

УДК 622.271

А.М. Иоффе

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКОЦЕННЫХ РУД ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ

Разработана методология обоснования целесообразной глубины перехода от открытого к открыто-подземному способу отработки, которая апробирована для условий месторождений Сухой Лог, Наталкинское, Мурунтау и Мютенбай. Выполнена оценка экономической эффективности при пяти вариантах комбинирования открытых, открыто-подземных и подземных работ.

Ключевые слова: высокоценные руды, минерально-сырьевой комплекс, моделирование месторождения, открыто-подземной способ отработки.

Семинар № 16

A.M. Ioffe
**THE EFFICIENCY ENHANCEMENT
OF THE HIGH-PRICED ORE
DEVELOPMENT WITH THE OPEN-CUT
TECHNOLOGY**

The method of the justification of the feasible depth for implementation of the combined method of the open-cut and underground mining is developed and tested in the conditions of the Suhoi Log, Natalkinskoe, Muruntau and Myutenbay deposits. The estimation of the economical feasibility of the five variants of the combination of the open-cut, open-cut-underground and underground works.

Key words: high-priced ores, mineral and raw material complex, deposit modeling, open-cut-underground mining.

Оценивая современное состояние отечественного минерально-сырьевого комплекса, представленного высокоценными рудами ВЦ (золото, серебро, платина, медь, никель), необходимо отметить следующие основные особенности и тенденции его развития в последнем десятилетии [1]:

сокращение разведанных запасов по сравнению с 1991 г., %: золота на 10, никеля — 7,5, меди — 6,2,

вольфрама — 4,5, платиноидов — 7,5;

сокращение сроков обеспеченности сырьем большинства горно-добывающих предприятий цветной металлургии, особенно в старых горнорудных районах;

сложные географо-экономические условия размещения запасов высокоценных руд (золото — Якутия, Магаданская область, Иркутская область, Чукотский АО;

снижение среднего содержания металла в руде, поступающей на обогащение на разведанных и осваиваемых месторождениях, по мере развития на них горных работ.

Существенно уменьшить негативное влияние указанных факторов на экономику горнодобывающих предприятий можно путем: повышения полноты использования недр (за счет поэтапного снижения кондиций, применения равноустойчивого выпуклого борта на карьерах и комбинированного открыто-подземного способа разработки), применения компьютерного моделирования при обосновании границ карьеров и режима горных работ; создания и оптимизации

структурных схем транспортных потоков, в т.ч. на основе ЦПТ для транспортировки горной массы из рабочей зоны карьера.

Следует отметить, что институтом ВНИПИпромтехнологии накоплен значительный опыт в решении проблем, связанных с проектированием и освоением месторождений высокоценных руд [2] Стрельцовское, Маньбай, Меловое, Удокан, Сухой Лог, Наталкинское, Нежданинское, Вернинское, Мурунтау, Мютенбай, Даугызтау, Кокпатас, Покровское, Многовершинное, Куранах, Эрдэнэт, трубка «Ломоносовская», «Удачная»), что позволяет успешно решать задачи повышения эффективности их отработки.

К первоначальным задачам, решение которых может быть найдено на современном уровне в короткие сроки, можно отнести следующее:

1. Создание информационной базы данных по горно-геологическим условиям эффективной отработки сложноструктурных месторождений высокоценных руд.

2. Определение экономически допустимой глубины отработки месторождений открытым способом, установление рационального режима горных работ в принятых границах карьера, выбор их производственной мощности и порядка поэтапной отработки на основе внедрения в производство новых нетрадиционных технологий, а в проектирование компьютерного моделирования.

3. Создание и оптимизация структурных схем грузопотоков и применяемых средств для транспортировки горной массы из рабочей зоны карьера с целью интенсификации отработки месторождений.

4. Оптимизация кондиций на руду, предусматривающая снижение бортового содержания по этапам и годам

разработки, что позволяет укрепить и расширить сырьевую базу предприятия, продлить продолжительность этапа стабильного режима работы как карьера, так и обогатительной фабрики.

5. Разработка нетрадиционных схем взрывания высоких уступов и реализация их опытно-промышленного внедрения. Создание специальных методов сейсмобезопасного ведения буровзрывных работ в приконтурных зонах карьера.

