circ}$  по сравнению с проектными значениями.

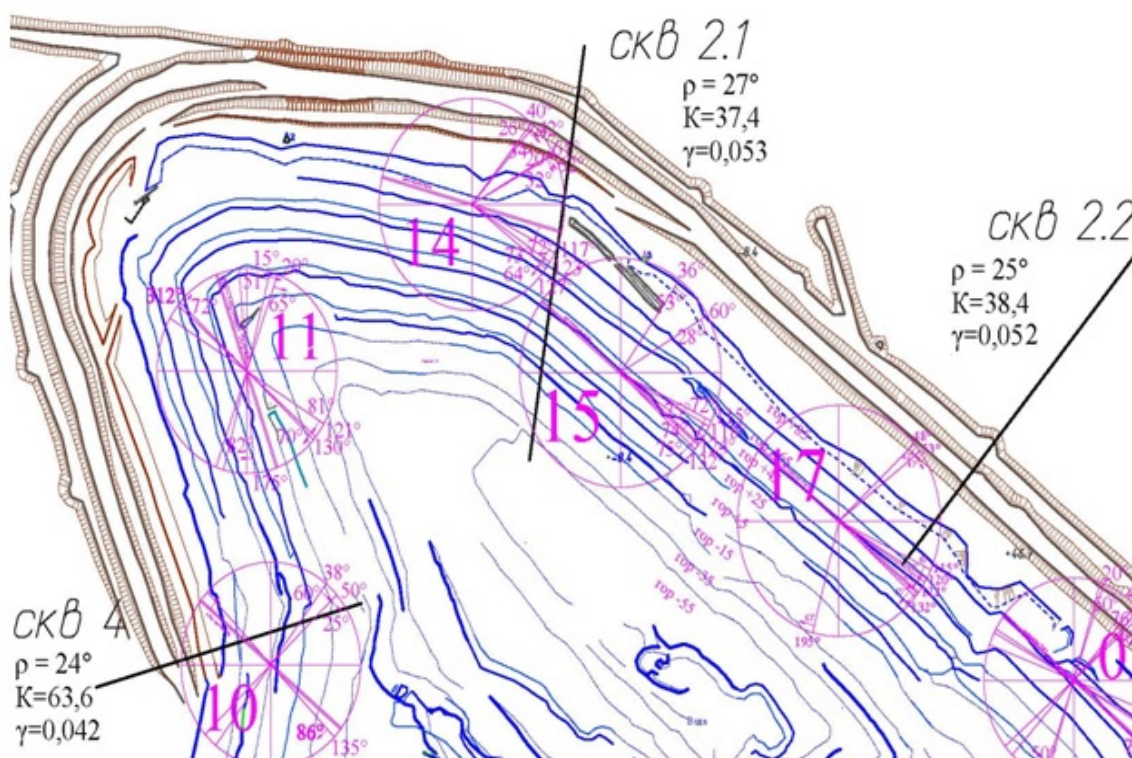


Рисунок 3 – Пространственное расположение структурно-тектонических и физико-механических особенностей массива Горевского свинцово-цинкового месторождения

