

С.В. Лукичѳв, О.В. Белогородцев, Е.В. Громов

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСОВ РУДЫ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБЪЕМНОЙ ПОСТАНОВКЕ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Представлены возможные варианты отработки очистного блока с учетом горно-геологических и горнотехнических условий. С помощью метода компьютерного моделирования определены объемы горнопроходческих работ, отбиваемых запасов руды, уровень показателей извлечения и содержание полезных компонентов в вариантах отработки очистного блока комбинацией систем разработки.

Ключевые слова: месторождение, геотехнология, потери и разубоживание, система разработки, технологическая зона, цифровая модель, моделирование, рудная залежь.

Введение

Экономическая эффективность отработки запасов полезного ископаемого в значительной степени зависит от уровня потерь и разубоживания, нормирование и планирование которых одна из сложнейших задач рациональной и эффективной эксплуатации недр.

Большинство существующих в настоящее время методик нормирования потерь и разубоживания не позволяют достоверно оценить уровень показателей извлечения. Это связано с тем, что еще на стадии проектирования выемочных единиц уровень конструктивных показателей извлечения определяется путем

графических построений с использованием метода параллельных сечений [1–4]. Повысить уровень достоверности величины показателей извлечения позволяет 3D-моделирование объектов геотехнологии в горно-геологических информационных системах (ГГИС). В качестве примера решения такого рода задач приведены результаты предпроектной проработки технологии отработки одного из блоков Кукисвумчоррского месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива.

Варианты отработки запасов руды очистного блока Кукисвумчоррского месторождения

В соответствии с существующей практикой нормативы потерь и разубоживания для проектируемого к отработке блока (участка) рекомендуется устанавливать в следующей последовательности:

1. Применительно к горно-геологическим и горнотехническим условиям данного блока (участка) определяются наиболее приемлемые варианты его отработки. Обычно в результате этой операции намечаются два-три варианта.

2. Потери и разубоживание по вариантам систем разработки определяются путем построения на геолого-маркшейдерских планах и разрезах контуров конструктивных элементов системы разработки. Затем для каждого из отобранных вариантов путем построения фигур выпуска определяются технологические показатели потерь и разубоживания.

