

УДК 553.04

Опыт использования горно-геологической системы Micromine при оценке экономической эффективности отработки Горевского свинцово-цинкового месторождения

И.В. Макаров^{а*}, В.А. Пронский^б

*^аСибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

*^бНовоангарский обогатительный комбинат,
Россия 663412, п. Новоангарск Мотыгинского района
Красноярского края, ул. Просвещения, 19*

Received 29.01.2012, received in revised form 19.05.2012, accepted 03.11.2012

Показан в реализации методический подход оценки экономической эффективности отработки запасов месторождения. Освещена технология блочного моделирования запасов с использованием горно-геологической информационной системы Micromine на примере уникального Горевского свинцово-цинкового месторождения.

Ключевые слова: экономическая эффективность разработки Горевского месторождения свинцово-цинковых руд, вариограмма, блочная модель, оптимизация карьера, алгоритм Лерча-Гроссмана, предельный карьер.

Введение

Рассматривая опыт использования горно-геологических информационных систем и алгоритмов блочного моделирования за рубежом, можно говорить, что на данный момент практически ни одно месторождение с иностранным участием освоения не оценивается без привлечения аппарата геостатистики и горно-геологических информационных систем. Создание модели месторождения и геостатистические исследования имеют место на ранних стадиях развития проекта и не прекращаются до завершения эксплуатации. Основоположниками новой теории оценки с применением геостатистики стали исследователи, работающие с материалами по золоторудным месторождениям Южной Африки: Д. Криге, Х. Девийс, Ж. Серра. Значительный вклад в развитие математического аппарата геостатистической теории внес французский ученый, а ныне президент международной ассоциации геостатистики Ж. Матерон. Наиболее популярной на территории России и СНГ является методическая литература следующих авторов:

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: sla.miv@mail.ru

Michel David [1], Isobel Clark [2], George S. Koch, Jr., Richard F. Link [3], Pierre Goovaerts [4]. Данные источники освещают такие направления исследований: изменчивость природных образований; теоретические основы геостатистики; виды вариограмм; принципы их моделирования; основные виды интерполяции, используемые в геостатистике; эффекты методов интерполяции.

В российской литературе по геостатистике и моделированию месторождений в работах Ю.Е. Капутина [5-7] дан всеобъемлющий обзор применения геостатистики, моделирования месторождений, теории оптимизации карьеров и т.п. как в российской практике, так и в западной. Главным объектом, на котором автор демонстрирует основные принципы оптимизации карьеров, является золоторудное месторождение Кумутор. Наибольшей ценностью в данной работе стал анализ принципов оптимизации карьеров на действующем предприятии с учетом необходимости обеспечения компромисса между интересами инвесторов (целевой NPV) и увеличением срока жизни рудника в интересах государства. Наряду с работой Ю.Е. Капутина данный вопрос раскрывают М.В. Лесонен М.В. и М.С. Сень [8], предлагая механизм определения контура карьера с учетом интересов недропользователя и государства, где в качестве основных критериев оптимизации карьера рассматривается чистый дисконтированный доход и дисконтированная бюджетная эффективность. В продолжение этой тематики авторы раскрывают принципы использования оптимизаторов карьера при технико-экономической оценке месторождений, а также предлагают параметры кондиций, применяемые при подсчете запасов методами блочного моделирования [9, 10].

Принципы оптимизации, а также характеристика алгоритма Лерча-Гроссмана даны в работе О.В. Стагуровой [11], где на простейшем примере рассмотрен математический аппарат применяемого метода. В работах А.А. Твердова, А.В. Жура [12] проведен анализ для выявления преимуществ метода оптимизации карьера на основе блочных моделей относительно традиционных методик, применяемых в российской проектной практике.

Обзор проблемы

Разработка Горевского месторождения, одного из крупных месторождений свинцово-цинковых руд в мире, осуществляется в специфических горно-технических условиях. Из-за локализации рудных тел в непосредственной близости к руслу р. Ангары, а части из них под руслом реки современный карьер приходится ограждать водозащитной дамбой (рис. 1). На данный момент глубина карьера составляет 90 м, в то время как рудные тела свинцовых и свинцово-цинковых руд прослежены на глубину 900-1000 м. Предельный карьер под защитой дамбы первой очереди имеет проектную отметку дна карьера – 175 м. В связи с тем, что предприятие планирует увеличение производительности карьера с 1 до 2,5 млн т в год, перед горно-обогатительным комбинатом стоит задача пересмотра предельной глубины разработки месторождения и определения проектного местоположения дамбы второй очереди с последующим ее строительством и осуществлением проекта разработки месторождения на предельную глубину. При этом на проведение предпроектных работ по установлению предельной глубины разработки и оценки зоны влияния карьера накладываются два ограничения:

- в северной части месторождения (подрусловая часть месторождения) зона влияния предполагаемого карьера ограничивается проектируемой дамбой 2-й очереди. В случае распространения карьера за контуры дамбы проект должен быть пересмотрен;