## Юго-западный борт карьера

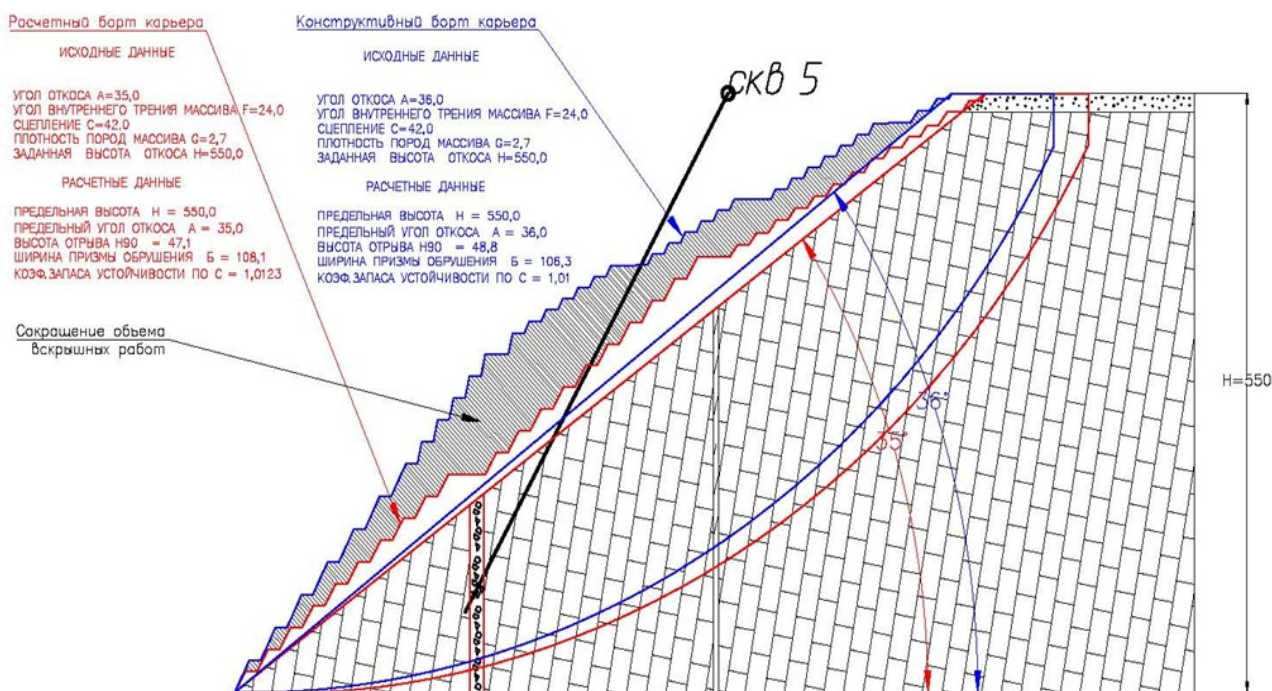


Рисунок 4 – Конструкция юго-западного борта карьера (скважина № 5)

Таким образом, предложенный подход к выбору геомеханической модели, а также расчетной схемы позволяет определять рациональную конструкцию бортов карьера сложноструктурных месторождений, климатические условия которых непосредственно влияют на прочностные особенности горных пород, слагающих прибортовой массив.

*Вышеизложенное является доказательством первого научного положения, выносимого на защиту, а именно: рациональную конструкцию борта карьера для разработки сложноструктурного месторождения в суровых климатических условиях следует определять на основе выбора геомеханической модели массива, адекватной условиям разработки, и использования численно-аналитических методов расчета устойчивых параметров бортов карьера.*

Поскольку прочностные свойства массива варьируют в пространстве месторождения и частично во времени, то это предопределяет необходимость учета таких особенностей в расчетах. Например, в условиях Кия-Шалтырского нефелинового рудника сцепление изменяется от 28 до 35 т/м<sup>2</sup>, а угол внутреннего трения – от 26 до 34 град. Это соответствующим образом оказывает влияние на предельные значения параметров бортов карьера и требует изменения их конструкции для отдельных участков за счет изменения ширины транспортных и предохранительных берм.

Прочностные свойства массива предопределяют характер деформационных процессов, протекающих в массиве горных пород, и характеризуют пространственную изменчивость его геомеханической модели.

С учетом вышеизложенного для рассматриваемых месторождений с использованием программного комплекса Delphi 2009: «STABILITY ANALYSIS» выполнены численно-аналитические исследования предельных значений высоты и угла откосов (для всего интервала значений сцепления и угла внутреннего трения) и различных уровней погрешностей их определения, причем уровень погрешности в определенной степени связан с климатическими условиями.

Результаты численных исследований влияния прочностных характеристик ( $\rho$  и  $k$ ), и погрешности их определения на предельную высоту и угол откоса для условий Кия-Шалтырского нефелинового рудника представлены в виде графиков на рис. 5 и 6.

