

УДК 622.34; 622.366.2/.3; 622.371

Г.Н. Потехин, И.В. Черникова

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ГОРНЫХ РАБОТ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГРУППОЙ КАРЬЕРОВ**

Семинар № 14

По запасам золота Россия третья в мире, после ЮАР и США. До 75 % разведанных запасов находится в месторождениях Сибири и Дальнего Востока. В коренных золоторудных месторождениях сосредоточено 53,8 %, в комплексных – 28 %, в россыпных – 18,2 %. Значительные запасы попутного золота учтены в медно-никелевых, медно-колчеданных и полиметаллических рудах месторождений Башкирии, Оренбургской области и Таймыра.

В то же время большой процент золоторудных месторождений полезных ископаемых не осваивается в силу нерентабельности разработки данных месторождений в сложных горнотехнических условиях вследствие снижения ресурсной базы, что предполагает вовлечение в разработку руд со средним содержанием золота в балансовых запасах 1,0-1,2 г/т и менее.

За последние годы прослеживается взрывной рост цены на золото. Рост спроса на золото подстёгивают различные отрасли промышленности, главным образом, в азиатских странах и использования золота как инвестиционного актива. По данным Всемирного золотого совета (World Gold Council), спрос на золото в мире в 2006 г. вырос на 31 % по сравнению с предыдущим годом (рис. 1). За этот же период курс доллара снизился на

4 % (рис. 1), что свидетельствует о том, что снижение курса доллара ведёт к уменьшению капитальных затрат на приобретение импортного оборудования, а экономическая эффективность разработки золоторудных месторождений растёт.

Определением рационального направления развития горных работ в карьере занимались с середины 50-х годов прошлого столетия, и были разработаны методы горно-геометрического анализа карьерных полей и исследования режима горных работ, но до настоящего времени так и не разработана приемлемая методика выбора оптимальной последовательности развития горных работ при разработке обширных по площади месторождений группой карьеров.

В связи с этим, были проведены исследования в данной области и разработаны методические положения по выбору рационального вовлечения карьеров в разработку.

При отработке месторождений группой карьеров для определения рационального порядка вовлечения отдельных карьеров в эксплуатацию необходимо руководствоваться такими технологическими критериями как:

- скоростью углубки и скоростью подвигания фронта работ в границах отдельных карьеров в зависи-

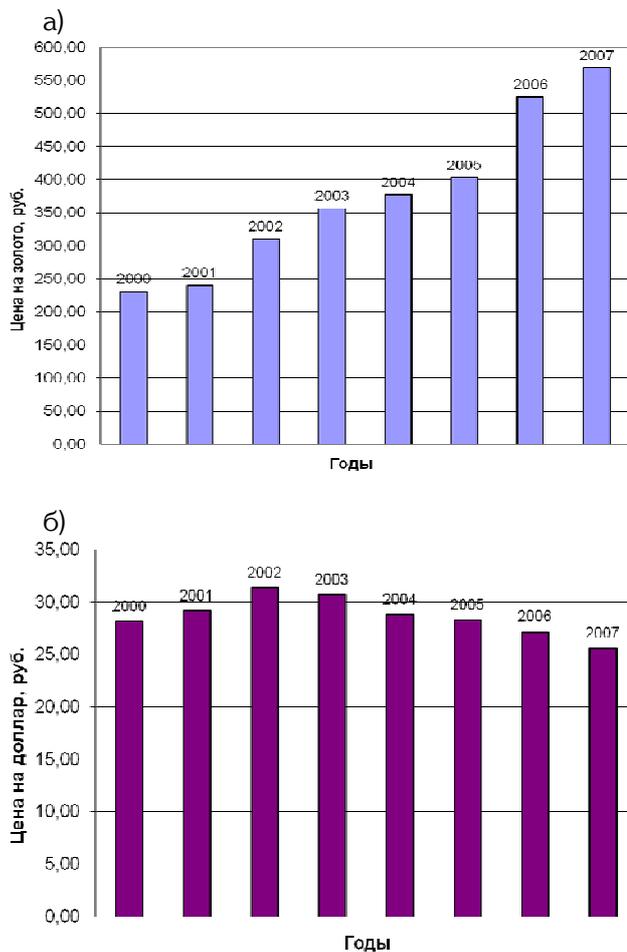


Рис. 1. а) Рост цены на золото; б) изменение курса доллара в рублях

методика управления режимом горных работ, которая включает в себя следующие этапы:

1. Эскизно намечаются основные технологические решения открытой разработки месторождения (вскрытие, система разработки, технология, механизация и т.д.).

