

04 АПР 1994

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Московская государственная геологоразведочная академия

На правах рукописи
УДК. 624.131

АБАТУРОВА ИРИНА ВАЛЕРЬЕВНА

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ "СВЕТИНСКОГО" ТИПА
НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ

Специальность: 04.00.07 – инженерная геология, мерзлото-
ведение и грунтоведение

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 1994

Диссертационная работа выполнена на кафедре инженерной геологии Московской государственной геологоразведочной академии и кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Уральской государственной горно-геологической академии

Научный руководитель: Доктор геолого-минералогических наук
Д.А.ЯРГ

Официальные оппоненты: Доктор геолого-минералогических наук
Л.В.ШАУМЯН

Кандидат геолого-минералогических наук
В.И.КУЗЬМИН

Ведущая организация: Уральский комитет по геологии и использованию недр

Защита диссертации состоится 21 апреля 1994 г. в аудитории 5-49 в 15-00 часов на заседании совета по защитам К.063.55.04 в Московской государственной геологоразведочной академии по адресу: 117487, Москва, ул.Милухо-Маклая, дом 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГГА.
Автореферат разослан 17 марта 1994 г.

Ученый секретарь совета,
профессор

В.М.Кононов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работ

Основная тенденция современного горного производства заключается в отработке полезных ископаемых, залегающих в пределах глубоких горизонтов земной коры и, соответственно, в сооружении карьеров и подземных выработок глубокого заложения.

Оптимизация строительства горных предприятий и процесса отработки полезного ископаемого требует обоснованной оценки инженерно-геологических условий /ИГУ/ месторождений полезных ископаемых ещё на стадиях разведки; выделения главных компонентов ИГУ, определяющих процесс отработки; оценки масштаба их воздействия и прогнозирования поведения горных пород при разработке месторождения.

В 1980-80-х гг. открыты новые для Урала золоторудные месторождения Светлинское и Ворошиловское и ряд перспективных золоторудных площадей /Андре-Кильевская, Саварская/. Они характеризуются рядом особенностей, которые существенно влияют на их отработку. Специфичность ИГУ этих месторождений обусловлена наличием свободной глинистой коры выветривания, мощностью до 400 м, пространством закарстованных и прокарстованных известняков, сложным тектоническим строением. Это позволяет говорить об особом, "светлинском" типе месторождений полезных ископаемых. Необходимость выбора оптимальных технико-технологических решений, учитывающих ИГУ месторождений, требует опережающего детального исследования их компонентов, на основе результатов которого разрабатывается достоверный прогноз, способный обеспечить конструктивные решения, исключающие высокие коэффициенты запаса, при которых каждый градус угла заложения откоса вливается в дополнительные млн. куб.м вскрыши и, соответственно, увеличивает затраты на разработку месторождения.

Цель и задачи работ

Цель исследования заключается в разработке методики прогнозирования ИГУ месторождений полезных ископаемых "светлинского" типа на базе комплексной количественной оценки их компонентов. В соответствии с поставленной целью основными задачами исследования являлись:

- обоснование набора компонентов ИГУ, определяющих условия отработки месторождений "светлинского" типа;

- установление основных закономерностей распространения и изменения компонентов ИУ;
- обоснование методики комплексной количественной оценки ИУ месторождений рассматриваемого типа;
- разработка обобщенной модели месторождений "светлинского" типа;
- выбор оптимальных методов прогнозирования ИУ месторождений на базе сравнительного анализа прогнозных оценок, полученных разными способами;
- выполнение прогноза ИУ отработки месторождений на стадиях разведки, различными методами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые обоснованы инженерно-геологические особенности Светлинского и Воронцовского месторождений, представляющих характерный генетический тип золоторудных месторождений;
- выявлены основные факторы, определяющие условия отработки месторождений "светлинского" типа;
- обоснован количественный метод оценки ИУ месторождений "светлинского" типа и установлены закономерности их пространственного изменения;
- предложен комплекс методов прогноза ИУ месторождений "светлинского" типа по данным разведочных работ;
- обоснована возможность использования метода аналогий для прогноза условий отработки месторождений рассматриваемого типа;
- разработана модель месторождений "светлинского" типа и выполнен прогноз ИУ их отработки методами математического моделирования.