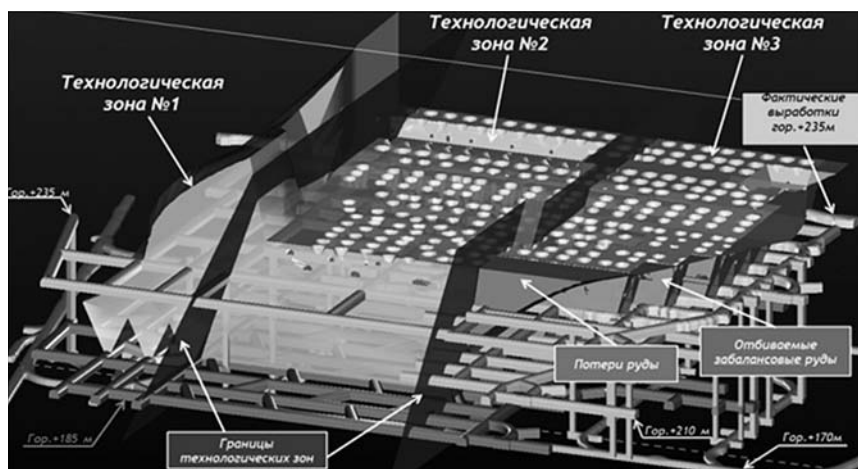


Рис. 1. Модель варианта №1 отработки запасов блока

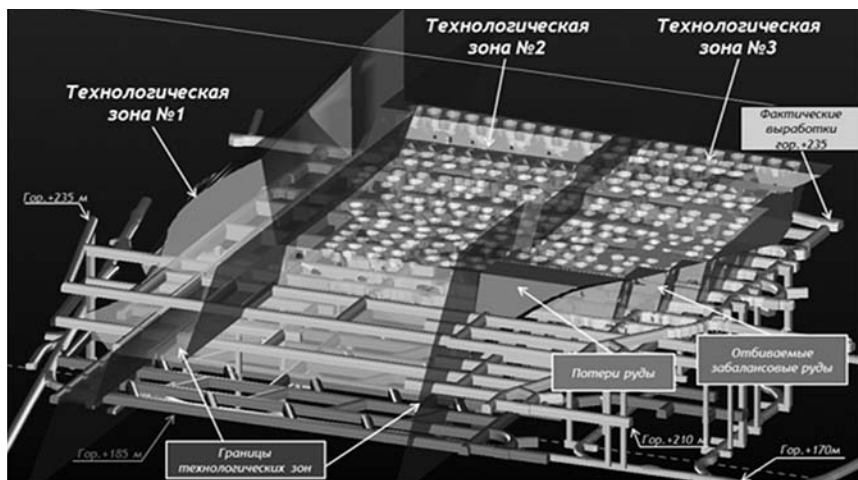


Рис. 2. Модель варианта № 2 отработки запасов блока

В рамках проектной проработки были рассмотрены три варианта отработки очистного блока [5, 6], первоначально реализованные в системе автоматизированного проектирования (САПР) AutoCAD (двухмерное представление), а затем в ГГИС MINEFRAME (трехмерное представление, рис. 1–3). С использованием средств моделирования было произведено: районирование балансовых и извлекаемых запасов в контурах блока и границах отбойки руды; получены данные о распределении содержания полезных компонентов и определены конструк-

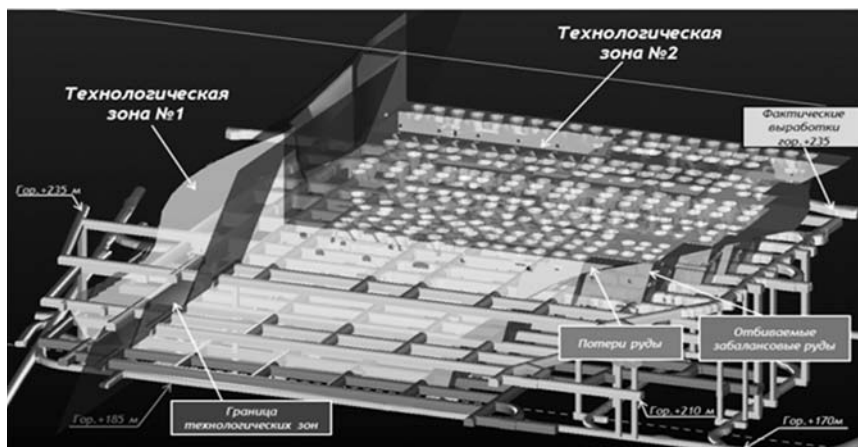


Рис. 3. Модель варианта № 3 отработки запасов блока

тивные показатели потерь и разубоживания руды по различным технологическим зонам (1 *TЗ*, 2 *TЗ* и 3 *TЗ*). Разделение очистного блока на технологические зоны было произведено с учетом моделирования геомеханических процессов выемочных участков, и как следствие, разной технологии ведения горных работ [5].

На рис. 1 (Вариант № 1) представлена цифровая модель очистного блока для отработки запасов системами с обрушением руды и вмещающих пород: 1 *TЗ*, 2 *TЗ* – этажное принудительное обрушение с траншейным днищем в центральной части и висячем боку рудного тела; 3 *TЗ* – подэтажное обрушение с торцевым выпуском руды в лежащем боку рудного тела.

На рис. 2 (Вариант № 2) представлена цифровая модель очистного блока для отработки запасов: 1 *TЗ*, 3 *TЗ* – подэтажное обрушение с торцевым выпуском руды в висячем и лежащем боку; 2 *TЗ* – этажное принудительное обрушение с траншейным днищем в центральной части рудного тела.

На рис. 3 (Вариант № 3) представлена цифровая модель очистного блока для отработки запасов: 1 *TЗ*, 2 *TЗ* и 3 *TЗ* – подэтажное обрушение с торцевым выпуском руды.

Определение отбываемых запасов руды, конструктивных потерь и разубоживания, содержания полезных компонентов

При определении отбываемых балансовых и забалансовых запасов очистного блока были использованы два метода: метод параллельных сечений на основе планов и разрезов, разработанных в САПР AutoCAD, и компьютерного моделирования в ГИС «MineFrame» на основе 3-мерных цифровых моделей.

Для обеспечения точности подсчета объемов извлекаемых запасов цифровые модели рассечены плоскостями по границам отбойки вариантов систем разработки в пределах технологических зон и границ очистного блока по простиранью рудной залежи (рис. 4).

Содержание полезных компонентов по очистному блоку получено из геологической базы, созданной в ГГИС MineScare и экспортированной в ГГИС MineFrame, где по блочным моделям вариантов отработки блока (рис. 5) определено содержание полезных компонентов с учетом *TЗ* и технологий их отработки.