2. Ориентировочно устанавливаются углы откосов бортов карьера: рабочего и нерабочего на момент погашения горных работ.

3. Определяются конечная глубина разработки и контуры карьеров.

4. Определяется средняя площадь рудных тел в карьерах. Исследуется режим горных работ на карьерах и по месторождению в целом.

5. Рассчитываются объёмы вскрышных и добычных работ. По результатам полученных объёмов строятся кумулятивные графики зависимости $V=f(P)$.

6. Из полученных графиков выбирается оптимальные варианты разработки месторождения, по которым строится календарный график.

7. По конкурирующим вариантам ведётся расчёт производительности и количества горнотранспортного оборудования.

8. На основании полученных данных производятся технико-экономические расчёты, и выбирается ра-

мости от площади рудных тел и заданной производительности отдельного карьера и горнодобывающего предприятия в целом;

- распределения вскрышных и добычных объёмов на вовлечённых в разработку карьеров по годам с учётом выполнения заданной производительности предприятия по руде, при снижении, по возможности, пиковых объёмов вскрышных работ.

- расстоянием транспортирования руды от действующих карьеров до обогатительной фабрики;

С учётом вышеприведённых технологических критериев была разработана

а)



б)



Рис. 2. а) Современное состояние горных работ; б) Погрузка вскрышной породы экскаватором EX 1900 в автосамосвал HD 1200

Якутии. Добыча руды из месторождений Куранахского рудного поля была начата в 1956 г. и продолжается по настоящее время. За всю историю существования компании «Алданзолото» ей было добыто более 581,4 т. золота из них 234,9 т. рудного. Руды открытым способом добываются из одиннадцати рудных тел, и все тела продолжают содержать ресурсы и ни одно из тел не рассматривается геологами как полностью отработанное.

Кривая добычи за прошедшие 30 лет иллюстрирует результат производственной деятельности компании ОАО «Алданзолото» ГРК. Содержание металла в карьерах и на рудном складе падает до

циональный вариант отработки месторождения группой карьеров.

Вышеизложенная методика управления режимом горных работ применена на ОАО «Алданзолото» ГРК на золоторудном месторождении «Дэлбэ», которое предполагается обрабатывать группой карьеров. Современное состояние горных работ приведено на рис. 2. Пример пользования данной методикой рассмотрен ниже.

ОАО «Алданзолото» создано в 1924 году, как государственное предприятие с целью организации добычи золота из россыпных месторождений юга

1997 года со стабилизацией на уровне 1.5 г/т. С 1992 года добыча руды из отвалов забалансовых руд, размещенных на бортах карьеров, была весьма большой и составила до 47 % от общих объемов добычи руды (рис. 3).

Золоторудные тела месторождения «Дэлбэ» представляют собой залежи лентообразной формы с сильноизвилистыми краями, с раздувами и пережимами. Как правило, границы залежей со стороны висячего и лежащего боков весьма разнообразны (рис. 4).