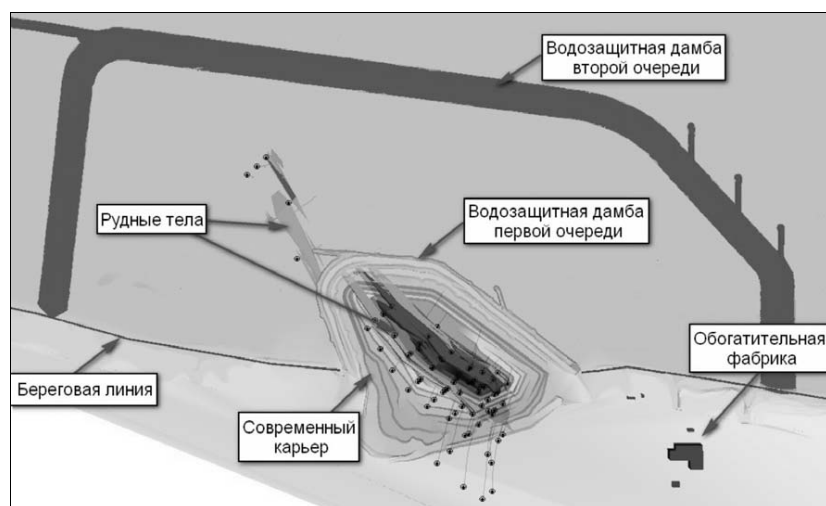


Рис. 1. Ситуационный план Горевского ГОКа

- в юго-восточной части месторождения зона влияния предполагаемого карьера ограничивается расположением объектов промплощадки, в том числе обоганительной фабрики. В случае попадания объектов промплощадки в зону влияния карьера неизбежен перенос этих объектов и, как следствие, будут понесены затраты на реализацию этих работ (рис. 1).

В связи с имеющимися ограничениями возникла необходимость исследования вариантов разработки месторождения с выводом технико-экономических показателей по каждому из них.

Для определения оптимальных границ горных работ с применением алгоритмов блочного моделирования предусматривалось решение следующего ряда задач:

- 1) статистическое, геостатистическое исследование месторождения. Блочное моделирование месторождения. Сопоставление запасов, оцененных по блочным моделям, с запасами, подсчитанными по традиционной методике;
- 2) проведение оптимизации границ ведения горных работ с целью определения:
 - а) степени инвестиционной привлекательности месторождения с учетом вовлечения в разработку Северо-Западного рудного тела;
 - б) взаимоотношения проекта дамбы второй очереди и предельного карьера в современной экономической ситуации;
 - в) технико-экономических показателей разработки месторождения с учетом переноса обоганительной фабрики из зоны влияния карьера и с учетом сохранения ее современного положения. Определение технико-экономических показателей разработки месторождения, учитывающих комбинированный способ освоения. Определение наиболее привлекательного варианта разработки с точки зрения экономической эффективности.

Анализируя подходы к решению подобных задач, в качестве основных критериев для установления экономически оптимальных границ открытых горных работ в российской проектной практике широко применяется граничный коэффициент вскрыши. Имеющиеся аналитические

методы определения граничного коэффициента вскрыши отличаются простотой и могут быть разделены на два основных подхода:

- сопоставление себестоимости открытых горных работ и подземных горных работ;
- оценка по условию погашения себестоимости вскрышных и добычных работ выручкой от реализации товарной продукции (или в некоторых случаях по замыкающим затратам) [12].

В последнее время широкое распространение получил метод оптимизации границ открытых горных работ, реализующийся в горно-геологических информационных системах (ГГИС). Алгоритм оптимизации подразумевает использование цифровых блочных моделей месторождения. Данный метод, в отличие от подхода с использованием граничного коэффициента вскрыши, дает возможность учитывать следующие основные технико-экономические показатели: капитальные затраты, срок освоения проектной мощности и период окупаемости, производительность предприятия, налоговые отчисления, срок эксплуатации предприятия, необходимый уровень рентабельности для экономической привлекательности проекта освоения месторождения.

Основным преимуществом оптимизации границ открытых горных работ с использованием современных ГГИС выступает возможность многовариантного анализа сценариев разработки месторождения с минимальными затратами времени. Однако применение современных оптимизаторов, являющихся неотъемлемой частью ГГИС, предполагает использование блочной модели месторождения. Данный метод в качестве основного был привлечен для исследования вариантов разработки месторождения и решения предпроектных задач на Горевском свинцово-цинковом месторождении.

Общие сведения о месторождении.

Краткая геологическая характеристика

Горевское месторождение свинцово-цинковых руд находится в Мотыгинском районе Красноярского края, в левобережной части реки Ангары, на расстоянии 38 км от ее устья.

В геологическом строении Горевского месторождения принимают участие главным образом карбонатные породы протерозойского возраста и в меньшей мере палеозойские породы, покрытые чехлом (до 30 м) третичных и четвертичных осадков. Магматические породы в виде единичных маломощных (от сантиметров до нескольких метров) долеритовых даек прорывают осадочные породы.