6. Обоснование, выбор и внедрение эффективных композиций новых водоземлюльсионных взрывчатых составов, обуславливающих возможность комплексной механизации процессов БВР и наиболее безопасное и экологичное их производство.

7. Создание новых нетрадиционных расчетных методов, инженерных решений и технических средств, обеспечивающих надежное управление устойчивостью бортов карьеров, отработывающих месторождения в сложных горно-геологических и сейсмо-геодинамических условиях.

С учетом рассмотренных принципов и задач по ряду вышеперечисленных золоторудных месторождений проведены исследования по изысканию путей повышения эффективности их разработки с наилучшими для рассматриваемых условий технико-экономическими показателями, совершенствованию схем вскрытия и комплексной механизации, оптимизации границ и графиков отработки карьеров. Выполненные исследования легли в основу предпроектных проработок по освоению крупнейшего в России золоторудного месторождения Наталка.

Наталкинское месторождение расположено в Тенькинском районе Магаданской области в верхних притоках р. Колыма в 4 км к западу от по-

селка Омчак. Регион размещения месторождения характеризуется:

- суровыми климатическими условиями с продолжительной морозной зимой (среднемесячной температурой в декабре—феврале от -33 до -40°C), среднегодовая температура — -16°C ;

- интенсивно расчлененным среднегорьем с абсолютными отметками до 1200 м и разницей отметок до 300 м;

- наличием зоны многолетнемерзлых пород;

- высокими колебаниями влажности воздуха (зимой до 65—75 %);

- значительной удаленностью от областного центра (около 400 км);

- недостаточной обеспеченностью региона электроэнергией.

Его длина по простиранию в северо-западном направлении составляет 4600 м. Мощност резко падающей зоны минерализации или «Рудной залежи» составляет от 50 до 400 м. Мощност рудного тела возрастает к юго-востоку, где оно распадается на три зоны, а именно Западную Ветвь, Центральную Ветвь и Восточную Ветвь, на юго-востоке зона минерализации огибает Наталкинскую синклинали и выклинивается на с-в крыле.

Прослеживается структура золотой минерализации, а распределение золота привязано к геометрии системы нарушений и разрывов. Для стержневых зон месторождения характерно наиболее интенсивное жилкование, окварцевание и сульфидизация, а также повышенное содержание золота. Постепенное снижение содержания золота прослеживается от стержневой зоны к флангам месторождения.

В результате исследования «рудных зон» месторождения с повышенным содержанием золота на протяжении значительного периода была выявлена сложная и относительно неравномерная структура распределе-

ния золота, причем никакой четкой закономерности геометрии зон с повышенным содержанием золота не прослеживается. Рудные ветви рассматриваются как линейные зоны с высокой золотой минерализации, но геометрия этих зон изучена недостаточно.

Жилы и прожилки в основном заполнены кварцем (60—80 %) с меньшим количеством карбонатов и полевого шпата и незначительным количеством хлорита, серицита, каолинита, монтмориллонита, барита и апатита. Содержание сульфидов в руде не превышает 3—5 %, сульфиды присутствуют как в кварцевых жилах, так и в виде вкраплений в прилегающих вмещающих породах. Основная часть рудных минералов представлена арсенопиритом и пиритом (95—99 %), ее незначительная часть приходится на пирротит, галенит, сфалерит, халькопирит, природное золото, арсеносульфиды кобальта и никеля, ильменит и рутил. Выделяются две генерации золотой минерализации. На поздней фазе золото представлено зернами природного золота крупностью 0,1—2,0 мм в кварце, где оно находится в трещинах, внутрикристаллических и друзовых пустотах, а также встречается вдоль линий слоистости кварцевых жил, составляя около 70 % общего содержания золота. Большая часть прочего золота, представляющая раннюю фазу минерализации, встречается в виде мелких вкраплений в арсенопирите. Содержание серебра в золоте составляет 19—25 %, а содержание платиновых, платины, осмия и иридия составляет до 6 %. Геологический разрез по блочной модели месторождения в границах карьера представлен на рис. 1.

На основе математической модели месторождения выполнено компьютерное проектирование оптимальной

формы карьера (рис. 2) и календарного графика развития горных работ. Данные расчеты выполнены по технологии «ИНТЕГРА» и «ДЕТАМАИН» с использованием их программного обеспечения.