Защитаемые положения

1. По совокупности сложных, специфических компонентов инженерно-геологических условий выделен особый тип месторождений "светлинский".

2. Прогноз условий отработки месторождений "светлинского" типа на стадии разведки обеспечивается комплексным использованием методов инженерно-геологической аналогии и математического моделирования.

3. Специальное инженерно-геологическое районирование месторождения должно предусматривать разделение массива горных пород на области однородные по устойчивости бортов карьеров.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенная методика позволяет осуществить на ранних стадиях исследований месторождений "светлинского" типа прогноз устойчивости откосов бортов карьеров и возможного развития инженерно-геологических процессов.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены в тезисах I Всесоюзного съезда инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов в г.Киеве /1988 г/ и докладывались на Международном симпозиуме "Инженерная геология карста" в г.Перми /1992 г./; на конференциях молодых учёных ВСЕИИГЕО /1988, 1989 гг./, на конференциях профессорско-преподавательского состава МГА /1988, 1989 гг./, УИТА /1986, 1987 гг./; на территориальных научно-технических конференциях в г.Екатеринбурге /1987, 1988, 1991 гг./ и г.Кунгуре /1988 г/ и отражены в 4-х научно-производственных отчётах. По теме диссертации опубликовано 7 работ.

Исходные материалы. Фактическим материалом для обоснования научных положений и выводов послужили собственные полевые и камеральные исследования автора, выполненные в 1985-1993 годах. Кроме того, в процессе работы над диссертацией использованы фондовые материалы УралГеолкома, многочисленные литературные источники.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на - страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 107 наименований.

Автор выражает особую благодарность и искреннюю признательность научному руководителю диссертационной работы профессору, доктору геолого-минералогических наук М.А.Ярг, которая уделяла большое внимание исследованиям и направляла их.

Автор признателен заслуженному деятелю науки РСФСР, доктору геолого-минералогических наук, профессору Г.К.Бондарнику и доктору геолого-минералогических наук В.В.Нендину за внимание, советы, рекомендации при выполнении работы.

Глубокую благодарность диссертант выражает заведующему кафедрой "Гидрогеологии и инженерной геологии" УИТА профессору О.Н.Грязнову, доцентам Л.И.Афанасиади, В.П.Новикову, Н.С.Евбалиной, О.М.Туман за научные консультации и полезные советы, а также сотрудникам кафедры за оказанную поддержку и помощь.

Содержание работ

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК, ПОСВЯЩЕННЫХ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ИТУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

На развитие инженерной геологии месторождений полезных ископаемых оказали большое влияние труды Ф.И.Саваренского, И.В.Монова, П.И.Панжова, В.В.Сергееня, В.Д.Ломтадзе, Г.Г.Скворцова, Н.В.Коломенского, И.С.Комарова, Г.А.Голодковской, В.В.Фромова и др. За последние годы накоплен значительный опыт и подготовлен целый ряд методических руководств и пособий по инженерно-геологическому изучению месторождений полезных ископаемых при их разведке, разработанных ВМДИНТЕО, ВНИИ, ИТА, ДТИ, ИГУ, УИТА.

В главе рассмотрены основные аспекты прогнозирования инженерно-геологических условий разработки месторождений. Выявление закономерностей формирования и пространственной изменчивости инженерно-геологических условий базируется на естественно-историческом подходе к анализу геологических объектов. Ему посвящены работы Г.К.Бондарика /1968, 1971, 1973/, Г.А.Голодковской /1975/, В.Д.Ломтадзе /1986/, П.И.Панжова /1978/, Г.Г.Скворцова /1966/.

В основу аспекта выявления характера и степени влияния различных компонентов на состояние массивов горных пород при вскрытии месторождений положены теоретические работы Г.К.Бондарика /1971, 1972/. К числу компонентов, требующих оценки при инженерно-геологических исследованиях относятся: геологическое строение, структурно-текстурные особенности и трещиноватость, состав и свойства горных пород, развитие экзогенных геологических процессов, гидрогеологические условия. Изучению и оценке этих компонентов посвящены работы: В.В.Белоусова /1971/, Г.К.Бондарика /1972, 1986/, Г.А.Голодковской /1975, 1983, 1987/, Н.А.Гвоздецкого /1954/, В.Г.Глушко /1978/, Н.В.Коломенского /1952/, Л.А.Молюкова /1985/, И.В.Ислова /1974/, И.А.Мечёркина /1964, 1967/, Я.В.Родионова /1958/, Д.С.Соколова /1962/, Г.Г.Скворцова /1966, 1970/, В.И.Дуздыкина /1974, 1985/, С.Н.Чернышова /1983/, Л.В.Шуляйн /1983, 1987/, М.А.Ярт /1974, 1991/.

