

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ЮГО-ЗАПАДЕ ЯКУТИИ

Дроздов А.В.<sup>1</sup>, Акишев А.Н.<sup>1</sup>, Мельников А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», Мирный, Россия (678170, г. Мирный, ул. Ленина, 39), e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru,

<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия (664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128), e-mail: mel@crust.irk.ru

Алмазодобыча в АК «АЛРОСА» характеризуется осложнением горно-геологических и горнотехнических условий освоения коренных месторождений алмазов Якутии, при этом происходит переход от открытого способа разработки – к подземным геотехнологиям. Выбор оптимального варианта системы отработки конкретной кимберлитовой трубки зависит от множества факторов, основными из которых являются горно-геологические условия, содержание и стоимость алмазов в руде, общие разведанные и прогнозные запасы и т.д. Окончательный выбор варианта системы разработки месторождения необходимо осуществлять с разделением на отдельные этапы при установленном временном показателе и объемах подготовительных и добычных работ. При этом учитываются экономические критерии с дополнительными ограничениями, отражающими минимально допустимый стоимостный уровень товарной продукции при той или иной системе отработки алмазоносной трубки. Для трубки «Интернациональная», как и по трубке «Мир», расположенным в южной части Западной Якутии, интервал залегания высоководообильного водоносного комплекса эффективнее было отработать карьерами на конечной стадии освоения месторождений, после извлечения всех запасов на глубоких горизонтах подземным способом, что привело бы к существенному экономическому эффекту.

Ключевые слова: алмазные месторождения, горные выработки, подземные воды, геотехнологии, карьеры, подземные рудники.

## TO THE QUESTION OF INCREASE OF EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF GEORESOURSE POTENTIAL OF DEPOSITS OF DIAMONDS IN THE SOUTHWEST OF YAKUTIA

Drozdov A.V.<sup>1</sup>, Akishev A.N.<sup>1</sup>, Melnikov A.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of "Jakutnioproalmaz" AC «ALROSA», Peace, Russia (678170, Peace, Lenin's street, 39), e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru

<sup>2</sup>Institute of earth crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, Russia (664033, Irkutsk, Lermontov's street 128), e-mail: mel@crust.irk.ru

Diamonds production in AC «ALROSA» are characterised by complication of mountain-geological and mining conditions of development of radical deposits of diamonds of Yakutia, thus there is a transition from an open way of working out – to underground geotechnologies. The choice of an optimum variant of system of working off concrete kimberlite tubes depends on set of factors, mountain-geological conditions, the maintenance and cost of diamonds in ore are basic of which, the general reconnoitered and look-ahead stocks etc. are necessary for carrying out the Definitive choice of a variant of system of working out of a deposit with division into separate stages at the established time indicator and volumes preparatory and добычных works. Economic criteria with the additional restrictions reflecting is minimum admissible cost level of a commodity output at this or that system of working off алмазоносной of a tube are thus considered. For a tube "International", as well as on a tube "the World", located in a southern part of the Western Yakutia, occurrence high-water, water-bearing a complex it was more effective to fulfil an interval open-cast mines at a final stage of development of deposits, after extraction of all stocks on deep horizons in the underground way that would lead to essential economic benefit.

Keywords: diamond deposits, mountain developments, underground waters, geotechnologies, open-cast mines, underground mines.

Современный этап и дальнейшие перспективы алмазодобычи для АК «АЛРОСА» характеризуются значительным осложнением горно-геологических и горнотехнических условий освоения коренных месторождений алмазов Якутии, при этом происходит планомерный переход от открытого способа разработки богатых кимберлитовых трубок к открыто-подземным, а затем подземным геотехнологиям. Увеличение глубины ведения

горных работ сопровождается снижением запасов в рудных телах, а в некоторых случаях и качества минерального сырья. В настоящее время практически исчерпаны запасы многих месторождений, в частности трубок «Сытыканская», «Айхал» и других. Планируется вовлечение в алмазодобычу кимберлитовых трубок с пониженной товарной ценностью руды, в то же время строительство подземных рудников при снижении объемов сырья требует значительных инвестиционных вложений.

Выбор оптимального варианта системы и технологии отработки конкретного алмазного месторождения зависит от множества факторов, основными из которых являются горно-геологические условия (обводненность, нефтегазонасыщенность, устойчивость пород и др.), содержание алмазов в тонне кимберлита, размеры рудных тел, общие разведанные и прогнозные запасы и т.д. Во всех случаях основным критерием выбора наиболее эффективного варианта системы и элементов технологий алмазодобычи должен быть экономический показатель, отражающий капитальные вложения, эксплуатационные затраты, экологические потери и другие факторы. Окончательный выбор варианта системы разработки месторождения применительно к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям должен осуществляться с разделением на отдельные этапы с установлением времени и объемов подготовительных и добычных работ. При этом учитываются экономические критерии с дополнительными ограничениями, отражающими минимально допустимый стоимостный уровень товарной продукции при той или иной геотехнологической схеме отработки алмазоносной трубки.