На подготовительном этапе производится сбор информации о месторождении и перевод ее в цифровой вид. Основными работами данного этапа являются создание базы данных детальной разведки, информация о геологическом строении месторождения и прилегающих зон и ввод данных топографической съемки района месторождения. На этапе моделирования месторождения создаются цифровая геологическая модель месторождения, оценивается достоверность ее построения (модель категорий разведанности), строится модель строения поля месторождения (породная модель) и цифровая модель дневной поверхности. Данная работа выполнена тематической группой ОАО «Рудник им. Матросова» и передана в качестве исходных данных для дальнейшего компьютерного проектирования.

Следующий этап — оптимизация финальной формы карьера.

Первоначально производится расчет товарно-ценовой модели, позволяющий определить рентабельные к переработке запасы, изучаются возможности технологий добычи и переработки руды, и производятся оценки их экономической эффективности. Окончательным результатом данного этапа являются промышленные и эксплуатационные запасы месторождения - сырьевая база проектируемого горнодобывающего предприятия. Дополнительно на данном этапе могут быть исследована изменчивость границ финальной формы карьера, в зависимости от экономических параметров. Такая работа

может быть полезна для оценки рисков проекта.

Этап расчета календарного графика отработки месторождения и оптимального развития горных работ в карьере позволяет определить мощность предприятия по переработке руды и добыче горной массы, произвести оценку требуемых капитальных вложений для создания и/или модернизации горного и перерабатывающего комплексов. Результатом данного аргала является построение движения денежных потоков и оценка инвестиционной привлекательности проекта горнодобывающего предприятия.

Проведено построение четырех вариантов карьера «Наталкинский» при различных бортовых содержаниях — $C_6=0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ г/т. Построение границ карьера при изменении C_6 проводилось на основе материалов подсчета запасов математической модели месторождения. Таким образом были получены геологические запасы руды и металла по горизонтам горных работ, находящихся в контуре каждого рассматриваемого варианта карьера. Расчет эксплуатационных запасов выполнен с учетом потерь (3 %) и разубоживания (9 %), возникающих в процессе эксплуатации.

Выполненными расчетами установлено, что наибольшая полнота использования недр при разработке месторождения обеспечивается при $C_6=0,4$ г/т (по сравнению с $C_6=1,0$ г/т объем запасов золота возрастает в 2,5 раза). Чистая прибыль при этом составляет 16,5 млрд. долл., с учетом дисконта — 4,4 млрд. долл. (при цене 1 г золота 20 долл. и норме дисконта 8 %).

Рассчитаны варианты календарного графика оптимального развития горных работ для рассматриваемых вариантов карьера, представленные на рис. 3, также по ним получены объемные показатели (табл. 1).

Таблица 1

Объемные показатели по карьеру Наталкинский

Вариант карьера	Показатели					
	C_6	Глубина, м	Объем горной массы, млн. м ³	Объем руды, млн. т	Производительность по руде, млн. т/год	Среднее содержание, %
1	0,4	600	1466	1168	40	100
2	0,6	500	875	708	35	125
3	0,8	460	647	482	22	145
4	1,0	370	430	324	17	162

Учитывая, что первый вариант карьера характеризуется лучшими технико-экономическими показателями по нему выполнены более детальные предпроектные проработки. Рассмотрены два варианта схемы вскрытия с использованием на вскрыше только автомобильного транспорта и автомобильно-конвейерного) комбинированного) и выполнены укрупненные технико-экономические расчеты. Определено, что капитальные затраты при автомобильном и комбинированном транспорте составляют 132 и 128 млн. долл. соответственно, а эксплуатационные годовые расходы — 56,6 и 56,3 млн. долл., т.е. с точки зрения экономики рассматриваемые варианты транспорта вскрыши практически равнозначны. Для принятия окончательно обоснованного решения по выбору вида транспорта в проекте необходимо выполнить более детальные расчеты. В том случае, если затраты на дизельное топливо, расход которого по карьеру может составить порядка 90-100 тыс. тонн, будут существенно больше затрат на электроэнергию (потребляемая мощность ЦПТ ориентировочно равна 28440 кВт), получаемую с местных электростанций, предпочтительным может оказаться вариант с комбинированным транспортом.

Для доставки руды на золотоизвлекательную фабрику автомобильно-конвейерный транспорт является безальтернативным, поскольку при этом

сокращаются плечо откатки на 9—10 км, капитальные затраты — на 170—180 млн. долл., а годовые эксплуатационные — на 45—50 млн. долл.