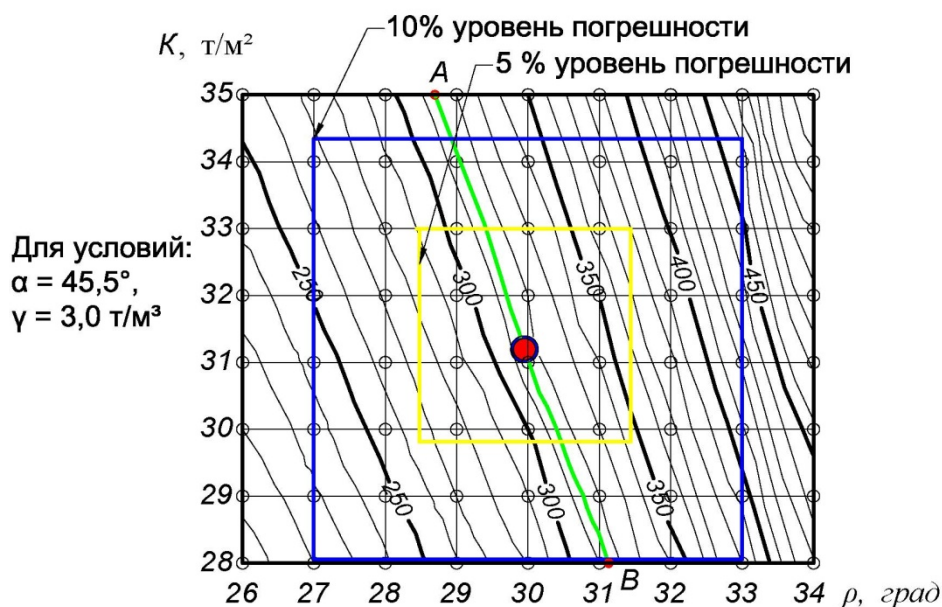


Рисунок 5 – Влияние прочностных характеристик горных пород рудника КШНР и погрешности их определения на предельную высоту откоса его бортов

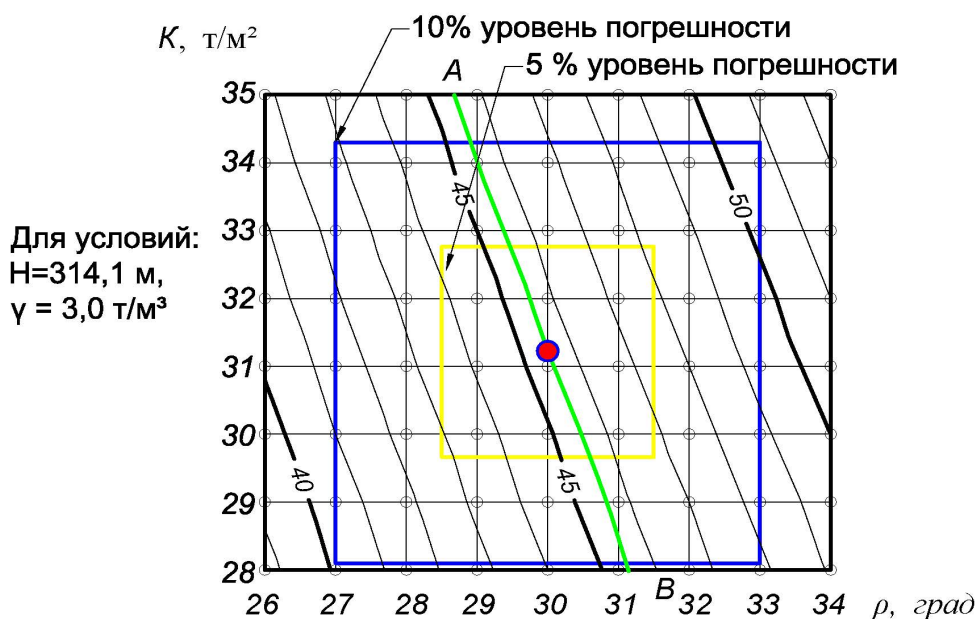


Рисунок 6 – Влияние прочностных характеристик горных пород рудника КШНР и погрешности их определения на предельный угол откоса его бортов

Анализ представленных графиков свидетельствует о возможности изменения предельных параметров бортов карьера на участках с различными прочностными характеристиками, формируя соответствующую конструкцию борта.

При этом в суровых климатических условиях область параметров откосов расположена слева, а в обычных – справа от расчетной линии АВ.

При анализе графиков было выявлено, что для рассматриваемых месторождений изменение прироста проектной высоты и проектного угла из-за ошибки в определении угла внутреннего трения больше чем в 2 раза по сравнению с такой же ошибкой определения сцепления. Следовательно, угол внутреннего трения необходимо устанавливать с более высокой точностью, чем сцепление, для месторождений, разрабатываемых в суровых климатических условиях.