В структурном отношении месторождение приурочено к Горевской синклинали складке, осложняющей крыло крупной Алешкинской антиклинали. Простираение шарнира Горевской синклинали СЗ 310-120° с крутым погружением в юго-восточном направлении. Крылья синклинали осложнены более мелкими складками, которые, в свою очередь, усложнены микроскладчатостью [13].

Рудная зона Горевского месторождения на плане имеет линзообразную форму и вытянута с юго-востока на северо-запад (рис. 1).

В рудной зоне выделено три крупных рудных тела, представленные метасоматическими сульфидными залежами линзовидной и пластообразной формы. Рудные тела расположены кулисообразно и залегают согласно с вмещающими известняками.

Главное рудное тело представляет залежь длиной 1100 м по простиранию и 1200 м по падению при нормальной мощности 60-100 м. Северо-западный фланг рудного тела на протяжении 800 м выходит на поверхность под наносы, юго-западный фланг под углами 60-80° погружается на глубину.

Околорудные гидротермальные изменения вмещающих пород (окварцевание, доломитизация, сидеритизация и в меньшей степени биотитизация) прослеживаются на расстоянии до 50 м в стороны от рудных тел и на 100-150 м выше их по восстанию.

Главными рудными минералами являются галенит (8-10 %), сфалерит (1-3 %) и пирротин (4-6 %). Сульфиды замещают нерудные минералы и сопровождаются кварцем (30-35 %), сидеритом (30-40 %), кальцитом (3-2 %), доломитом (1-2 %), хлоритом и серицитом (3-6 %). Кроме того, в рудах присутствуют в небольших количествах пирит, марказит, магнетит, халькопирит, буланжеит, джемсонит.

Создание блочной модели месторождения «Горевское»

Модель месторождения создавалась в пределах контуров рудных тел, утвержденных в ГКЗ СССР в 1964 г. Так как, по мнению авторов отчета, с подсчетом запасов бортового содержания, равное 1 % условного свинца, вовлекает максимум запасов месторождения, а количество забалансовых запасов с бортовым содержанием от 0,5 до 1 % составляет меньше 1 % от общих запасов объекта, что указывает на то, что рудные тела, оконтуренные в 1964 г., включают в себя все запасы, которые потенциально могут быть извлечены с прибылью. В этой связи оконтуривание рудных тел с применением природного борта минерализации не производилось.

После создания рудных сечений в трехмерной среде ГГИС проводилось каркасное моделирование рудных тел с последующей статистической обработкой массива проб, попадающих внутрь этих каркасов. После вывода основных статистических показателей производился геостатистический анализ, в ходе которого выяснилось, что интерпретируемых вариограмм по простиранию рудных тел получить невозможно в силу малого количества рудных проб в этом направлении. Поэтому для интерполяции содержаний методом универсального кригинга было принято допущение об изотропности рудных тел. Были построены экспериментальные функции всенаправленных вариограмм по каждому рудному телу по Pb и по Zn, подобраны модели вариограмм, которые далее использовались для интерполяции содержаний в блочную модель. Примеры экспериментальных и модельных функций представлены на рис. 2, 3. В качестве альтернативного варианта оценки модели использовали метод обратных расстояний с применением динамического поиска. Алгоритм реализации оценки блочной модели с применением динамического поиска заключается в изменении параметров поискового эллипсоида в пределах каждого структурного блока в зависимости от изменения азимута простирания и угла падения рудного тела. После интерполяции содержаний в блочную модель для каждого варианта оценки произведена всесторонняя проверка корректности модели, а также сравнение запасов по блочным моделям с утвержденными запасами. Для дальнейшей работы по оптимизации границ ведения горных работ была выбрана блочная модель, которая оценивалась методом обратных расстояний с использованием динамического поиска в силу следующих причин:

- при сравнении с результатами подсчета запасов традиционным методом (утвержденным в ГКЗ СССР) зафиксированы наименьшие расхождения;