При отработке месторождения до глубины порядка 600—700 м одним из основных показателей, определяющим эффективность открытых работ, является объем вскрыши в контурах карьера, который напрямую зависит от генеральных углов погашения бортов. На базе современных достижений в области геомеханики скальных массивов предложен выпуклый (циссоидный) профиль бортов, что позволит на 5—10 % уменьшить объемы вскрышных работ с сохранением запасов золота, намеченных к отработке.

Породы, слагающие борта карьера «Наталкинский», представлены достаточно прочными разностями глинистых и туфовых окварцованных сланцев с временным сопротивлением сжатию от 500 кг/см² до 1800—2000 кг/см², сцепление пород в массиве изменяется от 52,3 до 67,8 т/м², угол внутреннего трения 26°—40° (данные ВНИМИ).

Для повышения надежности полученных результатов расчеты выполнялись в двух вариантах — с использованием методов алгебраического сложения сил и геометрического сложения сил (многоугольник сил). Это связано с тем, что первый метод не учитывает реакции между блоками и исходит из того, что призма возможного обрушения деформируется как

единое целое. Это приводит к тому, что коэффициент запаса, рассчитанный по данному методу, заведомо меньше фактического, а степень этого несоответствия зависит от высоты откоса, его угла и углов внутреннего трения пород и может колебаться от 3 до 20 %. При небольшой высоте (до 100 м), т.е. при расчетах уступов, групп уступов и отвалов этот метод дает достаточно надежные результаты.

Высота бортов карьера «Наталкинский» значительно превышает 100 м, соответственно более достоверные результаты дает второй метод, который учитывает реакции между блоками, повышает точность и надежность расчетов высоких откосов. Однако этот метод является более сложным и трудоемким по сравнению с алгебраическим сложением сил, что зачастую ограничивает возможности его применения при большом объеме расчетов. Указанная проблема преодолена путем создания уникальных компьютерных программ, обеспечивших многовариантность и оперативность, точность и надежность выполняемых расчетов, что существенно снижает риск возникновения деформаций откосов на предельном контуре.

Выполненными расчетами, результаты которых даны в табл. 2, установлено, что при нормативном коэффициенте запаса 1,3 предельно-допустимые углы погашения по карьере в зависимости от высоты борта составляют: 400 м — 48°; 500 м — 44,5°; 600 м — 42,5°; 700 м — 41°; 800 м — 40°.

Учитывая, что борта карьера при наличии транспортных берм и комплексов ЦПТ являются ответственными инженерными сооружениями со сроком службы порядка 40 лет необходимо обеспечить их длительную устойчивость. Это достигается за счет предложенных специальных сейсмобезопасных методов ведения взрыв-

ных работ в приконтурных зонах существенно снижающих разрушающее воздействие технологических взрывов в карьере, составляющих порядка 700—800 т ВВ, на прибортовой массив.

Массив карьера «Наталкинский» на глубину 250—300 м от земной поверхности находится в зоне вечной мерзлоты, в связи с этим целесообразно при оценке устойчивости и обосновании рациональных параметров его откосов использовать накопленный по данной проблеме опыт по глубоким карьерам, отрабатывающим алмазные трубки в Якутии. Выполненный анализ показал, что такие карьеры по общей устойчивости бортов находятся в достаточно благоприятных условиях и могут отстраиваться с весьма крутыми углами, достигающими 50—55° при высоте 500—700 м. Основной проблемой в рассматриваемых условиях является обеспечение устойчивости отдельных уступов и групп уступов.

Тектоническая нарушенность может оказывать заметное отрицательное влияние на состояние устойчивости бортов карьера, проведены анализ и обобщение материалов по тектоническому строению Наталкинского рудного поля. Установлено, что частично тектонические нарушения залечены дайками, что улучшает условия устойчивости откосов. На современном этапе изученности строения прибортового массива можно с достаточной высокой вероятностью прогнозировать незначительное влияние указанных разломов на устойчивость бортов карьера в целом. Их влияние будет распространяться скорее всего на отдельные локальные участки в местах пересечения разломами откосов на предельном контуре в пределах одного-двух нерабочих уступов при ширине по фронту 5—20 м. На таких участках, особенно при нали-