В работе отмечается, что прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений должен базироваться на общенаучных принципах предвидения с использованием современных, конкретных методов прогнозирования. В основу подхода автора к вопросам про-

гнозирования положены разработки Г.К.Бондарика /1968, 1972, 1986/, А.А.Кагана /1984/, Г.Г.Скворцова /1966, 1970/, Б.В.Смирнова /1975, 1983/.

В работе рассмотрены основные методы прогноза инженерно-геологических условий. Остро стоит проблема прогноза инженерно-геологических условий на стадиях разведки месторождений. В особенности это относится к месторождениям "светлинского" типа, для которых необходимо применять комплексирование методов инженерно-геологической аналогии и математического моделирования.

2. КРАТКИЙ ОЧЕРК ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ "СВЕТЛИНСКОГО" ТИПА

"Светлинский" тип месторождений относится к новому для Урала промышленно-генетическому типу золотого оруденения. Изучаемый тип включает в себя Светлинское и Воронцовское месторождения, геологическая позиция которых фиксируется зонами региональных разломов, проходящих по границам структур II и III порядка. Светлинское приурочено к Восточно-Уральскому поднятию, Воронцовское - Тагил-Магнитогорскому прогибу.

Рудное поле Светлинского месторождения представлено переслаиванием метавулканогечных, метатерригенных пород палеозойского возраста, являющихся рудомещающими и подстилающими их мраморами и мраморизованными известняками.

В геологической строении Воронцовского месторождения принимают участие туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты, андезиты, которые подстилаются мраморизованными и брекчированными известняками. Для изучаемых месторождений характерно блоковое строение, тектонические нарушения несут сдвига, сдвиго-надвиговой характер с крутыми углами падения.

Процесс рудообразования месторождения был сопряжен с процессами метаморфизма и метасоматоза. Метасоматические процессы включают: лиственитизацию и серезитизацию, железисто-магниевую базификацию, грайбенитизацию, аргиллизацию горных пород.

Характерной особенностью изучаемого типа месторождений полезных ископаемых является развитие глубинного карста и мезозойских кор выветривания мощностью до 400 м.

В пределах месторождений развиты водонесные комплексы: кор выветривания, трещинных и трещинно-карстовых вод.

Специфические особенности геологических условий изучаемых

месторождений являются предпосылкой для выделения "светлинского" типа месторождений по инженерно-геологическим условиям.

3. КОМПОНЕНТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ "СВЕТЛИНСКОГО" ТИПА

Рассмотрены компоненты инженерно-геологических условий, определяющие технологию отработки месторождений "светлинского" типа. К их числу относятся: петрографический состав пород и их физико-механические свойства; тектоническая обстановка месторождений и связанная с ней трещиноватость и блочность пород; наличие коры выветривания мощностью до 400 м; развитие глубинного карста.

Инженерно-геологическая характеристика основных групп горных пород.

В пределах месторождений "светлинского" типа выделены класс скальных, класс рыхлых несвязных и мягких связных горных пород.

Скальные горные породы представлены следующими генетическими группами.

1. Вулканогенные, вулканогенно-терригенные, терригенно-карбонатные /амфиболиты, амфибол-биотитовые породы, порфириты андезит-базальтового состава, сланцы кварцево-слюдистые, мраморизованные известняки и мраморы, туфы, туфопесчаники/ в различной степени метаморфизованные.
2. Метасоматически измененные вулканогенные, вулканогенно-терригенные, терригенно-карбонатные породы.
3. Интрузивные породы - метаморфизованные, оралькованные, серпентинизированные амфиболиты, габбро, диабазы, диоритовые порфириты.

Породы характеризуются сложным переслаиванием. Анализ изменений свойств пород по разрезу показал, что для них характерен стационарный режим изменчивости. Это позволило охарактеризовать свойства скальных пород оценками их средних значений и мерами их рассеяния.