В результате численных исследований с использованием аппарата математической статистики получены следующие уравнения для расчета параметров откосов в зависимости от прочностных характеристик массивов при доверительной вероятности 0,99:

$$H_{\text{расч}} = a_0 * K^{a_1} * \rho_2^{a_2}, \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{расч}} = b'_0 * K^{b'_1} * \rho_2^{b'_2}, \quad (2)$$

где  $H_{\text{расч}}$  – расчетное значение высоты откоса, м;  $\alpha_{\text{расч}}$  – расчетное значение угла откоса, град;  $K$  – сцепление, т/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – угол внутреннего трения массива, град;  $a_0, a_1, a_2, b'_0, b'_1, b'_2$  – эмпирические коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1 – коэффициенты уравнений степенной функции

<b>Кня-Шалтырский нефелиновый рудник</b>	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b'_0$	$b'_1$	$b'_2$
$H_{\text{расч}}$ , м	0,001	0,997	2,709			
$\alpha_{\text{расч}}$ , град				0,801	0,322	0,862
<b>Горевка</b>	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b'_0$	$b'_1$	$b'_2$
$H_{\text{расч}}$ , м	0,003	1,002	2,650			
$\alpha_{\text{расч}}$ , град				0,511	0,360	0,909
<b>Мазулька</b>	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b'_0$	$b'_1$	$b'_2$
$H_{\text{расч}}$ , м	0,00007	0,999	3,501			
$\alpha_{\text{расч}}$ , град				0,922	0,252	0,888
<b>Эльдорадо</b>	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b'_0$	$b'_1$	$b'_2$
$H_{\text{расч}}$ , м	0,005	1,0003	2,345			
$H_{\text{расч}}$ , м				0,820	0,546	0,673

Высокий уровень доверительной вероятности полученных уравнений позволяет использовать их для оперативного определения параметров откосов.

В целом предложенный подход позволяет повысить эффективность разработки сложноструктурных месторождений в суровых климатических условиях за счет конструкции борта карьера, варьируемой по его длине в соответствии с пространственной изменчивостью прочностных характеристик массива горных пород.

*Вышеизложенное является доказательством второго научного положения, выносимого на защиту, а именно: для увеличения эффективности открытой разработки сложноструктурного рудного месторождения в суровых климатических условиях необходимо принимать конструкцию бортов карьера, рациональные параметры которых учитывают пространственную изменчивость физико-механических и структурных особенностей массива месторождения.*

Для обеспечения безопасной и эффективной разработки сложноструктурного месторождения в суровых климатических условиях необходим геомеханический мониторинг, включающий изучение физико-механических и структурных особенностей массива, а также инструментальные наблюдения за устойчивостью откосов в течение всего срока службы карьера.

При ведении горных работ параметры бортов карьера влияют на геомеханическое состояние массива, формируя вторичные поля напряжений, ввиду чего в период разработки месторождений требуется изучать и контролировать геомеханические процессы для предотвращения аварий и инцидентов. Это предопределяет организацию геомеханического мониторинга состояния прибрежных массивов карьеров в целях достижения эффективной и безопасной разработки месторождений. Программа мониторинга должна включать систематические наблюдения за пространственно-временными геомеханическими процессами, возникающими в массиве при ведении горных работ, их математическую и статистическую обработку, анализ и прогноз состояния устойчивости откосов, разработку рекомендаций по оперативному изменению параметров бортов карьера.

В соответствии с этим разработана система геомеханического мониторинга для условий Горевского свинцово-цинкового месторождения, которая при соответствующей адаптации может быть использована и для других условий.

Обследование уступов и берм Горевского карьера показало, что северо-восточный участок предельного контура борта в районе разведочных линий РЛ1а – РЛ1 между горизонтами +45м и +85 м наиболее нарушен трещинами и сложен углисто-сланцевыми породами (рис. 7 и 8). Здесь преобладают обрушения и крупные вывалы горных пород, связанные с заколами и крутым падением межблоковых трещин, параллельных или перпендикулярных простиранию откосов уступов.



Рисунок 7 – Заколы после обрушения пород на горизонте +85м

В целях изучения и контроля характера смещения приуступных блоковых массивов, разделенных трещинами, на горизонтах (+65 м, +85 м, +90 м) создан натурный участок с установкой стационарных точек замера.



Рисунок 8 - Заколы после обрушения пород на горизонте +65м

По результатам наблюдений за смещениями трещин по стационарным точкам замера выполнен анализ характера деформаций и установлены амплитуды смещений ( $\Delta A$ ) трещин, которые условно разделены по степени их опасности (табл. 2). В основу отнесения локального участка к классу по степени опасности заложена накопленная максимальная величина амплитуды смещения.