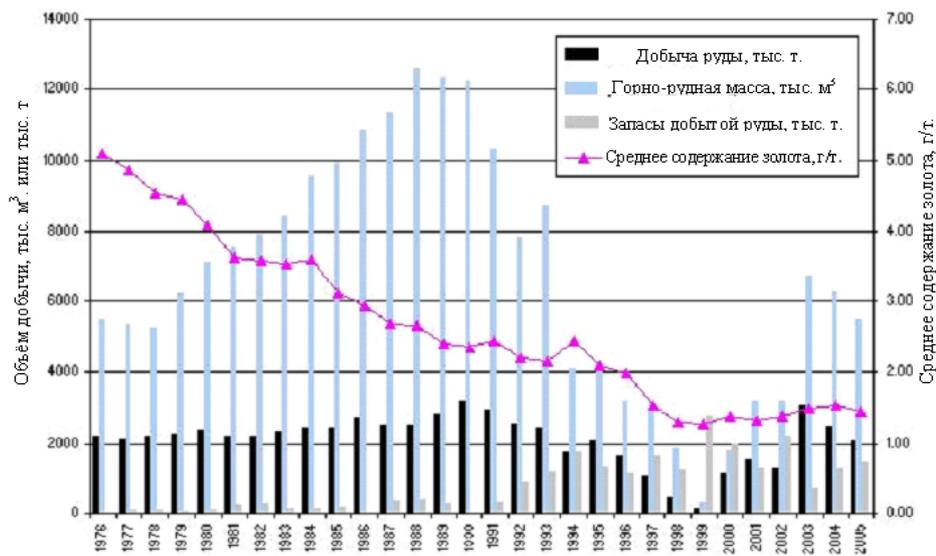


Рис. 3. Общая добыча руды по годам

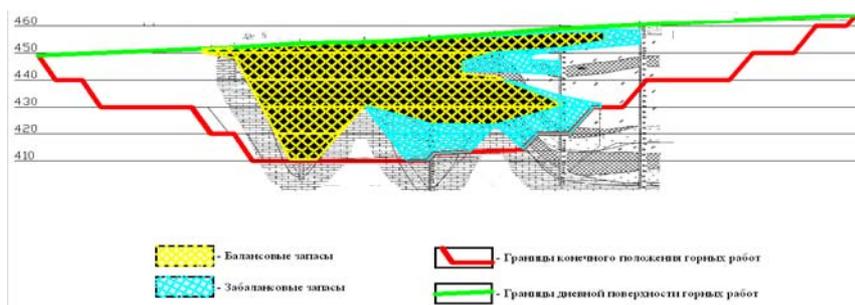


Рис. 4. Геологический разрез месторождения «Дэлбэ» по разведочной линии 53-3

Эксплуатационными работами подтверждено, что залежи повторяют рельеф дна депрессий.

Размеры рудных тел на месторождениях колеблются в широких пределах. Мощность залежей от 1 до 40 м (средняя 15-20 м), длина - от сотни метров до нескольких километров. Геометрические характеристики рудных тел представлены в табл. 1.

К особенностям отработки данного месторождения можно отнести разобшенность рудных тел, исключающих возможность их отработки путем

строительства одного карьера. Карьеры имеют вытянутую форму с соотношением длины к ширине от 2:1 до 3,5:1. Форма карьеров обусловлена формой залегания рудных тел. Геометрические параметры карьеров представлены в табл. 2 и рис. 5.

Для отработки рудных тел месторождения «Дэлбэ» принята углубочная продольная двухбортовая система разработки. Разработка вскрышных пород и руды осуществляется поперечными и продольными заходками.

Таблица 1

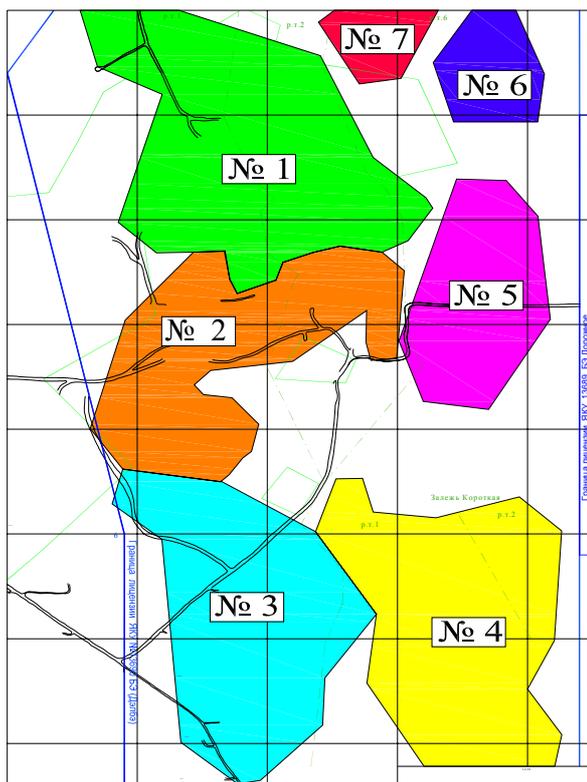
Геометрические характеристики рудных тел