Таблица 2

Результаты расчета устойчивости бортов, уступов и отвалов карьера месторождения «Наталкинское»

Высота борта, м	Угол наклона борта, град.	Призма обрушения, м	Коэффициент запаса устойчивости	
			нормативный	расчетный
400	48	55,6	1,3	1,58
500	44,5	64,8	1,3	
600	42,5	72,3	1,3	1,51
700	41	84,8	1,3	
800	40	89,5	1,3	1,53

Расчетные параметры уступов

Проложение откоса уступов, L, м	Угол откоса уступа, а, град	Высота уступа, Н, м	Призма возможного обрушения, А, м	Глубина трещины отрыва, Н _о , м	Коэффициент запаса устойчивости
Верхние горизонты в зоне вечной мерзлоты					
30,0	45	30	5,94	7,15	1,95
25,17	50	30	5,79	7,91	1,80
21,00	55	30	5,71	8,71	1,67
17,32	60	30	5,67	9,60	1,55
Нижние горизонты вне зоны вечной мерзлоты					
13,09	65	30	6,42	11,54	2,00
10,92	70	30	6,17	12,91	1,93
8,04	75	30	5,94	14,52	1,67
5,29	80	30	5,51	16,71	1,50

Результаты расчета устойчивости отвалов месторождения «Наталкинское»

Высота отвала, м	Угол откоса отвала, град.	Коэффициент запаса устойчивости
60	34,0	1,26
60	35,0	1,23
60	36,0	1,21
60	37,0	1,18

ции обводненности, неизбежно будут развиваться локальные деформации, что в процессе эксплуатации потребует их заблаговременного выявления и разработки в случае необходимости специальных противодеформационных мероприятий.

В связи со специфическими условиями развития деформаций в мерзлых породах принят дифференцированный подход к выбору параметров уступов карьера. На верхних горизонтах, находящихся в зоне вечной мерзлоты, углы откосов уступов изменяются сверху вниз от 45 до 60°, на подмерзлотных горизонтах эти углы

увеличиваются до 65—80°. Коэффициент запаса устойчивости уступов находится в диапазоне 1,55÷2,0, т.е. при всех рассмотренных значениях угла их наклона превышает нормативный, равный 1,5, следовательно, их длительная устойчивость обеспечивается с достаточной степенью надежности.

Многолетний опыт проектирования и технологии формирования отвалов на карьерах, свидетельствует о том, что технически и экономически целесообразная их высота находится в диапазоне 50—70 м. С учетом этого для предварительных укрупненных

