

УДК 622.274

**В.С.ЛИТВИНЕНКО**, д-р техн. наук, профессор, ректор, *rectorat@spmi.ru*  
**Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ**, д-р техн. наук, профессор, *bogusl@spmi.ru*  
**М.Н.АНДРЕЕВ**, аспирант, *gorengi@yandex.ru*  
Санкт-Петербургский государственный горный университет

**V.S.LITVINENKO**, Dr. in eng. sc., professor, rector, *rectorat@spmi.ru*  
**E.I.BOGUSLAVSKIY**, Dr. in eng. sc., professor, *bogusl@spmi.ru*  
**M.N.ANDREYEV**, post-graduate student, *gorengi@yandex.ru*  
Saint Petersburg State Mining University

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫЕМКЕ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ЯКУТИИ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Предложен анализ и обобщен опыт подземной отработки подкарьерных запасов кимберлитовых трубок. Обоснована необходимость разработки новых технологий отработки подкарьерных запасов кимберлитовых трубок в условиях месторождений, разрабатываемых АК «АЛРОСА». Приведен разработанный авторами способ отработки обводненных подкарьерных запасов алмазоносных месторождений Якутии.

**Ключевые слова:** кимберлитовые трубы, подкарьерные запасы, водоносный горизонт, способ подземной разработки, состав закладочного материала.

## TECHNOLOGY AND MANAGEMENT OF YAKUTIAN KIMBERLITIC TUBES UNDERQUARRY DEPOSITS MINING AT DIFFICULT HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

Article is in touch with mining industry and devoted to the analysis and generalization of world experience of underground mining of kimberlitic tubes underquarry reserves.

In it the urgency of research of new technologies of underground mining of kimberlitic tubes underquarry reserves in the conditions of the deposits, developed by «ALROSA». The mining technology of kimberlitic tubes water-bearing underquarry reserves excavation is described.

**Key words:** kimberlitic tubes, underquarry reserves, method of mining, water-bearing level, aerodynamically connection, low intensity.

Кимберлитовые трубы Якутии уникальны по сложности разработки: суровый резко-континентальный климат (зимой температура достигает  $-60^{\circ}\text{C}$ , летом  $+40^{\circ}\text{C}$ ), частые и резкие перепады температуры до  $20^{\circ}\text{C}$  в течение суток; мощная (до 700 м) толща многолетней мерзлоты; высокоминерализованные, химически агрессивные подземные воды, содержащие сероводород, нефте- и газовыделения во вмещающих породах.

В настоящее время за счет интенсивной отработки ряда кимберлитовых месторождений открытым способом карьеры достигли критической глубины. Дальнейшая их открытая разработка становится экономически нецелесообразной и технически небезопасной. На современном этапе освоения алмазных месторождений, когда из недр извлечена большая часть легкодоступных запасов, главная задача состоит в том, чтобы быстрыми темпами вскрыть глубокозалега-

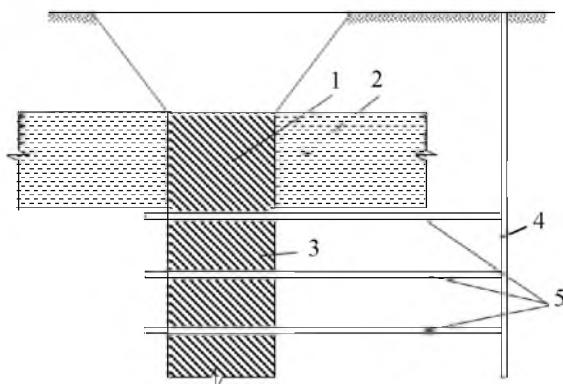


Рис.1. Схема вскрытия рудника «Интернациональный»  
 1 – оставляемый по принятому проекту предохранительный целик; 2 – водоносный горизонт; 3 – рудное тело; 4 – стволы;  
 5 – квершилаги

гающие запасы трубок «Мир», «Айхал», «Удачная», «Ботубинская» и обеспечить их отработку подземным способом. Выполнение задачи затрудняет отсутствие практики и мирового опыта ведения подземных работ на алмазоносных месторождениях в условиях Севера. В настоящее время на месторождениях «Мир» и «Айхал» завершены открытые горные работы на глубине 320 и 525 м.

В отечественной практике при переходе от открытого на подземный способ отработки крутопадающих месторождений применяются в основном два класса систем разработки:

- выемка подкарьерных запасов месторождений системами с массовым обрушением руды и вмещающих пород;

- выемка системами с закладкой при оставлении безопасного рудного целика под дном карьера, который впоследствии погашается системами подэтажного обрушения, или с закладкой при возведении бетонной потолочины [4].