Породы, слагающие разрезы месторождений, подвергались различным по времени действия и характеру проявления метасоматическим процессам, выразившимся в окварцевании, амфиболитизации, биотитизации, глинизации и рассланцевании пород, что и вызвало дифференциацию показателей физико-механических свойств. Среди скальных пород наиболее высокими прочностными свойствами обладает группа

метасоматически изменённых пород / $R_c = 127-201$ МПа, $\rho = 2,3-2,95$ т/м³ /, что связано с перекристаллизацией, окварцеванием, амфиболитизацией пород. Вариации значений показателей свойств внутри группы определяются относительным содержанием в породе кварца, хлорита, карбоната, биотита и др. Наименее прочными является группа метаморфических пород / $R_c = 81-140$ МПа, $\rho = 2,7-2,91$ т/м³/. Существование в метаморфических породах гранулолитобластовых структур, сланцеватых и полосчатых текстур обусловило анизотропность физико-механических свойств /коэффициент анизотропии предела прочности на растяжение равен 2,1-2,6/. Проверка подобия физико-механических свойств изучаемых месторождений по критериям Фишера и Стьюдента показала, что скальные породы месторождений можно рассматривать как аналогичные.

Класс мягких связанных горных пород /вскрытые/ представлен мезокайнозойскими отложениями различного генезиса, характеризующимися как тяжёлые, пылеватые глины каолинит-гидрохлоритового состава с включениями песка до 5-8% /Светлинское месторождение/ и дресвы и щебня до 25% /Воронцовское месторождение/.

Класс рыхлых несвязанных горных пород представлен заполнителем карстовых полостей и тектонически раздробленными породами. В работе рассмотрены их основные характеристики.

Зоны тектонических нарушений, трещиноватость и блочность пород.

Изучаемые месторождения приурочены к зонам крупных тектонических нарушений субмеридионального и субширотного простираний с оперяющимися их более мелкими нарушениями, обусловившими их блоковое строение и широкое развитие зон дробления мощностью 0,1-15 м /Светлинское месторождение/, 0,1-1,0 м /Воронцовское месторождение/. На месторождениях выделены литогенетические, тектонические и экзогенные трещины. Литогенетические трещины прослеживаются на всю глубину массива и совпадают с поверхностями напластования, сланцеватости. Тектонические трещины выдержаны по простиранию, параллельны оси зерна и наклонены к ней. Поверхности трещин с бороздами, штрихами и зеркалами скольжения. Трещины залечены - кварцем, кальцитом, хлоритом, часто - без заполнителя. Экзогенные трещины - выветривания и карстообразования, разноориентированные, заполненные карбонатом, хлоритом, гидроокислами железа.

Выделены 4 системы трещин. Наиболее объективными показателями степени и характера трещиноватости по керну скважин являются модуль трещиноватости, модуль кусковатости, показатель состояния

трещин. По комплексу показателей, характеризующих трещиноватость и блочность автором выделены следующие категории горных пород /табл. I/.

Таблица I

Классификация пород по степени трещиноватости

Категория по степени трещиноватости	Модуль трещиноватости, M_t , тр/м	Модуль кусковатости, M_k , кус/м	Показатель состояния, K_{2D} , %	Линейный размер блока, L , м	Выход зерна, BH , %	Количество зон дробления, %	Коэффициент структурного ослабления
Слаботрещиноватые	менее 6	менее 7	40 и более	более 0,15	80-100	20	0,06
Среднетрещиноватые	6-10	7-12	20-40	0,1-0,15	40-80	20-50	0,02
Сильнотрещиноватые	10-16	12-16	5-20	0,07-0,1	20-40	50-80	0,005
Раздробленные	более 16	более 16	менее 5	менее 0,07	менее 20	80	-

Процесс карстообразования и его развитие на месторождениях.

Специфической особенностью месторождений "светлинского" типа является широкое развитие карбонатных пород /мраморов, мраморизованных и брекчированных известняков/ и связанных с их растворением процессов. Свойством карстующихся пород является их пространственная неоднородность /по степени и характеру закарстованности/ по площади и глубине. Наибольшая вероятность наличия интенсивно закарстованных зон связана с зонами повышенной трещиноватости, раздробленности и с контактами пород различного петрографического состава. В пределах изучаемых месторождений развиты поверхностные и подземные формы /закарстованные трещины, каверны, каналы, полости/. Отличительной чертой карбонатного массива Воронцовского месторождения является наличие большого количества поверхностных форм карста: депрессий, воронок, заматин. Для количественной оценки степени закарстованности карстующихся массивов использован коэффициент

линейной закарстованности /Кз/

$$K_z = \frac{L_k}{L_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \text{ где}$$

L_k - суммарная длина карстовых форм, вскрытых скважинами, м;

$L_{\text{общ}}$ - общая длина скважин, м.