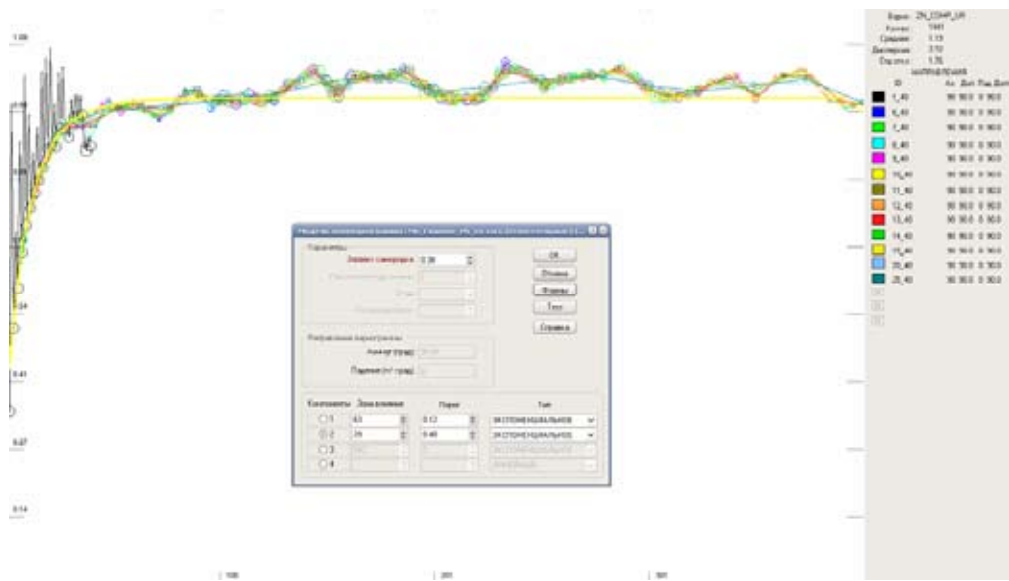


Рис. 2. Всенаправленные вариограммы Zn по главному свинцово-цинковому рудному телу

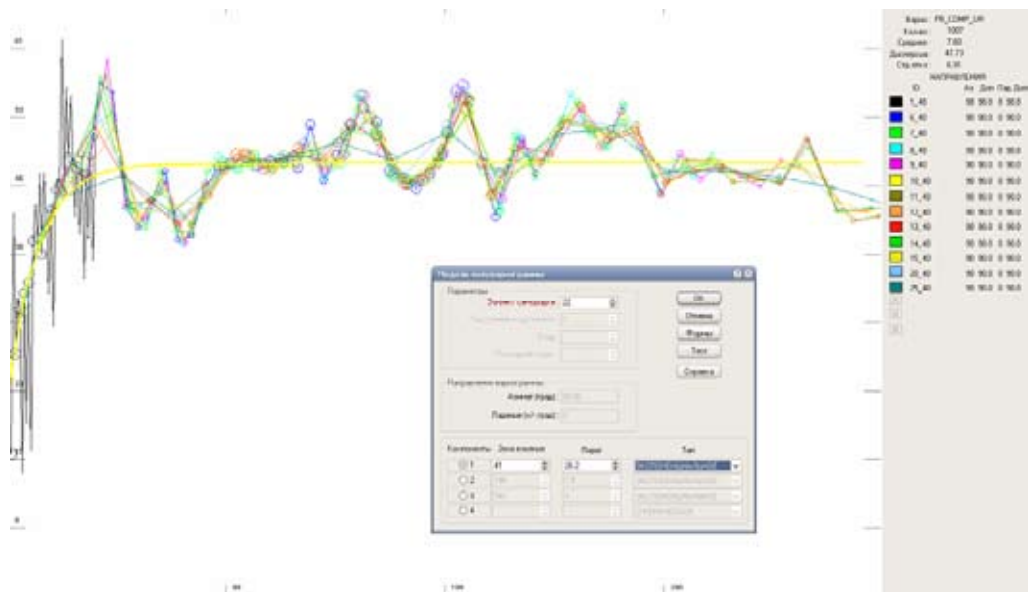


Рис. 3. Всенаправленные вариограммы Pb по главному свинцовому рудному телу

- интерполяция с применением динамического поиска позволила наиболее точно учесть морфологию рудных тел. Благодаря этому удалось более корректно оценить содержания в трехмерном пространстве;
- существующая на месторождении сеть разведочных скважин недостаточна для корректной оценки блочных моделей методом универсального кригинга (так как невозможно получить интерпретируемые вариограммы по простиранию рудных тел).

Оптимизация границ ведения открытых горных работ

Оптимизация границ ведения открытых горных работ с привлечением блочных моделей предполагает использование одного из алгоритмов оптимизации либо их комбинацию: алгоритм «плавающего» конуса; алгоритм Лерча-Гроссмана.

В алгоритме «плавающего» конуса каждый выемочный блок руды в модели рудного тела имеет «конус» материала сверху, который должен быть удален перед извлечением данного блока. Этот метод учитывает количество руды и породы, содержащееся внутри всех возможных конусов в месторождении. Результатом является форма карьера, которая дает максимальные значения выбранного критерия во всех конусах [7].

Алгоритм Лерча-Гроссмана основан на теории графов. Для каждого блока модели месторождения рассчитывают экономические параметры (обычно – прибыль), а затем программа выбирает комбинацию блоков, которая дает максимальное значение прибыли. Этот метод также предполагает предварительное удаление материала, лежащего сверху каждого анализируемого блока руды [7].

В работе с блочной моделью Горевского месторождения использовали алгоритм Лерча-Гроссмана.

Перед началом оптимизации карьера на основании блочной модели создавали экономическую модель, для этого были сформированы основные технико-экономические показатели: себестоимость добычи руды в карьере; возрастание себестоимости добычи с глубиной карьера; стоимость переработки; углы откоса бортов карьера; потери; разубоживание; сквозное извлечение полезных компонентов; производительность фабрики по руде; цена Pb в концентрате; цена Zn в концентрате.