расчетов высота отвального яруса принята 60 м. Полученные значения

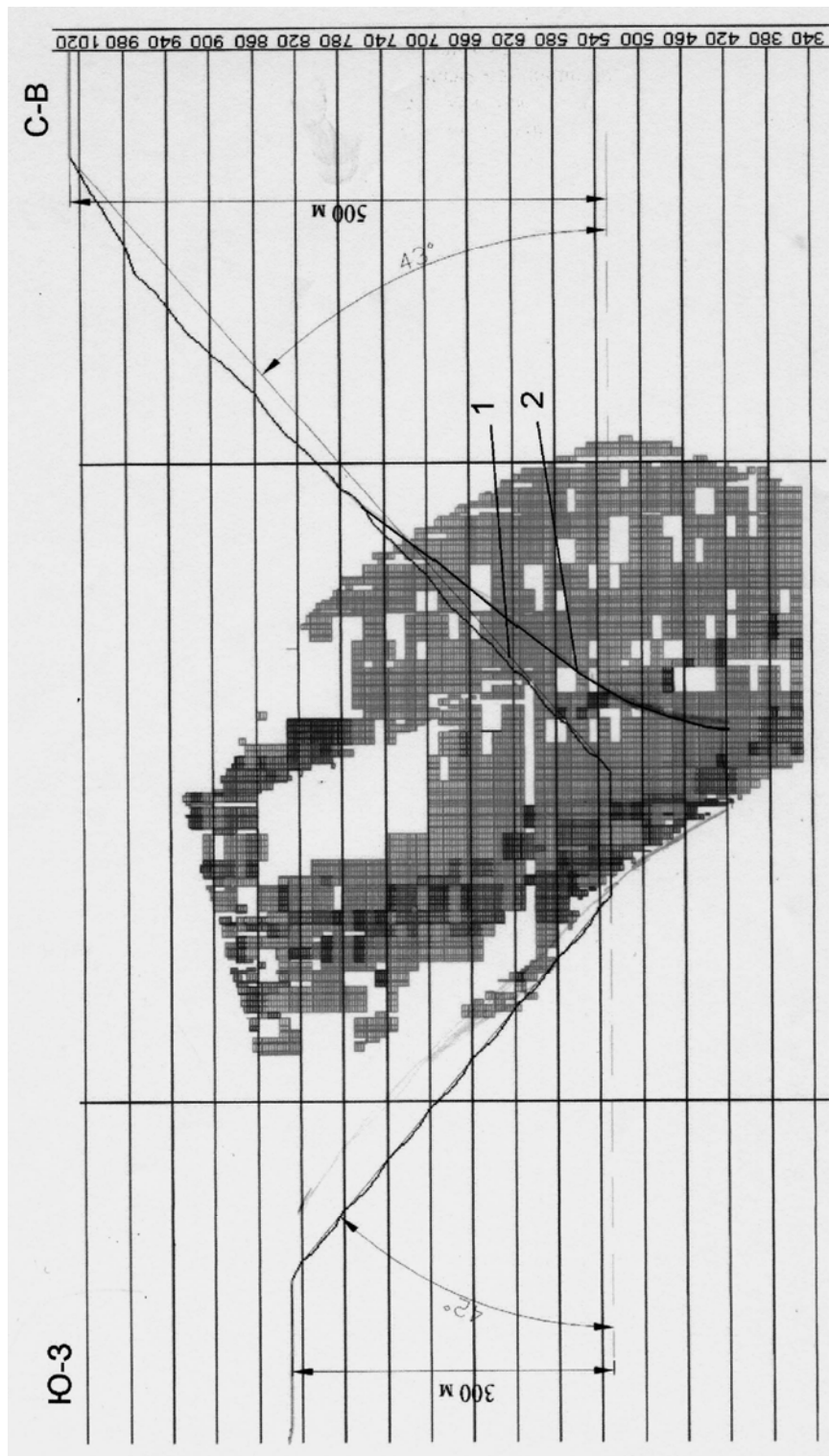


Рис. 1. Поперечный геологический разрез по блочной модели Наталкинского месторождения в границах карьера:
 1 — плоский борт; 2 — выпуклый борт