Необходим поиск новых технологических и технических решений для полной отработки подкарьерных запасов кимберлитовых месторождений с минимальными потерями и разубоживанием ценного полезного ископаемого. Примеры подземной отработки кимберлитов, близкие к условиям якутских месторождений, к сожалению, отсутствуют [5].

Кимберлитовые трубы «Мир» и «Интернациональная» пересекают мощный (до

200 м) водоносный горизонт, содержащий агрессивные хлоридно-натриевые рассолы с растворенным сероводородом. После вскрытия подземных водоносных комплексов углубление горных работ на карьерах ведется в условиях интенсивного подтопления нижних горизонтов токсичными и агрессивными к металлам рассолами. Переход на подземную отработку этих месторождений под слоем с повышенной обводненностью, не позволяет использовать системы с обрушением руды и вмещающих пород. В таких условиях подземную отработку следует вести с закладкой выработанного пространства и без применения крупномасштабных массовых взрывов, чтобы избежать прорыва воды из водоносного горизонта в горные выработки. Неуправляемый транзит воды с поверхности через обрушенные породы или отбитую руду в районе ведения очистных работ создает опасность аварийных прорывов воды и водонасыщенных глин.

В настоящий момент горные работы под водоносным горизонтом на кимберлитовой трубке «Интернациональная» (рис.1) ведутся открытым и подземным способами параллельно.

Рудное тело представлено трубкой овальной формы, выполненной алмазосодержащими кимберлитовыми породами. Они однообразны по составу и состоят на 93 % из порфировых кимберлитов и автолитовых кимберлитовых брекчий с неравномерно распределенными среди них столбами неизмененных кимберлитов массивной текстуры (7 %). Кимберлитовая руда характеризуется значительной степенью трещиноватости и прочностью 2-4 по шкале Протодьяконова. Нефтегазопроявления на месторождении во вмещающих породах прослежены до глубины 1200 м [1].

На руднике применяется слоевая система разработки с твердеющей закладкой и комбайновой выемкой слоев тупиковыми заходками по камерно-целиковой схеме в восходящем или нисходящем порядке. Параметры заходок: ширина 5,1-5,4 м; высота 4,0-4,75 м [2].

Очистная выемка заключается в последовательной отработке выемочных лент

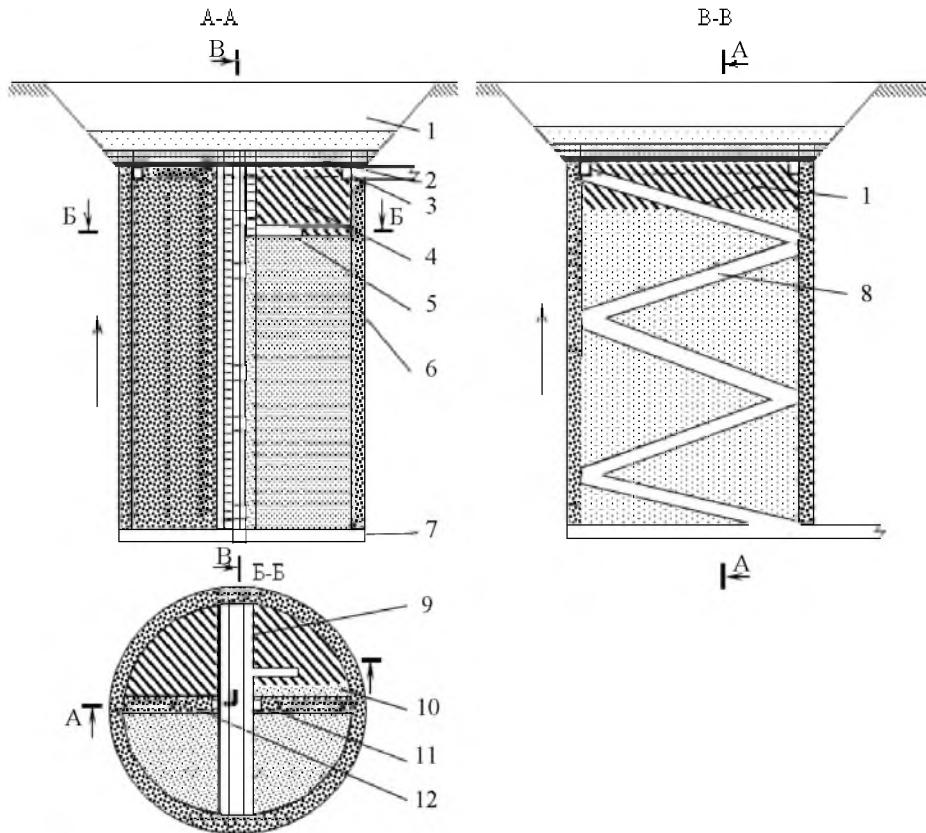


Рис.2. Схема предлагаемой технологии разработки подкарьераных запасов

1 – карьер; 2 – герметичная подушка; 3 – вентиляционно-закладочный штrek; 4 – закладочная скважина; 5 – очистная заходка; 6 – барьерный искусственный целик; 7 – откаточный штrek; 8 – автоуклон; 9 – рудный заезд; 10 – отработанная очистная заходка; 11 – рудоспуск; 12 – упрочняющий искусственный целик