Оптимизация сценарием освоения месторождения в рамках проекта дамбы второй очереди

Приоритетными для оценки изначально рассматривались два сценария отработки: с учетом вовлечения в отработку северо-западного рудного тела (подрусловая часть рудных тел); без учета вовлечения в отработку северо-западного рудного тела.

При проведении оптимизации по каждому из сценариев формировались наборы вложенных оболочек карьеров, полученных искусственным изменением цен на металлы за счет применения факторов корректировки доходов (ФКД). Факторы корректировки доходов – это коэффициенты к базовой цене на металлы, применяемые для формирования вложенных оболочек карьера. Алгоритм применения ФКД подразумевает умножение коэффициента на базовую цену, для которой рассчитывается свой оптимальный карьер. В случае применения нескольких ФКД оптимальный карьер рассчитывается для каждого коэффициента, тем самым образуя набор вложенных карьеров.

После формирования набора вложенных карьеров их оболочки анализировались с базовыми ценами на металл без учета капитальных затрат, а результирующие технико-экономические показатели выведены в виде таблиц. Графический вариант представления таблиц по вложенным оболочкам карьера изображен на рис. 4, 5 (все технико-экономические показатели даны в условных единицах). Из-за постоянного роста прибыли до фазы карьера, соответствующего предельному, отсутствия скачков объемов горной массы и коэффициента

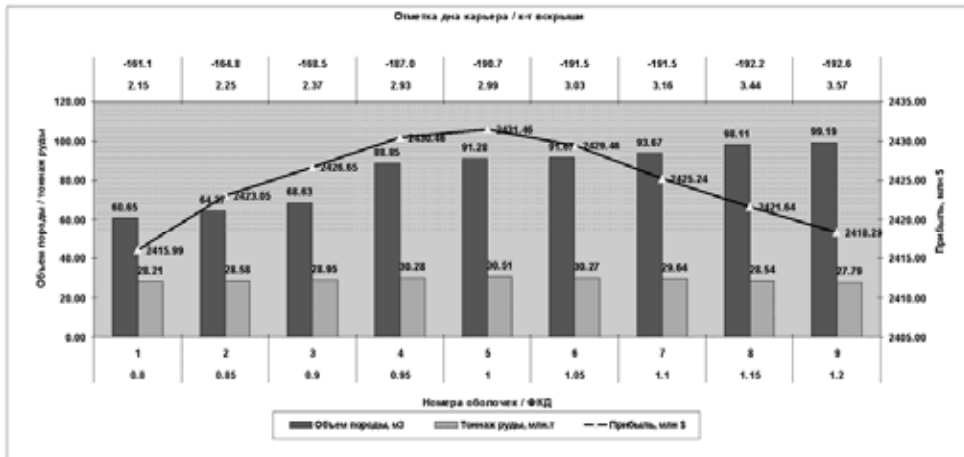


Рис. 4. Изменение объема руды, объема породы, коэффициента вскрыши, денежного потока по оболочкам карьера. Сценарий, не учитывающий отработку северо-западного рудного тела

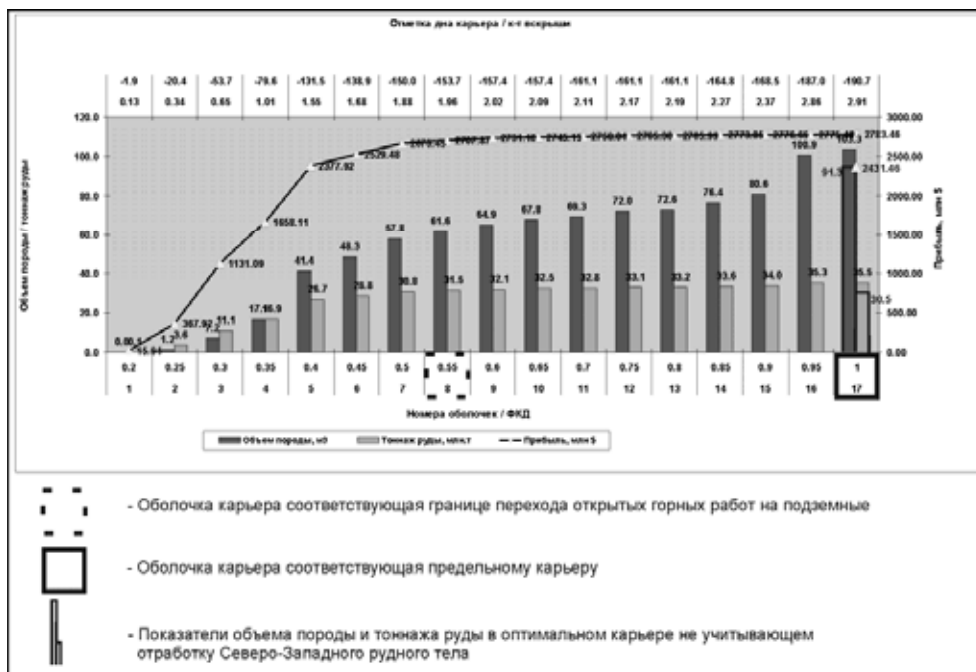


Рис. 5. Изменение объема руды, объема породы, коэффициента вскрыши, денежного потока по оболочкам карьера. Сценарий, учитывающий отработку северо-западного рудного тела