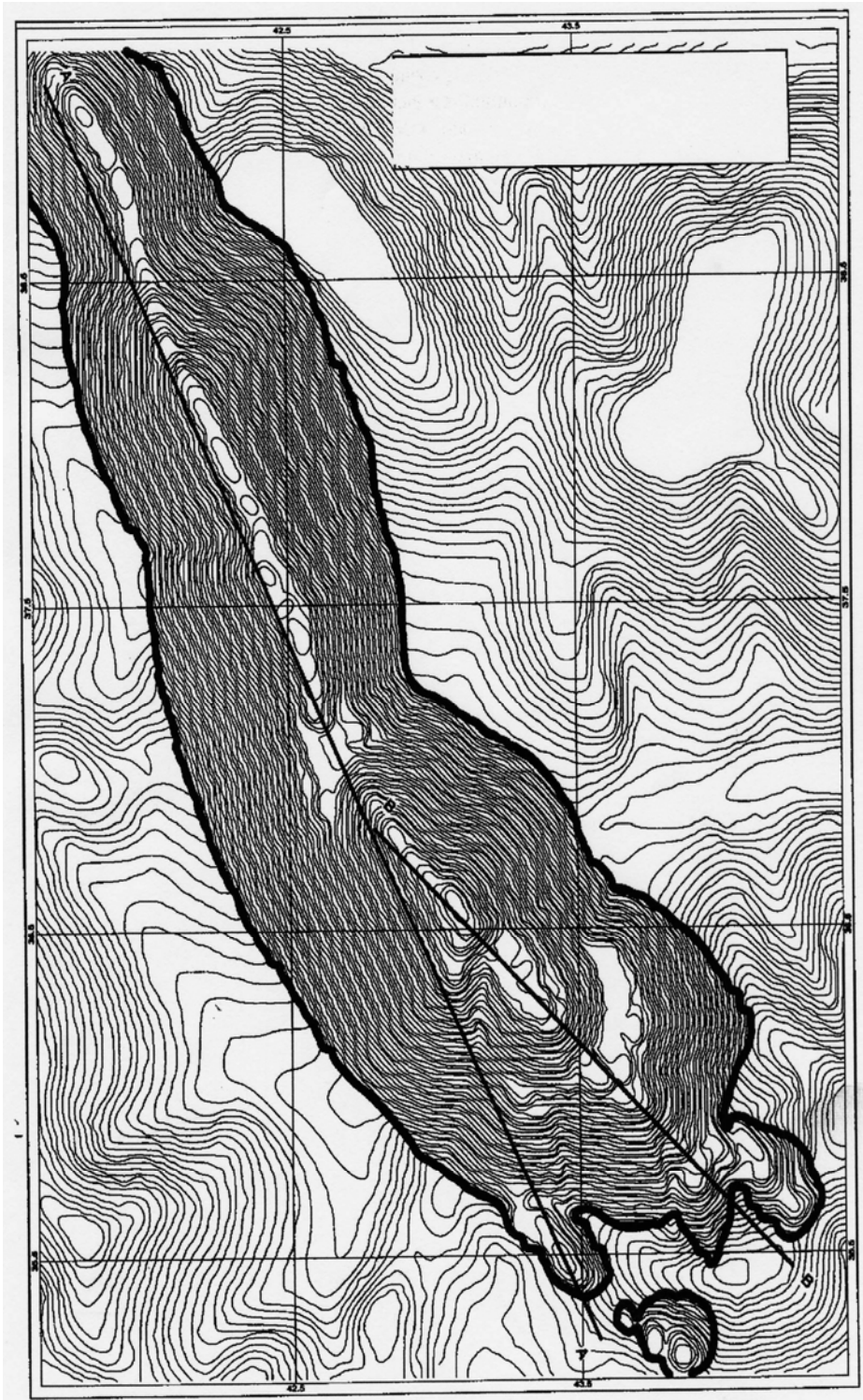


Рис. 2. Оптимальная финальная форма карьера «Наталкинский»