С учётом изменения коэффициента линейной закарстованности, структурно-тектонического строения, мощности зоны аэрации проведено районирование карбонатного массива. Выделено три блока:

Блок I - интенсивно закарстованных пород, характеризующийся мощностью зоны аэрации 17-70 м, широким развитием крупных карстовых форм до глубин 210 м и мелких форм до 300-400 м; значения K_z составляют 0,8-1 в интервале глубин 50-150 м.

Блок II - закарстованных мраморизованных известняков и мраморов с крупными формами до глубин 220-240 м; K_z составляет 0,6-0,9 до глубины 120 м.

Блок III - слабозакарстованных пород, включающий зону аэрации мощностью 20-200 м, с редкими крупными карстовыми формами до глубин 100 м; K_z составляет 0,6-0,8.

По коэффициенту линейной закарстованности установлена граница зон взаимосвязанного и локального карста.

Процесс выветривания горных пород и распространение кор выветривания на месторождениях.

На месторождениях широко распространена мезозойская кора выветривания, мощностью до 400 м. По морфологии и генезису коры делятся на площадные и линейные /линейно-трещинные и контактово-карстовые/. Для элювиальных пород типичен каолинт-гидрослюдистый геохимический профиль. В строении коры выветривания выделены обломочная зона /П/ - представленная слабовыветрелыми породами с густой сетью трещин, участками межклет глинисто-древяно-щепнистый состав, и зона литомаржа /Л/, представленная переслаиванием горизонтов глинистых пород, развитых по породам различного состава и сохранившими реликтовые структуры. Анализ показателей физико-механических свойств различных горизонтов зоны литомаржа показал возможность их объединения в один инженерно-геологический элемент и позволял охарактеризовать выделенную зону средними значениями показателей свойств. Контактново-карстовые коры выветривания представлены блоками остаточных и перестроенных /"бесструктурных"/ пород. Для них характерно отсутствие зональности и значительные вариации физико-механических свойств.

Проанализированные выше компоненты инженерно-геологических условий, определяющие конструкцию карьера, позволяют рассматривать Светлинское и Воронцовское месторождения как единый специфический тип, который требует адекватного метода прогнозирования инженерно-геологических условий разработки месторождений.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ "СВЕТЛИНСКОГО" ТИПА

Логическим завершением инженерно-геологических исследований месторождений полезных ископаемых является прогнозирование инженерно-геологических условий их отработки. Предсказание развития инженерно-геологических процессов при отработке месторождений в сложных инженерно-геологических условиях возможно только при рациональном сочетании взаимосовершенствующих и дополняющих методов прогнозирования. К числу таких методов для месторождений "светлинского" типа относятся: метод аналогий и методы математического моделирования, в частности интегрального показателя и аналитический. В работе рассмотрены основные теоретические аспекты применения методов.

Прогноз инженерно-геологических условий методом аналогий.

Моделью -аналогом месторождений "светлинского" типа выбрано Астафьевское месторождение пьезокварца. Согласно исследованиям Д.Б.Розовского /1980, 1987/ критерии геологического подобия выводятся на основании изучения основных факторов, определяющих физическую природу объекта. В качестве показателей оценки подобию для изучаемого типа месторождений предложены: геолого-структурная позиция месторождений; петрографический состав пород и их физико-механические свойства; характер изменения пород эндогенными и экзогенными процессами; трещиноватость и блочность пород. В работе выполнено сопоставление модели-аналога и изучаемых месторождений на основании критериев подобия и условий однозначности, включающих перечисленные показатели и критерии оползне- и промывнообразования. Показана адекватность месторождений и модели-аналога. Результаты явились основой прогноза формирования и развития инженерно-геологических процессов в период отработки, а также позволили выбрать наиболее оптимальные углы заложения проектируемого карьера.