вскрыши для дальнейшего анализа были выбраны предельные карьеры (оболочки с номером 5). Общий вид предельных карьеров представлен на рис. 6. При анализе результатов оптимизации выяснилось, что вовлечение в отработку северо-западного рудного тела (подрусловая часть месторождения) позволит сохранить неизменными границы проектной дамбы второй очереди, а исключение из отработки северо-западного рудного тела приведет к значительным

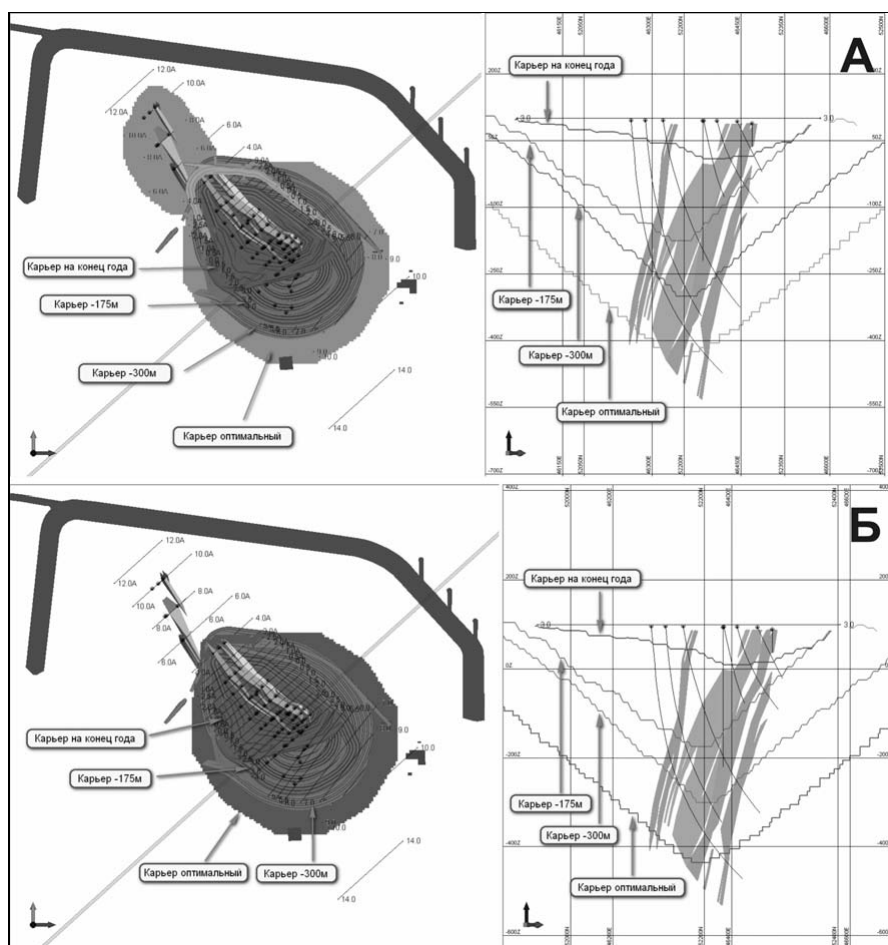


Рис. 6. Общий вид оптимальных оболочек и проектных карьеров предыдущих лет в пределах дамбы первой и второй очередей: а – с учетом отработки северо-западного рудного тела; б – без учета отработки северо-западного рудного тела

потерям эффективности отработки месторождения, поэтому для дальнейшей оптимизации рассматривался вариант, учитывающий отработку северо-западного рудного тела. При анализе оболочки карьера, учитывающей отработку северо-западного рудного тела в трехмерной среде ГГИС, выяснилось, что она разделяется на две «чашки», которые соприкасаются в переходе между группами рудных тел (рис. 6). Для последующей оптимизации рассматривался вариант оболочки карьера, учитывающий удаление «целика» пустой породы между двумя чашами с целью объединения двух карьеров в один. Было произведено искусственное удаление пустой породы между двумя чашами и оценены изменения основных технико-экономических показателей. В результате оценки выяснилось, что отклонения по объему породы, руды и среднему содержанию незначительны и укладываются в 5 %.

В результате проведенных горно-геометрических построений с заданными углами откоса выяснилось, что обогатительная фабрика попадает в зону влияния карьера и располагается в 50 м от верхней бровки. При этом безопасное расстояние расположения объектов промплощадки от

верхней бровки карьера должно быть около 350 м. Поскольку перенос обогатительной фабрики – затратный процесс, был рассмотрен вариант отработки месторождения комбинированным способом. Для этого проведено определение границы перехода открытых горных работ на подземные.