Параметры рудных тел	Рудные тела				
	1	2-4	Залежь Короткая	Залежь Короткая 2	6
Длина рудного тела, м	1440	610	440	130	700
Ширина рудного тела, м	220	180	160	32	190
Средн. содержание, г/т					
C ₁	2,09	1,8	1,83	2,27	1,77
C ₂	1,57	2,09			1,84

Таблица 2

Геометрические параметры карьеров

Параметры	Номера карьеров						
	1	2	3	4	5	6	7
Рудные тела	1; 2,4	1; 2,4	1	Залежь «Короткая», Залежь «Короткая-2»	6	6	6
Длина карьера по поверхности, м	1566	1424	1435	1505	1038	511	397
Ширина карьера по поверхности, м	872	533	749	701	297	307	322
Глубина разработки карьера максимальная, м	до 80	до 80	до 100	до 110	до 80	до 60	до 70

**Рис. 5. Расположение карьеров на золоторудном месторождении «Дэлбэ» Куранахского рудного поля**

На выемочно-погрузочных работах используется следующее оборудование:

вскрыша – RH90С (10 м³), EX1900 (11 м³) (прямая лопата);

добыча – EX1200 (6,5 м³) (прямая лопата), выемка западений ZX450 (6,5 м³) (обратная лопата).

Вскрышные породы и забалансовые руды транспортируются автосамосвалами HD-1200, БелАЗ-75145 грузоподъемностью 120 т во внешний отвал по внутренним карьерным и внешним автодорогам. На отвалообразовании вскрышных пород применяется

Таблица 3

Расчёт производительности карьера по руде по горнотехническим условиям

№ карьера	Средняя площадь рудных тел в карьере, S, м ²	Среднегод. понижение добычных работ, кг, м/год	Объёмный вес руды γ , т/м ³	Производительность карьера по руде, тыс.т
1	22028,48	17,8	1,78	716,10
2	20101,72			653,46
3	23420,29			761,34
4	31270			1016,52
5	13775,05			447,80
6	18360,8			596,87
7	8507,33			276,55

Таблица 4

Расчёт необходимой скорости понижения добычных работ при заданной производительности карьера

№ Карьера	Средняя площадь рудных тел в карьере, S, м ²	Необходимая скорость понижения добычных работ, при заданной мощности карьера, м/год			
		Производительность карьера, тыс.т.			
		250	500	750	1000
1	22028,48	6,2	12,4	18,6	24,9
2	20101,72	6,8	13,6	20,4	27,2
3	23420,29	5,8	11,7	17,5	23,4
4	31270	4,4	8,8	13,1	17,5
5	13775,05	9,9	19,9	29,8	39,8
6	18360,8	7,5	14,9	22,4	29,8
7	8507,33	16,1	32,2	48,3	64,4

бульдозер ДЗ-158 (базовый трактор Т-25.01). На отвалообразовании забалансовых руд применяется бульдозер ДЗ-109 Б (базовый трактор Т-170.01).

Для перемещения основного горнотранспортного оборудования предусмотрена проходка временных наклонных съездов на вскрышных и добычных уступах для транспортировки вскрышных пород во внешний отвал. Транспортирование руды производится от забоя до обогатительной фабрики по внутрикарьерным и существующим внешним дорогам.

Календарный план горных работ по месторождению «Дэлбэ» по проекту приведен на рисунке 6. Как видно из представленных данных, в первые

2 года эксплуатации объемы вскрышных работ составляют 2,0 млн м³. В то же время пиковые объемы вскрышных работ приходятся на 5–8 года отработки месторождения.

С целью сглаживания пиковых значений вскрышных работ, были проведены исследования по определению рационального порядка вовлечения в разработку выделенных карьеров в границах месторождения. Продолжительность периода отработки каждого карьера определена исследованиями и лежит в диапазоне 3–6 лет.

С целью определения порядка вовлечения в работу конкретного карьера рассчитаны возможные производительности по руде, исходя из горнотехнических условий (табл. 3).