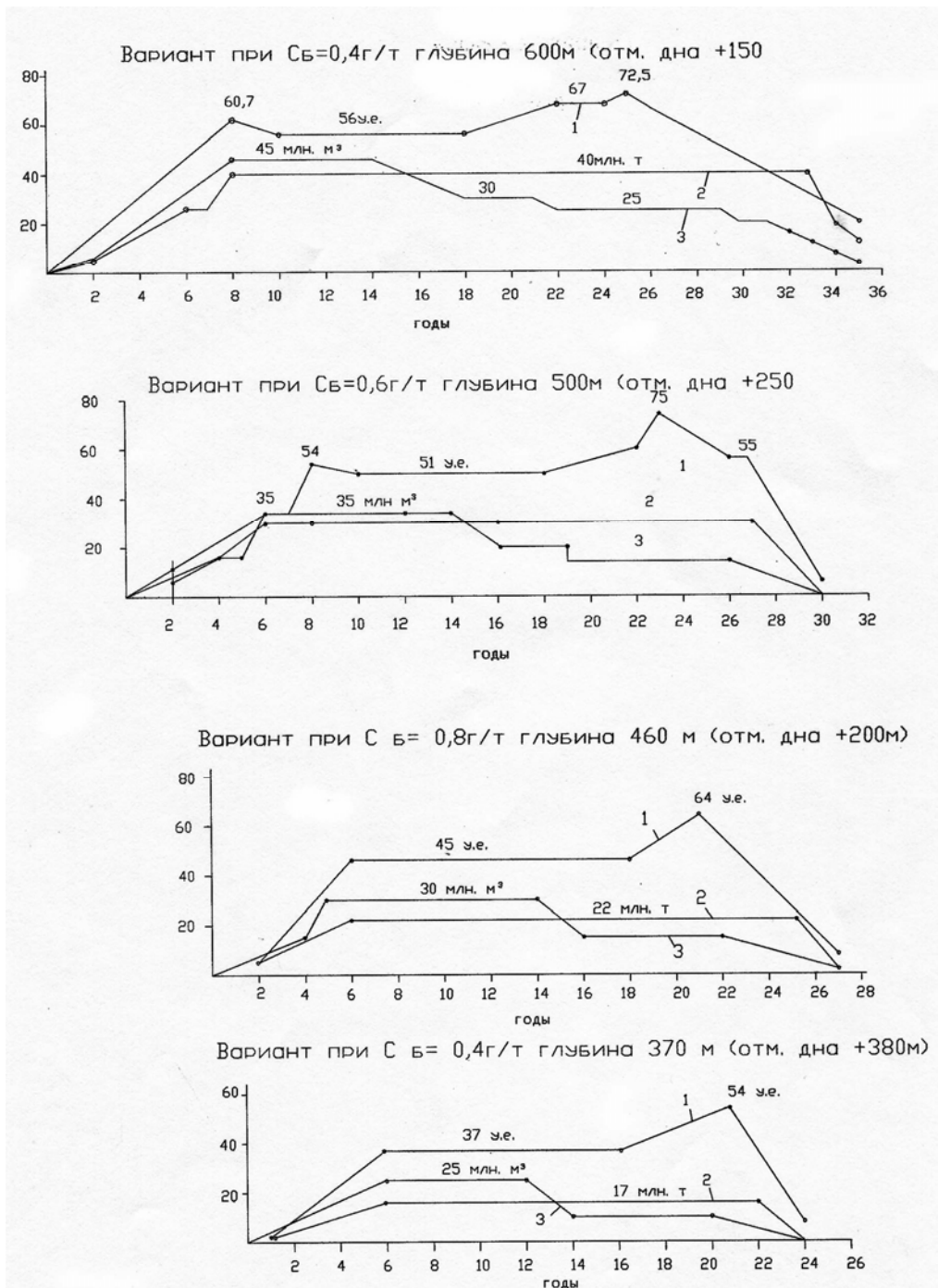


Рис. 3. Варианты календарных графиков отработки карьера «Наталкинский»:
 1 — золото; 2 — руда; 3 — вскрыша; C_B — бортовое содержание

коэффициента запаса при заданных параметрах отвала изменяются в диапазоне 1,18—1,26, при нормативном 1,15—1,2, следовательно, его устойчивость обеспечиваются с достаточной степенью надежности.

В бортах и под дном ряда золото-рудных карьеров по достижении проектной глубины остаются весьма значительные запасы руды, не включенные в открытую разработку по экономическим соображениям, что наглядно иллюстрируется разрезом по блочной модели карьера «Наталкинский» (рис. 1). Такие потери полезных ископаемых в недрах не только преждевременно истощают балансовые запасы, но и отрицательно влияют на экономику горнодобывающей отрасли в целом. Поскольку при этом теряется не только минеральное сырье, но и часть средств, затраченных на разведку и подготовку месторождения к эксплуатации, уменьшается срок службы предприятий. В то же время освоение теряемых запасов во многих случаях становится достаточно рентабельным на основе применения открыто-подземного способа разработки, включающего и подземное выщелачивание ценного полезного компонента из взорванных бедных (заба-

лансовых) руд без выемки их на поверхность.

Известен опыт открыто-подземной разработки на горно-добывающих предприятиях бывшего Средмаша (ныне Минатомэнерго). На одном из урановых месторождений осуществлен проект такого способа разработки. Себестоимость добычи руды при этом снизилась в 2,5 раза, а производительность труда возросла в 20 раз по сравнению с подземным способом разработки.

Разработана методология обоснования целесообразной глубины перехода от открытого к открыто-подземному способу отработки, которая апробирована для условий месторождений Сухой Лог, Наталкинское, Мурунтау и Мютенбай. Выполнена оценка экономической эффективности при пяти вариантах комбинирования открытых, открыто-подземных и подземных работ. Показано, что при использовании данной технологии сроки работы золотоизвлекательного комплекса на месторождениях Мурунтау-Мютенбай продлятся с 25—30 лет до 50—60 лет, а с учетом потенциально возможного прироста запасов могут быть увеличены еще на 30—40 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов Б.К. Геологоразведочные работы по восполнению запасов твердых полезных ископаемых / Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2003 — № 1—2.

2. Иоффе А.М., Лопатин В.В., Камнев Е.Н. и др. Разработка и обоснование технологических схем ЦПТ в условиях действующих и проектируемых карьеров. // Горный журнал — 2003 — № 4—5. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Иоффе А.М. – ВНИПИпромтехнология, тел. (495) 324-82-65.