В таблице представлен фрагмент результатов подсчета вышеуказанными методами конструктивных объемов, потерь и разубоживания руды по вариантам отработки.

Конструктивные объемы, потери и разубоживание руды по вариантам отработки в зависимости от применяемой системы разработки и технологической зоны месторождения

Показатели	Вариант отработки блока											
	1			2			3					
	1 ТЗ	2 ТЗ	3 ТЗ	Всего	1 ТЗ	2 ТЗ	3 ТЗ	Всего	1 ТЗ	2 Т+3 ТЗ	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Отбываемые запасы											
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	2 939 382	4 409 741	1 410 396	8 759 519	2 541 155	4 859 806	1 410 396	8 811 357	2 217 967	7 449 029	9 667 565	
Метод параллельных вертикальных сечений, т	2 942 529	4 293 067	1 250 198	8 485 794	2 257 675	4 931 949	1 250 198	8 439 822	1 896 700	7 026 700	8 923 400	
Разница в расчетах, %	-0,1	2,6	11,4	3,1	11,2	-1,5	11,4	4,2	14,5	5,7	7,7	
	Отбываемые балансовые запасы массива											
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	36 893,0	156 362,0	193 255	0	36 893	156 362	193 255	0	202 688	202 688	
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	37 956,0	218 716,0	256 672	0	37 956	218 716	256 672	0	270 700	270 700	
Разница в расчетах, %	0,0	-2,9	-39,9	-32,8	0,0	-2,9	-39,9	-32,8	0,0	-33,6	-33,6	

Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	21 394,0	0	21 394,0	0	21 394	0	21 394	0	0	0
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	23 516,0	0	23 516,0	0	23 516	0	23 516	0	0	0
Разница в расчетах, %	0	-9,9	0,0	-9,9	0,0	-9,9	0,0	-9,9	0,0	0,0	0,0
Отбиваемые забалансовые запасы при торцевом выпуске											
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	15 499	156 362	171 861	0	15 499	156 362	171 861	0	202 688	202 688
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	14 440	218 716	233 156	0	14 440	218 716	233 156	0	270 700	270 700
Разница в расчетах, %	0,0	6,8	-39,9	-35,7	0,0	6,8	-39,9	-35,7	0,0	-33,6	-33,6
Отбиваемые балансовые запасы											
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	2 939 382	4 372 848	1 254 034	8 566 264	2 541 155	4 822 913	1 254 034	8 618 103	2 217 967	7 246 341	9 464 308
Метод параллельных вертикальных сечений, т	2 942 529	4 255 111	1 031 482	8 229 122	2 257 675	4 893 993	1 031 482	8 183 150	1 896 700	6 756 000	8 652 700
Разница в расчетах, %	-0,1	2,7	17,7	3,9	11,2	-1,5	17,7	5,0	14,5	6,8	8,6

Отбиваемые балансовые запасы массива на траншею										
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	2 542 226	3 568 253	0	6 110 479	0	3 783 940	0	3 783 940	0	0
Метод параллельных вертикальных сечений, т	2 386 755	3 387 018	0	5 773 773	0	3 782 730	0	3 782 730	0	0
Разница в расчетах, %	6,1	5,1	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Отбиваемые балансовые запасы при разделке траншеи (горец)										
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	191 904	460 183	0	652 087	0	591 060	0	591 060	0	0
Метод параллельных вертикальных сечений, т	307 877	476 420	0	784 297	0	612 971	0	612 971	0	0
Разница в расчетах, %	-60,4	-3,5	0,0	-20,3	0,0	-3,7	0,0	-3,7	0,0	0,0
Отбиваемые балансовые запасы при погашении междуграннейших целиков (горец)										
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	205 252	344 412	0	549 664	0	447 913	0	447 913	0	0
Метод параллельных вертикальных сечений, т	247 897	391 673	0	639 570	0	498 292	0	498 292	0	0