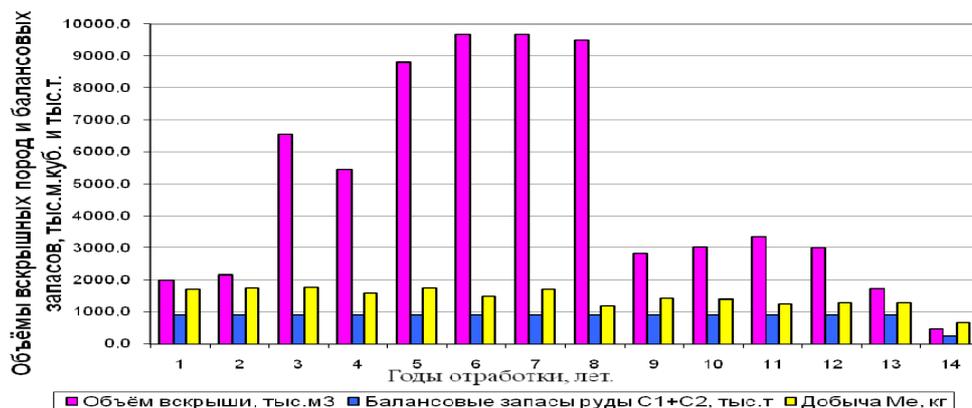


Рис. 6. Календарный план горных работ месторождения «Дэлбэ» по проекту

Таблица 5

Характеристика карьеров

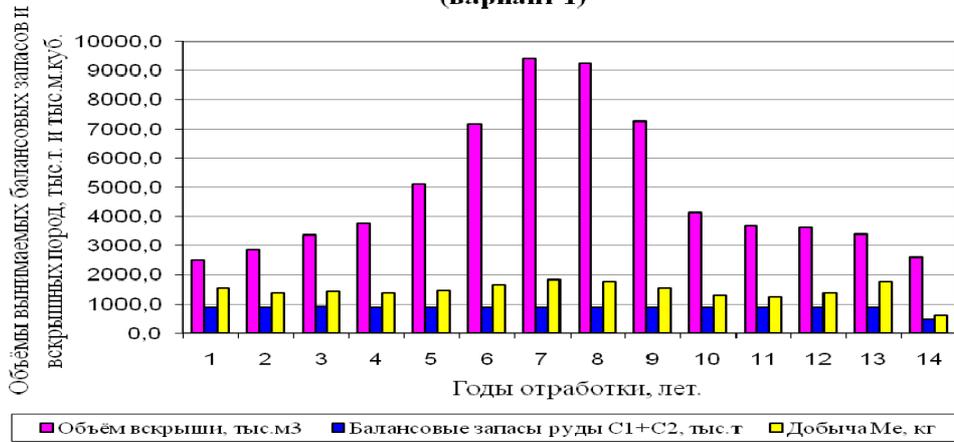
№ карьера	Длина карьера по поверхности, м	Расстояние транспортирования от карьеров до ОФ, км	Объемы вскрышных пород, тыс. м ³	Объемы балансовых запасов по категориям С ₁ +С ₂ , тыс. т.	Среднее содержание, г/т	Запасы металла, кг	Коеф. вскрыши, м ³ /т	Коеф. металл-лононости
1	1566	15,235	4669,98	1550,89	2,04	2752,52	3,01	0,51
2	1424	17,145	7383,09	1248,83	1,88	2042,59	5,91	0,35
3	1435	18,907	16552,94	1959,44	2,13	3631,04	8,45	0,70
4	1505	18,907	30047,06	3908,29	2,1	7140,45	7,69	1,36
5	1038	16,845	6884,59	1462,64	1,56	1985,10	4,71	0,28
6	511	16,098	1408,44	1499,89	1,56	2035,65	0,94	0,29
7	397	16,098	1192,74	449,02	1,56	609,41	2,66	0,09
Среднее значение по месторождению:		17,033	9734,12	1725,57	1,83	2885,25	4,77	0,51
Итого по месторождению:			68138,84	12079		20196,7		

Из данных, приведённых в таблице 3 видно, что при среднегодовом понижении добычных работ со скоростью 17,8 м/год заданная производительность в 1000 тыс.т. может быть достигнута только при обработке карьера № 4. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для достижения проектной производительности предприятия по руде необходимо увеличить годовую скорость понижения горных работ.