(камер) на слое с оставлением целика между отработанными лентами (камерами) не менее чем две ширины ленты. Слои отрабатываются полностью без оставления рудных целиков. Очистные работы ведут четыре добывающих комплекса, включающие комбайн (типа АМ75 или АНМ105, выпускаемые фирмой «Альпине – Вестфалия», ФРГ) и погрузочно-доставочную машину EST-6С (или TORO-400). Максимальное расстояние доставки руды до участкового рудоспуска не превышает 150 м [3].

Однако такая технология из-за сложной гидрогеологической ситуации (рис.1) не позволяет отрабатывать запасы руды без потерь. Кроме того, горный массив у дна отработанного карьера разрушен массовыми взрывами и при выемке последнего, верхнего слоя неудается предотвратить гидравлическую связь подземных горных выработок

с выработанным пространством карьера. К основным недостаткам системы разработки следует отнести низкую интенсивность отработки запасов и повышенную опасность работ из-за с пребывания горнорабочих непосредственно в очистном забое.

Для решения обозначенных проблем целесообразно создать единый проект разработки подкарьераных запасов открытым и подземным способами, технологически и организационно взаимосвязанными между собой в рациональную систему, обеспечивающую эффективное ее применение. Необходимо формировать общие схемы вскрытия и подготовки запасов, комплексно решать вопросы геомеханики, вентиляции, водоотлива, транспортирования горной массы.

Предлагаемая авторами технология разработки обводненных подкарьераных запасов алмазоносных месторождений (рис.2)

состоит в следующем. Месторождение отрабатывается одновременно открытым и подземным способами. После отработки карьера 1 до максимальной глубины на его дне с помощью бетонной закладки и изолирующей пленки формируется герметичная подушка 2 и ведется отсыпка дна карьера вскрышными породами. Рудное тело вскрывается вертикальными стволами и квершлагами, разделяется на этажи при проведении откаточных штреков 7. По центру рудного тела проходит автouклон 8, служащий для транспортирования горного оборудования. Вентиляционно-закладочный штрек 2 в верхней части блока служит для подачи закладки в отработанные очистные заходки 5.

С помощью проходческого комбайна отрабатываются кольцевой участок на контуре рудного тела и часть рудного массива вкrest трубы, которые заполняются бетонной закладкой, формируя тем самым искусственный барьерный 6 и упрочняющий целик 12, делящие блок на камеры. Затем начинается отработка камер подземным способом снизу-вверх слоевой системой разработки с твердеющей закладкой.

После проведения подготовительных и нарезных работ приступают к очистной выемке руды в камерах с помощью очистного комбайна и самоходной доставочной техники. Отбитая комбайном руда из очистной заходки по рудному заезду 9 транспортиру-

ется погрузодоставочной машиной до рудоспуска 11. Очистные заходки отрабатывают, чередуя через одну. Отработанная очистная заходка 10 закрывается с двух сторон перемычками и заливается твердеющей закладкой по закладочным скважинам 4. После отработки всех очистных заходок в слое горное оборудование транспортируется по автouклону на следующий слой, где очистной цикл повторяется.

Для создания искусственного барьерного целика по контуру кимберлитовой трубы предложен состав закладочной смеси, препятствующий проникновению воды и отравляющих веществ из подземного водоносного горизонта; проведены лабораторные испытания по определению физико-механических свойств закладочного материала.

При проведении исследований были использованы методы физического моделирования. Образцы твердеющей закладочной смеси создавались с использованием специально сконструированного экспериментального стенда. Для получения зависимости усадки и прочностных свойств закладочного материала от различных добавок, каждая серия образцов имела свой уникальный состав. Эксперименты (см. таблицу и рис.3, а) показали снижение усадки закладочного материала при увеличении содержания в нем расширяющей добавки типа ЛАД-6 (фирма «ХимМодификатор»).