Разница в расчетах, %	-20,8	-13,7	0,0	-16,4	0,0	-11,2	0,0	-11,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Отбываемые балансовые запасы массива при торцевом выпуске												
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	0	1 254 034	1 254 034	2 541 155	0	1 254 034	3 795 189	2 217 967	7 246 341	9 464 308	
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	0	1 031 482	1 031 482	2 257 675	0	1 031 482	3 289 157	1 896 700	6 756 000	8 652 700	
Разница в расчетах, %	0,0	0,0	17,7	17,7	11,2	0,0	17,7	13,3	14,5	6,8	8,6	
Конструктивные потери балансовой руды												
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	12 816	223 633	236 449	0	12 816	223 633	236 449	0	236 372	236 372	
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	6 224	163 528	169 752	0	6 224	163 528	169 752	0	116 500	116 500	
Разница в расчетах, %	0,00	51,44	26,88	28,21	0,00	51,44	26,88	28,21	0,00	50,71	50,71	
Конструктивные потери балансовой руды при траншейном выпуске												
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0,00	12 816,00	0,00	12 816,00	0,00	12 816,00	0,00	12 816,00	0,00	0,00	0,00	

Метод параллельных вертикальных сечений, т	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Разница в расчетах, %	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	0	0	0	0
Конструктивные потери балансовой руды при торцевом выпуске																			
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	0	223 633	223 633	0	0	223 633	223 633	0	0	223 633	223 633	0	0	223 633	223 633	0	236 372	236 372
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	6 224	163 528	169 752	0	0	6 224	163 528	169 752	0	0	116 500	116 500	0	0	116 500	116 500	0	116 500
Разница в расчетах, %	0,0	100,0	26,9	24,1	0,0	100,0	26,9	24,1	0,0	100,0	26,9	24,1	0,0	0,0	50,7	50,7	0,0	50,7	50,7
Конструктивное разубоживание																			
Компьютерное моделирование в системе MineFrame, т	0	37 574	156 556	194 130	0	0	37 574	156 556	194 130	0	0	203 257	203 257	0	0	203 257	203 257	0	203 257
Метод параллельных вертикальных сечений, т	0	37 956	219 263	257 219	0	0	37 956	219 263	257 219	0	0	220 900	220 900	0	0	220 900	220 900	0	220 900
Разница в расчетах, %	0,00	-1,02	-40,05	-32,50	0,00	0,00	-1,02	-40,05	-32,50	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	-8,68



Рис. 4. Модели ТЗ блока

Конструктивные потери руды в массиве и разубоживание руды за счет прирезки пустых пород при несовпадении контура отбойки и угла падения рудного тела определялись с учетом проектных границ блока.

Разница в подсчетах объемов вышеизложенными методами очевидна, наименьшие отличия в результатах по используемым методам были получены при определении объемов в центральной ТЗ блока, на которую практически не оказывает влияние

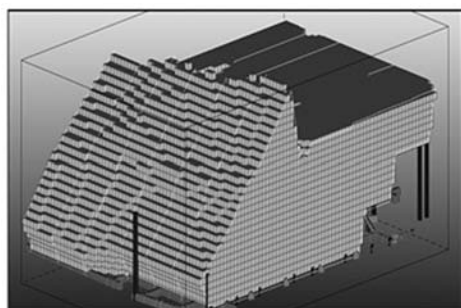


Рис. 5. Блочная модель очистного блока в контурах отбойки

изменчивость верхнего и нижнего контура рудной залежи. Наибольшие величины отклонений выявлены в лежащем боку (нижний контур) рудной залежи, а также в междутраншейных и междубуродоставочных целиках.

Выводы

Сравнение двух методов оценки технологических показателей потерь и разубоживания (традиционного и модельного), основанных, соответственно, на двухмерном и трехмерном представлении геологических и технологических данных, показало неоспоримое преимущество трехмерного цифрового моделирования.

Использование трехмерной технологии позволяет осуществлять технико-экономическое обоснование нормативных показателей извлечения запасов из недр на более качественном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* нормирования потерь и разубоживания апатит-нефилиновых руд на подземных рудниках производственного объединения «Апатит». – Апатиты: КФАН СССР, 1988. – С. 170.

2. *Инструкция* по определению, планированию и нормированию количественных и качественных потерь руды, учету состояния и движения запасов при системе с поэтажным обрушением с торцевым выпуском руды на подземных рудниках ОАО «ОЛКОН». – Апатиты-Оленегорск: ГоИ КНЦ РАН, 2005. – С. 41.

3. *Временные* методические положения по оценке эксплуатационных потерь при разработке месторождения «Олений Ручей» (Переработанные и дополненные). – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2011. – С. 76.

4. *Инструкция* по определению, учету и нормированию потерь железной руды по шахте им. Губкина ОАО «КМАруда». – Губкин, Белгородская обл.: институт «Гипроруда», 2003. – С. 13.