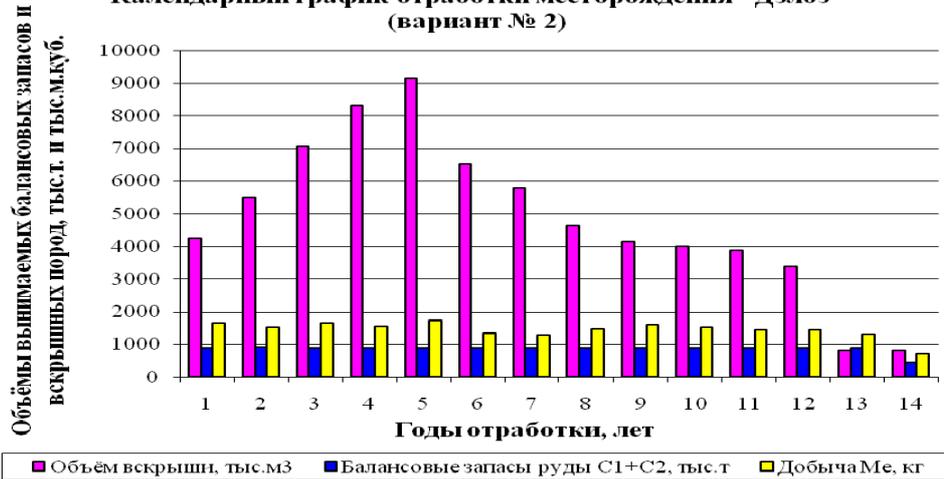
Таким образом, решая обратную задачу, были определены необходимые скорости развития горных работ для различной производительности карьеров по руде. Данные расчётов представлены в табл. 4.

Анализируя табл. 3 и 4 можно сделать вывод, что месторождение «Дэлбэ» целесообразно отрабатывать несколькими карьерами для обеспечения годовой производительности по руде – 1 млн т.

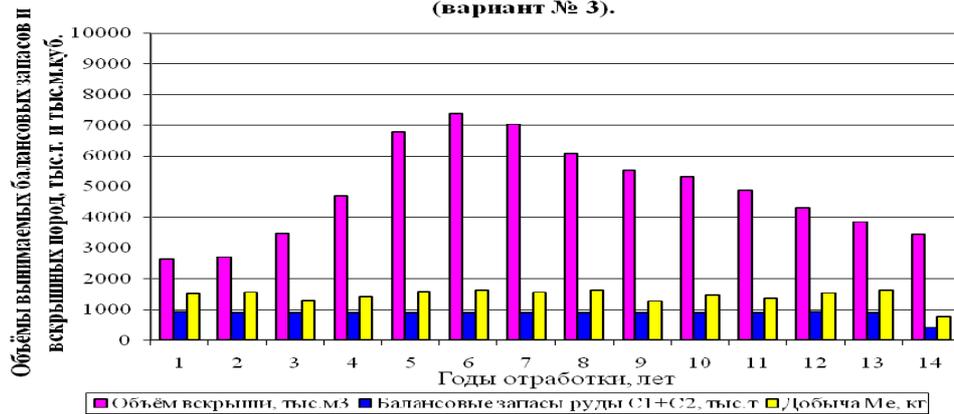
Календарный график отработки месторождения "Дэлбэ" (вариант 1)



Календарный график отработки месторождения "Дэлбэ" (вариант № 2)



Календарный график отработки месторождения "Дэлбэ" (вариант № 3).