Таблица 2 – Классификация локальных участков по степени их опасности для Горевского карьера

№ п/п	Накопленная величина амплитуды смещения ( $\Delta A$ ), мм	Степень опасности локального участка
1	менее $\pm 3,0$	Неопасные
2	$\pm 3,0 \div \pm 5,0$	Потенциально опасные
3	$\pm 5,0 \div \pm 8,0$	Опасные
4	$> \pm 8,0$	Повышенно опасные

Таблица 2 позволяет оценить вероятность развития деформационных процессов и своевременно разработать мероприятия по их предотвращению.

Анализ полученных результатов мониторинга позволил сделать следующие выводы:

1. Группа уступов северо-восточного борта карьера (РЛ1-РЛ1а), находящихся в углисто-сланцевых породах, характеризуется наличием межблоковых трещин пологого и крутого падения. Это определяет динамику развития заколообразования, которая сопровождается раскрытием трещин в течение 30-45 суток и дальнейшим обрушением откоса по плоскостям трещин.

2. Влияние взрывных работ отмечается в динамике межблоковых смещений скального массива, который находится рядом с взрываемым блоком и обладает крутым углом наклона трещин (участок гор. +65 – гор. +85м).

Деформация уступов гор. +90м связана с динамикой насыщения и фильтрации массива грунтовыми водами, а также наличием трещин, сформированных интенсивным дроблением пород.

В целях выполнения маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьера, дамбы и междамбового массива установлена наблюдательная станция, состоящая из 11-ти профильных линий. Каждая профильная линия включает опорные и рабочие реперы.

При помощи спутниковых GPS-приемников выполнялись соответствующие измерения, причем начальные наблюдения проводили через 30 суток после закладки реперов и их стабилизации. Было выполнено 3 цикла наблюдений. В результате обработки результатов с помощью специальной программы Spectrum Survey получали координаты опорных реперов для расчета амплитуд смещения.

На этой основе составлена периодичность наблюдений за смещениями реперов (предпочтительно весной и осенью). В частности, для зоны развития заколообразования необходим ежемесячный режим наблюдений и закладка реперов площадной наблюдательной станции. За счет этого можно в процессе мониторинга контролировать правильность ранее принятых проектных решений по постановке откосов уступов и бортов карьеров в стационарное положение. Дополнительно (по результатам мониторинга в комплексе с инженерно-геологическими и гидрогеологическими исследованиями в процессе эксплуатации месторождений) можно установить характер деформаций прибор-

тового массива, спрогнозировать их развитие во времени и пространстве, а также принять необходимые меры по устранению причин деформаций.

***Вышеизложенное является доказательством третьего научного положения, выносимого на защиту, а именно: повышение безопасности разработки сложноструктурных месторождений в суровых климатических условиях возможно за счет конструкции борта карьера и системы его мониторинга, позволяющих контролировать проявления деформационных процессов для прогнозирования устойчивости.***

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой приведены технические решения, позволяющие обосновывать устойчивые параметры откосов бортов карьеров и их конструкцию, которая обеспечивает повышение эффективности и безопасности разработки сложноструктурных месторождений в суровых климатических условиях, что способствует развитию горнодобывающей промышленности Российской Федерации.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации состоят в следующем.

1. В целях объективного и достоверного определения прочностных характеристик необходимы комплексные исследования, включающие лабораторные и натурные испытания пород, а также обратные расчеты оползней и обрушений откосов.

2. Предложенная методика изучения структурно-тектонических особенностей массива горных пород базируется на выявлении наиболее опасных с точки зрения устойчивости откосов систем трещин, к которым можно отнести продольные и диагональные кососекущие, согласно падающие с откосом уступа. На основе этих данных рекомендованы расчетные схемы устойчивости уступов и бортов карьера с учетом трещиноватости массива.

3. На всех изучаемых карьерах наблюдается процесс образования осыпей. Наиболее часто они имеют место на месторождениях с суровыми климатическими условиями и в массивах, сложенных глинистыми и хлоритидными сланцами, углеродистыми и сланцеватыми известняками, глинистыми и слюдистыми кварц-карбонатными породами, в особенности ближе к контакту с рудными телами.