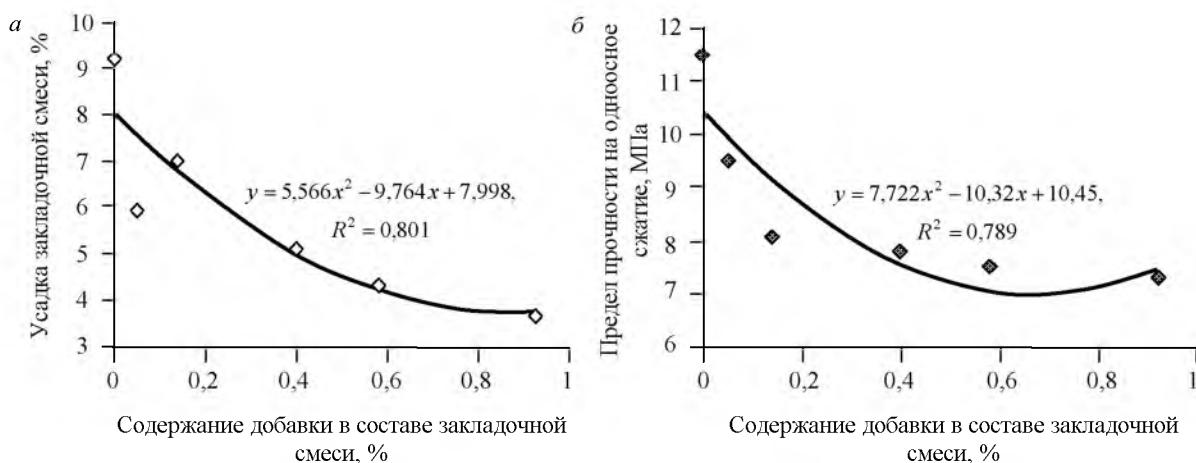


Рис.3. Зависимость усадки (а) и предела прочности на сжатие закладочного материала (б) от введения в его состав добавки ЛАД-6

**Результаты экспериментальных работ по оценке влияния добавки ЛАД-6 на усадку и прочность закладочного материала**

Номер образца	Содержание добавки, %	Усадка, %	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа
1	0,00	9,18	11,5
2	0,05	5,94	9,48
3	0,14	7,00	8,1
4	0,40	5,10	7,8
5	0,58	4,29	7,5
6	0,92	3,67	7,3

Однако это ведет к снижению прочности закладочного материала в 2 раза (рис.3, б). Тем не менее, полученные составы закладочной смеси не уступают по своим качествам применяемым на руднике «Интернациональный» и могут быть использованы для заполнения выработанного пространства.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Айнбinder И.И. К проблеме отработки подкарьерных запасов трубки «Мир» подземным способом / И.И.Айнбinder, Н.П.Крамсков // Горный журнал. 2000. № 8. С.17-23.
2. Замесов Н.Ф. Технические решения по ускоренному вскрытию и подготовке к эксплуатации подкарьерных запасов трубки «Мир» // Горный журнал. 2000. № 2. С.10-15.

3. Калитин В.Т. Алмазодобывающий комплекс России: современное состояние, проблемы и перспективы развития // Горный журнал. 2003. № 1. С.110-113.

4. Комбинированная геотехнология при освоении алмазоносного месторождения трубы «Удачная» / Д.Р.Каплунов, М.В.Рыльникова, В.В.Калмыков, Ю.А.Петров, В.А.Суслов // Горная промышленность. 2005. № 4. С.21-25.

5. Осинцев В.А. Комплексный открыто-подземный способ разработки рудных месторождений с крутыми нерабочими бортами карьера / Горный журнал. Изв. вузов. 2005. № 3. С.34-36.

**REFERENCES**

1. Ajnbinder I.I. To a working off problem of underquarry tube reserves «Mir» in the underground way / I.I.Ajnbiner, N.P.Kramskov // Mining magazine. 2000. N 8. P.17-23.
2. Zamesov N.F. Technical decisions on the accelerated opening and preparation for operation of underquarry reserves of «Mir» diamond tube stocks // Mining magazine. 2000. N 2. P.10-15.
3. Kalitin V.T. The Diamond-mining complex of Russia: a current state, problems and development prospects // Mining magazine. 2003. N 1. P.110-113.
4. Kaplunov D.R. The combined geotechnology at development of a diamondiferous deposit of a tube «Udachnaya» / M.V.Rylnikova, V.V.Kalmykov, U.A.Petrov, V.A.Suslov // Mining industry. 2005. N 4. P.21-25.
5. Osintsev V.A. The complex of opened-underground way of working out of ore deposits with abrupt non-working boards of an open-cast mine» // Mining Magazine of High Schools News. 2005. N 3. P.34-36.