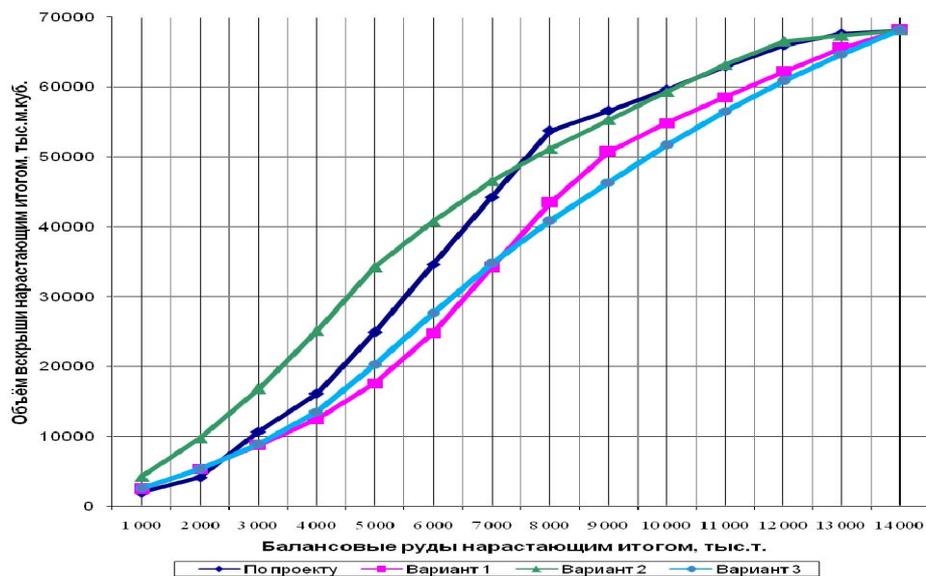


Рис. 7. Календарные графики горных работ. Кумулятивный график



Рис. 8. Структура себестоимости добычи золота по проекту

Горно-геометрический анализ карьерных полей для крутопадающих месторождений выполнен по методике проф. А.И. Арсентьева с использованием вертикальных геологических сечений. Это позволило обеспечить необходимую точность расчётов.

Подсчёт площадей производился следующим образом: на вертикальных геологических сечениях, относящихся к отдельным карьерам, с учётом необхо-

димой скорости понижения добычных работ для каждого конкретного карьера определены годовые положения горных работ с учётом ширины рабочих площадок при использовании гидравлических экскаваторов и рассчитаны площади балансовых руд и вскрышных пород в годовых контурах горных работ. Результаты расчётов представлены в виде гистограмм на рис. 7.

Характеристика карьеров приведена в табл. 5.