4. В результате анализа деформаций откосов установлены три стадии их развития в массивах с крутопадающей слоистостью:

– первая (до приведения откоса в предельное равновесие) – консольный изгиб слоев на уровне подошвы, когда за счет межслоевых подвижек нарушается природное сцепление по их контактам;

– вторая начинается с излома слоев по системе продольных нормальных трещин и их разворота;

– на третьей происходит опрокидывание слоев со сдвигом по сформировавшейся на второй стадии поверхности скольжения.



5. Предложена методика оценки устойчивости бортов карьеров, учитывающая геомеханическую модель прибортового массива, адекватную расчетной схеме.

6. Исследовано влияние прочностных характеристик массива и погрешности их определения на предельную высоту и угол откоса бортов карьера, для нахождения которых можно использовать полученные уравнения. На основе оценки влияния погрешности определения прочностных характеристик массива на параметры бортов карьера доказана необходимость более точного расчета угла внутреннего трения.

7. В результате исследования пространственной изменчивости физико-механических свойств и структурно-тектонических особенностей массивов установлено, что при разработке Горевского свинцово-цинкового месторождения борту карьера следует придавать выпуклый профиль. При этом углы откосов бортов карьера можно увеличивать на  $2-3^{\circ}$  при соответствующем увеличении углов откосов уступов на  $4-16^{\circ}$ . Это позволит значительно уменьшить объемы вскрышных работ, инвестиции и эксплуатационные затраты.

Выявлено, что при такой конструкции борта карьера можно эффективней реализовать его мониторинг, позволяющий оперативно контролировать проявления деформационных процессов, а также прогнозировать устойчивость откосов.

#### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

##### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и приравненные к ним публикации:**

1. **Патачаков И.В.** Определение прочностных свойств горных пород методом обратных расчетов в условиях Горевского свинцово-цинкового месторождения [Текст] / Патачаков И.В., Фуртак А.А., Боос И.Ю. // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – №1. – С. 41-44.

2. **Патачаков И.В.** Обоснование устойчивых параметров бортов карьера сложноструктурных месторождений в условиях отработки Горевского свинцово-цинкового месторождения [Текст] / Юнаков Ю.Л., Патачаков И.В., Боос И.Ю., Фуртак А.А. // Маркшейдерский вестник. – 2018. – №3. – С. 56-60.

3. **Патачаков И.В.** Геолого-маркшейдерское обеспечение мониторинга состояния устойчивости карьерных откосов для сложноструктурных месторождений на примере Кия-Шалтырского нефелинового рудника [Текст] / Юнаков Ю.Л., Патачаков И.В., Боос И.Ю., Фуртак А.А. // Маркшейдерский вестник. – 2018. – №2. – С. 40-43.

4. **Патачаков И.В.** Оценка устойчивости бортов карьеров сложноструктурных месторождений на примере Кия-Шалтырского нефелинового рудника [Текст] / Патачаков И.В., Боос И.Ю., Фуртак А.А. // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – Т.1. – №4. – С. 19-21.

5. **Патачаков И.В.** Исследование влияния погрешности определения прочностных характеристик ( $\rho$  и  $k$ ) на предельную высоту откоса и его коэффициент запаса устойчивости в условиях Кия-Шалтырского месторождения [Текст] / П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков, И. В. Патачаков, И. Ю. Боос, А. А. Фуртак // Маркшейдерский вестник. – 2018. – №5. – С. 61-66.

**Статьи в других изданиях:**

6. **Патачаков И.В.** Обоснование прочностных свойств сланцев, слагающих борта карьера [Текст] / Патачаков И.В., Юнаков Ю.Л. Обоснование прочностных свойств сланцев, слагающих борта карьера // Сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2014.

7. **Патачаков И.В.** Обоснование устойчивых параметров уступов карьера «Эльдорадо» [Текст] / Юнаков Ю.Л., Патачаков И.В., Фуртак А.А. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. – Москва, 2015. – №3 (12). – С. 131-136.

8. **Патачаков И.В.** Обоснование схем расчета устойчивого состояния откосов карьера «Эльдорадо» [Текст] / Фуртак А.А., Патачаков И.В. // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых СФУ [Электронный ресурс]. – Красноярск, 2015. – С. 43-46.

9. **Патачаков И.В.** Оценка устойчивости борта карьера Горевского Гока [Текст] / Юнаков Ю.Л., Патачаков И.В., Фуртак А.А. // X Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сборник тезисов и докладов Всероссийской научной конференции. – Муром, 2018. – С. 232-234.