Выполнена верификация данного метода прогнозирования путём

II

сопоставления данных по опытно-эксплуатационному карьеру Светлянского месторождения.

Прогноз инженерно-геологических условий методами математического моделирования.

Рассмотрен метод математического моделирования на базе интегрального показателя, который предусматривает комплексную количественную оценку геологических параметров условий инженерно-геологических условий. Выбор геологических параметров определяется их влиянием на устойчивость бортов карьеров. В качестве геологических параметров были выбраны для пород ксрн в в в в в а н и я: мощность / m /, плотность пород / ρ /, природная влажность / W /, влажность на границе текучести / W_f /, влажность на границе раскатывания / W_p /, удельное сцепление / C /, угол внутреннего трения / φ /; для скальных горных пород: ρ , водопоглощение / W_n /, предел прочности на одноосное сжатие / R_c /, коэффициент крепости / f_k /, C, φ , линейный размер блока / l /, коэффициент линейной закарстованности / K_3 /. Для месторождений с иными инженерно-геологическими условиями комплекс параметров может быть скорректирован. Автором построены модели выбранных параметров, выполнена геологическая интерпретация их структуры, установлены общие и локальные закономерности пространственной изменчивости параметров. Для скальных пород общие закономерности пространственной изменчивости параметров выражаются в увеличении значений показателей по мере удаления от поверхности коры выветривания. Локальные аномалии связаны с изменениями минерального состава, степенью метасоматического изменения пород.

В качестве прогнозируемого параметра выбран и рассчитан угол наклона створов условий карьера / λ /. Для него подсчитаны значения парных коэффициентов корреляции с показателями скальных пород /табл. 2/.

Таблица 2

Матрица парных коэффициентов корреляции /скальных горных пород/

Показатели	λ	W_n	R_c	f_k	l	K_3
λ	I	-0,05	0,43	0,33	0,71	-0,47
W_n		I	-0,01	-0,05	0,03	0,02
R_c			I	0,61	0,01	-0,16
f_k				I	0,14	-0,66
l					I	-0,2
K_3						I

Анализ парных коэффициентов корреляции позволил обосновать набор геологических параметров - компонентов интегрального показателя. Оценка весовых коэффициентов выполнена на основе регрессии, имеющей вид:

$\alpha = 0,45 K_0 + 0,66 \ell - 0,84 K_3$, где K_0 - предел прочности на одноосное сжатие, МПа; ℓ - линейный размер блока, м; K_3 - коэффициент линейной закарстованности.

Полученное значения множественного коэффициента корреляции 0,87 свидетельствует о тесной связи между α и выбранными компонентами. На основе оценок значений нормированных геологических параметров рассчитаны величины интегрального показателя $|J|$, синтезирована модель его поля и построен график зависимости $\alpha = f(|J|)$. Результаты могут рассматриваться в качестве обобщенной прогнозной оценки разреза горных пород "светлинского" типа месторождений.

Прогнозное инженерно-геологическое районирование с использованием комплекса методов.

Необходимым условием прогноза является выполнение специального инженерно-геологического районирования. На основании зависимости $\alpha = f(|J|)$ выделено три класса пород, которым соответствует разная сложность инженерно-геологических условий и разная устойчивость пород. Для пород коры выветривания значительной мощности и сложного переслаивания разных пород субстрата обосновано ограничение использованием интегрального показателя для решения прогнозных задач. В связи с этим прогноз инженерно-геологических условий стратотипы месторождений "светлинского" типа для кор выветривания осуществлен с использованием аналитического метода и метода аналогий, на основании которых коры выветривания "светлинского" типа объединены в один IV класс устойчивости /табл. 3/.

Таблица 3.