5. *Регламент* отработки запасов горизонта +170 м Кукисвумчоррского месторождения Кировского рудника (опытный блок 7/10 гор. +170 м). – Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 2015. – С. 185.

6. *Методика* автоматизированного формирования и выбора вариантов развития горных работ на подземных рудниках ПО «Апатит». – М.: ИПКОН АН СССР, 1986. – С. 45. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Лукичёв Сергей Вячеславович*¹ – доктор технических наук, врио директора ГоИ КНЦ РАН, e-mail: lu24@goikolasc.net.ru,

*Белгородцев Олег Владимирович*¹ – ведущий технолог, e-mail: O_Belгородцев@mail.ru,

*Громов Евгений Викторович*¹ – научный сотрудник, e-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,

¹ Горный институт КНЦ РАН.

S.V. Lukichev, O.V. Belogorodtsev, E.V. Gromov

SOLUTION OF TASKS ON DETERMINING ORE RESERVES, INDICATORS OF STRUCTURAL LOSSES AND DILUTION DURING UNDERGROUND MINING ON THE BASIS OF 3D COMPUTER MODELING OF MINING-AND-GEOLOGICAL OBJECTS

The paper presents possible alternatives of developing a stope block with accounting mining-geological and mining-engineering conditions. A computer modeling method was used to determine volumes of driving operations, reserves of ore broken, level of recovery indicators and content of useful components in variants of the stope block developing by mining methods combination.

Key words: deposit, geotechnology, losses and dilution, mining method, technological area, digital model, modeling, ore body.

AUTHORS

*Lukichev S.V.*¹, Doctor of Technical Sciences, Interim Director MI KSC RAS, e-mail: lu24@goikolasc.net.ru,

*Belogorodtsev O.V.*¹, Leading Technologist, e-mail: O_Belogorodtsev@mail.ru,

*Gromov E.V.*¹, Researcher, e-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,

¹ Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. *Metodika normirovaniya poter' i razubozhivaniya apatit-nefelinovykh rud na podzemnykh rudnikakh proizvodstvennogo ob"edineniya «Apatit»* (A method of regulation of losses and dilution of apatite-nepheline ore in underground mines, JSC Apatit), Apatity, KFAN SSSR, 1988, pp. 170.

2. *Instruksiya po opredeleniyu, planirovaniyu i normirovaniyu kolichestvennykh i kachestvennykh poter' rudy, uchetu sostoyaniya i dvizheniya zapasov pri sisteme s podetazhnym obrusheniem s tortsevim vypuskom rudy na podzemnykh rudnikakh OAO «OLKON»* (Instructions for determination, planning and regulation of quantity and quality ore losses, accounting of state and movement of reserves in sublevel caving mining method with front ore pass in underground mines, JSC Olkon), Apatity-Olenegorsk, GoI KNTs RAN, 2005, pp. 41.

3. *Vremennye metodicheskie polozheniya po otsenke ekspluatatsionnykh poter' pri razrabotke mestorozhdeniya «Oleniy Ruchey»* (Pererabotannye i dopolnennyye). (Temporal methodical regulations for estimation of exploitation losses during the Oleniy Ruchey deposit developing (modified and upgraded)), Apatity, GoI KNTs RAN, 2011, pp. 76.

4. *Instruksiya po opredeleniyu, uchetu i normirovaniyu poter' zheleznoy rudy po shakhte im. Gubkina OAO «KMaruda»* (Regulations for determination, accounting and regulation of iron ore losses in the Gubkin mine, OJSC KMSruda), Gubkin, Belgorodskaya obl., institut «Giproruda», 2003, pp. 13.

5. *Reglament otrabotki zapasov gorizonta +170 m Kukisvumchorrskogo mestorozhdeniya Kirovskogo rudnika (opytnyy blok 7/10 gor. +170 m)* (Regulations for developing reserves at +170 m horizon, the Kirovskiy mine, Kukisvumchorr deposit (testing block 7/10 horizon +170 m)), Apatity, GoI KNTs RAN, 2015, pp. 185.

6. *Metodika avtomatizirovannogo formirovaniya i vybora variantov razvitiya gornyykh rabot na podzemnykh rudnikakh PO «Apatit»* (A method of atomized formation and choice of alternative mining operations in underground mines, JSC Apatit), Moscow, IPKON AN SSSR, 1986, pp. 45.