Определение границы перехода открытых горных работ на подземные

Ввиду отсутствия в имеющейся программе возможности оптимизации границ ведения открытых горных работ с учетом перехода на подземные горные работы была применена методика, где в качестве вспомогательного инструмента использовали контурный и граничный коэффициент вскрыши. Данный подход представляет собой традиционный вариант обоснования перехода открытых работ на подземные, применяемый в российской проектной практике.

Ключевым отличием от традиционного подхода, где контурный коэффициент вскрыши подсчитывается в прирезаемой части в пределах нескольких разрезов при увеличении глубины карьера на один уступ, являлось использование вложенных оболочек карьера, получаемых с помощью оптимизации при различных ценах на металл, тем самым исключая рутинные операции по выводу коэффициентов в плоскостях разреза. Далее представлен алгоритм реализации данной методики:

- 1) определение тенденции изменения углов откоса карьера с глубиной;
- 2) расчет граничного коэффициента вскрыши по формуле

$$K_{\text{вскр}} = (C_{\text{п}} - C_{\text{о}}) / C_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{п}}$ – себестоимость добычи подземным способом, руб/т; $C_{\text{о}}$ – себестоимость добычи открытым способом, руб/т; $C_{\text{в}}$ – себестоимость вскрышных работ, руб/т. В условиях Горевского месторождения $K_{\text{вскр}} = 18,9$ т/т;

- 3) оптимизация границ ведения горных работ с выводом вложенных оболочек за счет применения ФКД (фактора корректировки дохода) от 0,2 до 1 с шагом 0,05;
- 4) анализ вложенных оболочек с базовыми технико-экономическими показателями;
- 5) вывод основных технико-экономических показателей в табличную форму. Расчет контурных коэффициентов вскрыши по вложенным оболочкам (табл. 1);
- 6) определение оболочки, соответствующей предельной, при переходе открытых горных работ на подземные путем сравнения расчетного граничного коэффициента вскрыши (п. 2) с расчетными контурными коэффициентами вскрыши (п. 5).

В результате применяемой методики в качестве оболочки карьера, соответствующей границе перехода открытых горных работ на подземные, выбрана оболочка № 8 (табл. 1, рис. 5). Параметры оболочки карьера № 8 позволяют выдержать безопасное расстояние между верхней бровкой карьера и обогатительной фабрикой, при этом проектная отметка дна карьера изменяется на 40 м относительно предельной оболочки, рассчитанной с базовой ценой на металлы.

Результаты исследования

В результате статистического и геостатистического исследований месторождения выяснилось, что результаты рядового опробования имеют между собой устойчивые корреляцион-

Таблица 1. Расчет контурных коэффициентов вскрыши

Номер облоочки	Фактор корректировки дохода (ФКД)	Абсолютная отметка дна карьера, м	Объем руды, млн м ³	Объем вскрыши пород, млн м ³	Коэффициент вскрыши средний, м ³ /т	Коэффициент вскрыши контурный, т/т	Прибыль, млн \$
1	0.20	-1.9	0.03	0.01	0.10	-	15.94
2	0.25	-20.4	1.10	1.23	0.34	1.14	367.92
3	0.30	-53.7	3.36	7.24	0.65	2.65	1131.09
4	0.35	-79.6	5.12	17.06	1.01	5.58	1658.11
5	0.40	-131.5	8.08	41.38	1.55	8.24	2377.92
6	0.45	-138.9	8.72	48.35	1.68	10.79	2529.48
7	0.50	-150.0	9.34	57.78	1.87	15.32	2670.45
8	0.55	-153.7	9.55	61.61	1.95	18.27	2707.87
9	0.60	-157.4	9.72	64.86	2.02	19.22	2731.16
10	0.65	-157.4	9.84	67.78	2.09	24.18	2745.15
11	0.70	-161.1	9.94	69.31	2.11	14.49	2758.04
12	0.75	-161.1	10.04	71.97	2.17	27.28	2765.30
13	0.80	-161.1	10.06	72.65	2.19	31.04	2765.99
14	0.85	-164.8	10.18	76.37	2.27	32.54	2773.05
15	0.90	-168.5	10.29	80.63	2.37	38.01	2776.65
16	0.95	-187.0	10.69	100.85	2.86	50.41	2775.46
17	1.00	-190.7	10.76	103.28	2.91	34.42	2783.46
18	1.05	-191.5	10.79	103.67	2.91	15.55	2775.46
19	1.10	-191.5	10.80	105.67	2.96	135.00	2769.24
20	1.15	-192.2	11.07	110.11	3.01	16.22	2765.64
21	1.20	-192.6	11.15	111.19	3.02	14.50	2762.29

ные связи, выражающиеся в экспериментальных моделях всенаправленных вариограмм. При этом в направлении простирания рудных тел отсутствуют интерпретируемые вариограммы, что косвенно указывает на недоразведанность месторождения в этом направлении. В ходе моделирования месторождения в среде ГГИС Micromine и сравнительного анализа с утвержденными ГКЗ данными подсчета запасов получены незначительные расхождения в запасах руды и ее качестве (+5 % по руде и -0,23 % по содержаниям свинца и -5,42 % по содержаниям цинка);