Модель инженерно-геологических условий
для месторождений "светлинского" типа

Индекс класса, устойчивость пород	Значения интегрального показателя	Рекомендуемые ориентировочные углы наклона откосов уступов карьера в условиях осушения	Возможные инженерно-геологические процессы, явления	Рекомендуемый комплекс методов прогноза инженерно-геологических условий на стадии разведки
I относительно устойчивые	1-0,7	65-75°	Единичные осипи	Метод аналогий, методы математического моделирования
II средней устойчивости	0,7-0,4	55-65°	Вывалы, обрушения	/аналитический и интегральный показатель/
III низкой устойчивости	0,4-0	38-55°	Осипи, вывалы, обрушения значительных объемов	
IV неустойчивые	-	20-25°	Промоины, оползни, суброзионные и эрозийные процессы	Метод аналогий, метод прямого расчета углов наклона бортов карьера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Обоснованы основные компоненты, обуславливающие единый подход к инженерно-геологической оценке Светлинского и Воронцовского месторождений и ряда перспективных площадей на золоторудное оруденение. К ним принадлежат: геолого-структурная позиция, блоковое строение массивов горных пород, литолого-петрографический состав, характер метасоматических изменений пород, особенности гидрогеологических условий и набор экзогенных процессов.
2. Установлены основные компоненты инженерно-геологических условий, определяющие их сложность и позволяющие выделить для условий Урала новый "светлинский" тип золоторудных месторождений.
3. Выявлены основные закономерности распространения и изменения компонентов инженерно-геологических условий в пределах месторождений.

Установлено, что разрез изучаемого типа месторождений имеет двухярусное строение. Верхний ярус сложен рыхлыми и мягкими связными породами /вскрытыми, заполнителем карстовых полостей, тектонитами и породами кор выветривания/. Нижний ярус - прочными скальными породами, в различной степени измененными процессами метаморфизма, метасоматоза, а также карстовым. Показано, что для разреза пород каждого яруса характерен "стационарный" режим изменчивости показателей свойств.

4. Выбран и обоснован комплекс методов прогнозирования инженерно-геологических условий месторождений "светлинского" типа на стадиях разведки /метод-аналогии и методы математического моделирования/.

5. Прогноз методом аналогий выполнен с применением качественных и полуколичественных критериев подобия. Моделью-аналогом месторождений "светлинского" типа выбрано Астафьевское месторождение. Доказано, что метод аналогий является одним из самых эффективных при прогнозировании отработки месторождений, характеризующихся сложными инженерно-геологическими условиями. Он является основой при прогножном инженерно-геологическом районировании и определении вероятности возникновения инженерно-геологических процессов. Особое значение метод приобретает при решении прогнозных задач для месторождений с широким развитием кор выветривания.

6. Для комплексной количественной оценки сложности инженерно-геологических условий была использована методика, предложенная и разработанная Г.К.Бондариком и В.В.Пандиным. Выбраны и обоснованы количественные показатели, отражающие инженерно-геологические условия. Построены математические модели полей показателей и вынесены их общие и локальные закономерности. Для каждой ячейки экспериментальной основы рассчитаны значения интегрального показателя и построена модель его поля.

7. На базе интегрального показателя выполнен прогноз инженерно-геологических условий отработки месторождений "светлинского" типа. Получена зависимость угла наклона бортов карьера и интегрального показателя. На основании графика зависимости $\alpha = f(I) /$ выполнено инженерно-геологическое районирование нижнего яруса изучаемых месторождений. Выделены 3 категории сложности, отвечающие классам устойчивости: I класс - относительно устойчивых пород; II класс - средней устойчивости; III класс - низкой устойчивости.

8. Обоснованы ограничения в применении интегрального показателя для решения прогнозных задач, относящихся к участкам развития кор выветривания /на месторождениях "светлинского" типа/. Они объединены в IV класс устойчивости пород /неустойчивые/.

9. На базе комплекса методов составлена обобщенная модель месторождений "светлинского" типа, выполнено прогнозное инженерно-геологическое районирование, что позволит корректно решить вопросы устойчивости бортов карьеров и развития инженерно-геологических процессов.

10. Дальнейшие исследования по данной проблеме должны быть направлены на верификацию прогнозов инженерно-геологических условий разведки объектов первоочередного вскрытия, систематизацию, обобщение данных инженерно-геологического изучения месторождений для прогноза глубоких горнозонах.

11. Предлагается автором методика прогнозирования инженерно-геологических условий отработки месторождений "светлинского" типа может явиться основой для разработки оптимальных решений, касающихся строительства карьеров глубокого заложения и технологии разработки полезных ископаемых.

12. Представленные в работе результаты были использованы при проектировании и строительстве Светлинского карьера. Верификация прогноза, выполненного путём сравнительного анализа прогнозных данных с фактическими, полученного на опытно-эксплуатационном участке Светлинского месторождения, показала эффективность методики, предложенной автором.