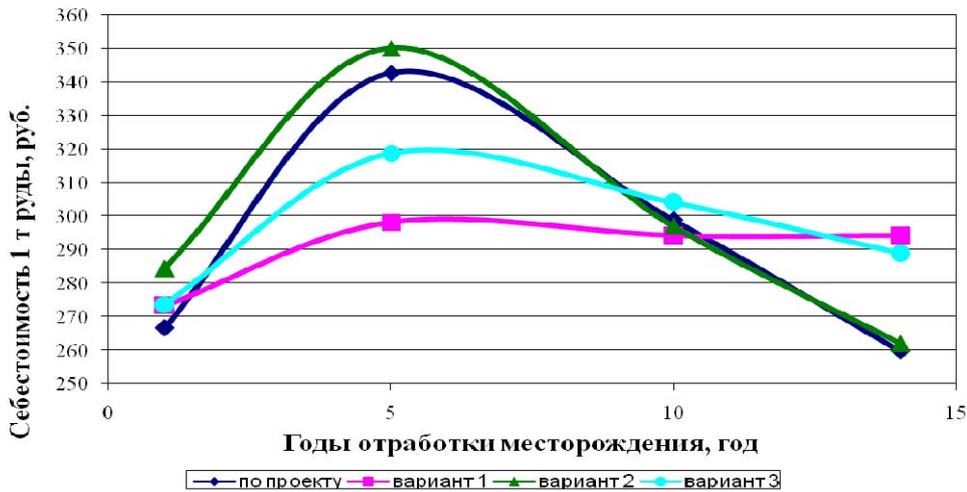


Рис. 9. Себестоимость добычи 1 т руды по годам эксплуатации месторождения

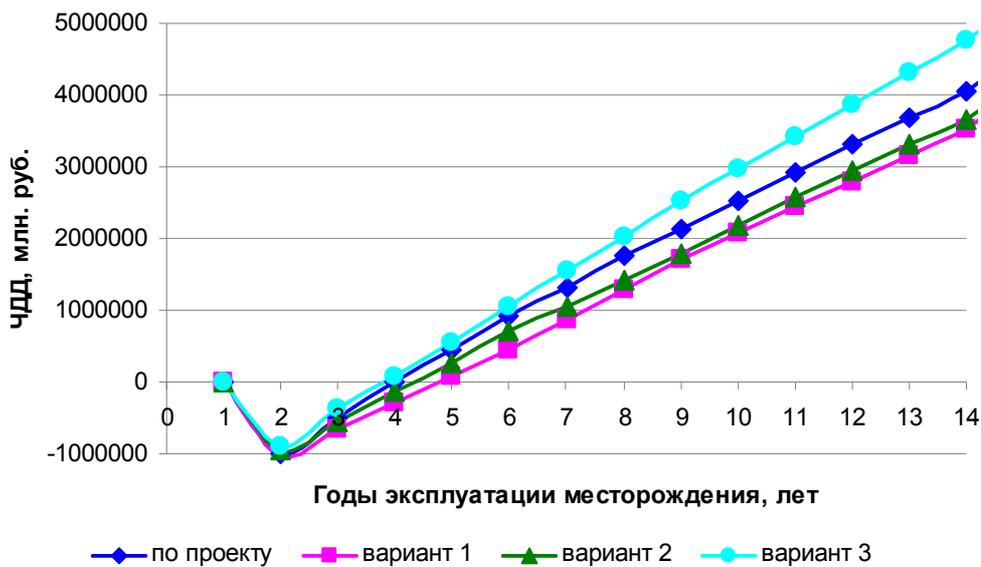


Рис. 10. График зависимости ЧДД по годам отработки месторождения

По каждому варианту отработки месторождения «Дэлбэ» рассчитаны нарастающие объёмы вскрышных пород и балансовых руд, и отстроен кумулятивный график зависимости $V=f(P)$ (рис. 7).

Из рис. 7 видно, что конкурирующими вариантами развития горных работ являются 1-й и 3-й, так как данным вариантам соответствуют самые низкие положения кривых $V=f(P)$.

Для определения рационального варианта отработки месторождения проведена технико-экономическая оценка конкурирующих вариантов.

Себестоимость добычи золота ОАО «Алданзолото ГРК» в 2005 году составила 300-350 руб./т. По оценкам экспертов, себестоимость добычи золота в России остаётся ниже, чем в других странах (200 долл. за унцию). При среднем мировом значении за 2006 год на уровне \$521 за унцию ОАО «Алданзолото ГРК» добывает золото с издержками \$206 за унцию. Структура себестоимости продукции на ОАО «Алданзолото ГРК» по проекту показана на рис. 8.

Себестоимость добычи 1 т руды рассчитана по данным действующего предприятия в ценах 2007 года. Изменение себестоимости добычи по вариантам приведена на рис. 9.

Чистый дисконтированный доход по вариантам и по годам показан на рис. 10. Из рис. 10 видно, что конкури-

рующими вариантами являются вариант по проекту и вариант № 3. Наиболее выгодным и рациональным вариантом отработки месторождения группой карьеров является вариант под номером 3, так как при отработке по данному варианту экономическая эффективность выше, чем в конкурирующих вариантах. Разработанная методика управления режимом горных работ позволяет выбрать оптимальный вариант ввода отдельных карьеров в эксплуатацию и определить наиболее рациональный вариант отработки вытянутых и обширных по площади месторождений по технологическим и экономическим критериям. Оптимальный вариант ввода карьеров в эксплуатацию приведён в табл. 6.

Данная методика использовалась для обоснования рационального порядка вовлечения карьеров в разработку на золоторудном месторождении «Дэлбэ» Куранахского рудного поля ОАО «Алданзолото» ГРК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н. Проектирование карьеров [Текст] / Учеб. Для вузов / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин – Изд. 2-е., перераб. и доп. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – Т. I. – 519 с.

2. Пешкова М.Х. Экономическая оценка горных проектов [Текст]. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 422 с.

3. Черникова И.В. Обоснование порядка отработки золоторудных месторождений группой карьеров./И.В. Черникова, Г.Н. Потехин// Совершенствование технологий производства цветных металлов: Сб. мате-

риалов Межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - ИЦМиЗ СФУ. – Красноярск - 2007. - С.52-54.

4. Черникова И.В. Проектирование горных работ на золоторудных месторождениях с использованием универсальных программных средств./И.В. Черникова, Г.Н. Потехин, Р.В. Григорьев// Совершенствование технологий производства цветных металлов: Сб. материалов Межрегиональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - ИЦМиЗ СФУ. – Красноярск - 2007. - С. 50-52. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Потехин Г.Н., Черникова И.В. – Сибирский Федеральный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 14 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.С. Коваленко