Оптимизация границ ведения горных работ привела к следующим выводам:

а) вовлечение в разработку северо-западного рудного тела позволяет значительно увеличить экономическую эффективность эксплуатации Горевского свинцово-цинкового месторождения (обосновано увеличение прибыли на 13 % относительно базового варианта, табл. 2);

б) предельный карьер при современных экономических условиях не выходит своими границами за проектное положение дамбы второй очереди как при рассмотрении сценария освоения месторождения, не учитывающего отработку северо-западного, так и с учетом его разработки;

Таблица 2. Техничко-экономические показатели по сценариям отработки Горевского месторождения

Сценарий отработки месторождения	Объем породы, м ³	Тоннаж руды, млн т	Коэффициент вскрыши, м ³ /т	Отметка дна карьера, м	Прибыль, млн \$
Без учета вовлечения в отработку северо-западного рудного тела. Перенос обогатительной фабрики	91.28	30.51	2.99	-190.7	2431.46
С учетом вовлечения в отработку северо-западного рудного тела	103.3	35.5	2.91	-190.7	2783.46
Оболочка карьера, соответствующая границе перехода открытых горных работ на подземные. С учетом вовлечения в отработку северо-западного рудного тела	61.6	31.5	1.96	-153.7	2707.87

в) с точки зрения экономической эффективности разработки месторождения наиболее эффективным является сценарий, учитывающий разработку северо-западного рудного тела с учетом переноса обогатительной фабрики, так как затраты на перенос не превысят величину в 75 млн \$ (см. табл. 2). Однако для уточнения этого вывода на последующих этапах работы необходимо оценить технико-экономические показатели освоения месторождения подземным способом, провести оптимизацию полученных оболочек карьера с учетом капитальных затрат и стоимости денег во времени с выводом чистого дисконтированного дохода и внутренней нормы доходности. Только после этого с большей долей достоверности можно говорить о выборе наиболее оптимального сценария отработки месторождения.

Приведенные результаты служат основой для выработки окончательной стратегии освоения Горевского месторождения.

Список литературы

- [1] *Michel D.* Geostatistical ore reserve estimation. Scientific company Amsterdam Oxford New York, 1977.
- [2] *Clark I.* Practical Geostatistics / Isobel Clark – Geostokos Limited, Alloa Business Centre, 2001.
- [3] *Koch G.S. Jr., Link R.F.* Statistical analysis of geological data. Dover Publications, 2002.
- [4] *Pierre Goovaerts.* Geostatistics for natural resources evaluation / Pierre Goovaerts – Oxford University Press, 1997.
- [5] *Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С.* // Кольский научный центр РАН, 1995.
- [6] *Капутин Ю.Е.* Горные компьютерные технологии и геостатистика // СПб., 2002.
- [7] *Капутин Ю.Е.* Информационные технологии планирования горных работ / СПб., 2004.
- [8] *Лесонен М.В., Сень М.С.* // Недропользование XXI век. 2010. № 4. С. 42–45.
- [9] *Лесонен М.В., Сень М.С.* // Недропользование XXI век. 2010. № 3. С. 84–86.
- [10] *Лесонен М.В., Сень М.С., Уткина Н.Е. и др.* // Недропользование XXI век. 2010. № 3. С. 62–65.

[11] Стагурова О.В. // Недропользование XXI век. 2010. № 6. С. 38–42.

[12] Твердов А.А., Жура А.В., Никушичев С.Б. // Уголь. 2009. № 2. С. 21–23.

[13] Шерман М.Л. Горевское месторождение свинцово-цинковых руд в Енисейском крае – Красноярск, 1964.

The Experience of Using Mining and Geological Information System Micromine for Estimation the Economic Efficiency of Extraction Gorevskoe Pb-Zn Deposit

Ilya V. Makarov^a and Valeriy A. Pronskiy^b

^a *Siberian Federal University,*

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

^b *Novoangarskiy OK,*

19 Prosvechenia, Novoangarsk, 663412 Russia

In this article describes the experience of block modeling Gorevskoe deposit. The main purpose is to estimation the economic efficiency of extraction deposit with using mining and geological information system Micromine. The article describes four scenarios for reserve development of Gorevskoe deposit:

- 1. Mining of ore bodies located under the Angara river*
- 2. Without mining of ore bodies located under the Angara river*
- 3. Mining of ore bodies located under the Angara river with transfer processing plant*
- 4. Mining of ore bodies located under the Angara river, with combine open pit and underground mining.*

The evaluation of all scenarios is the most cost-beneficial scenario is mining of ore bodies located under the Angara river with transfer processing plant.

Keywords: economic efficiency of mining Gorevsky deposit, variogram, block model, pit optimization, Lerch-Grossman algorithm, ultimate pit.