В этих условиях становятся актуальными современные подходы к анализу и оценке проблем текущего и долгосрочного планирования в развитии горных работ с выработкой эффективных научно-практических и проектных решений по обеспечению конкурентоспособности добычи алмазов в России на современном экономическом этапе. Таким образом, приоритетной задачей нынешнего периода для планирования в АК «АЛРОСА» следует считать выбор и оптимизацию способов разработки коренных месторождений, модернизацию техники и технологии горных работ, которые в настоящее время и в обозримой перспективе будут призваны обеспечить решающую долю в общем объеме добычи алмазов в стране [2; 4].

В большинстве случаев при комбинированной отработке месторождений к моменту перехода на подземную добычу стоимость оставшейся руды в земных недрах не превышает 1/3 от общих разведанных запасов [5]. При этом удельные капитальные вложения на подземную отработку будут тем выше, чем больше глубина открытых горных работ. Поэтому часто на алмазных месторождениях с отдельной оценкой капитальных вложений, эксплуатационных затрат, полученных прибылей от открытой и подземной добычи создается ситуация с неэффективностью подземной отработки глубоких горизонтов кимберлитовых трубок и полного извлечения всех разведанных запасов. Таким образом, напрашивается явный

вывод о необходимости осуществления экономических расчетов только для комбинированного способа разработки по большинству коренных алмазных месторождений с учетом рационального освоения земных недр с извлечением всех запасов сырья, а также положительного баланса финансовых затрат и получаемых прибылей. Создающиеся прибыли от карьерной разработки должны инвестироваться в строительство подземных рудников с возможностью извлечения всех разведанных запасов по рассчитанным этапам комбинированной геотехнологии [3].

Как правило, строительство и ввод в эксплуатацию подземных рудников с проектными объемами алмазодобычи после завершения открытых горных работ приводит к консервации месторождения на несколько лет. Поэтому своевременное начало строительства подземного комплекса является важным фактором комбинированной геотехнологии с ликвидацией или сокращением перерыва по добыче руды между открытыми и подземными горными работами. В то же время этапность и способы эффективного и научно обоснованного освоения подземного пространства для алмазонасных трубок могут отличаться с учетом применения различных схем: открытой, подземной открыто-подземной, открыто-подземно-открытой или других геотехнологических вариантов. На отдельных этапах открытые и подземные горные работы могут осуществляться параллельно с учетом горно-геологических условий месторождений.

Рассмотрим некоторые особенности добычи алмазов в Якутии карьерным способом. Опыт открытой отработки коренных месторождений показывает, что с учетом изменения угла наклона бортов и технологии отстройки уступов глубина практически всех обрабатываемых кимберлитовых трубок неоднократно пересматривается в сторону ее увеличения [1]. К настоящему времени конечная глубина карьеров составляет от 125 до 720 м, что в 1,5–2,0 раза превышает принятую ранее в проектных решениях. В зависимости от размеров поперечного сечения рудного тела и ценности руды глубина карьеров соответствует граничному коэффициенту вскрыши от 15,5 до 86,8 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. При этом по месторождениям, где планируется комбинированный способ отработки, от 30 до 70% разведанных запасов руды обрабатывается открытыми горными работами. Все вновь проектируемые карьеры отстраиваются с предельными по прочностным свойствам пород параметрами нерабочих уступов и высотой до 45–60 м с полигональным профилем под углом 80°.

Серьезно претерпела изменение и схема вскрытия рудных тел. При отстройке бортов не используются наклонные бермы, их заменяют сочетанием крутонаклонных и горизонтальных берм. В карьерах до 60–80% высоты нерабочих бортов вскрываются системой встречных съездов, в том числе и с однополосным движением автотранспорта. Все вновь запроектированные карьеры обрабатываются с предельной (по горнотехническим условиям) производительностью по добыче руды. При этом скорость понижения добычных работ

увеличилась с 11,6 до 20–24,5 м/год, т.е. на 52–60%. Величина продольного уклона транспортных берм, особенно в нижней части карьеров, увеличилась с 80 до 110–150, а в отдельных случаях до 217%.

Оценим особенности использования подземной алмазодобычи в АК «АЛРОСА». Реализуемая геотехнологическая концепция подземной разработки основных эксплуатируемых месторождений базируется на традиционной схеме выемки запасов горизонтальными слоями с закладкой твердеющими смесями. Проводимая техническая политика при высокой ценности алмазного сырья, безусловно, дает определенные результаты, но не сможет сделать применяемую геотехнологию эффективной основой перспективного развития подземной добычи алмазов вследствие сдерживающего влияния целого ряда осложняющих горно-геологических, технологических и других факторов.

Принятой концепции подземной добычи сопутствует комплекс негативных показателей, в частности: ограниченный фронт ведения очистных работ; необходимость постоянного присутствия обслуживающего персонала непосредственно в очистном забое; противоречие между непрерывным характером комбайновой отбойки и циклическим процессом доставки; высокая степень природных и техногенных нарушений в разрабатываемых массивах; незащищенность горных работ от природных флюидов; дополнительное разубоживание руды при прихвате закладки и т.д. Принятый нисходящий порядок выемки запасов алмазного сырья порождает также общеизвестные недостатки в формировании закладочного массива, как несущей конструкции, с созданием негативной геомеханической ситуацией в вышележащих рудных предохранительных целиках.

Рассмотрим горно-геологические особенности крупнейших по запасам кимберлитовых трубок «Мир», «Интернациональная», расположенных на юго-западе Якутии. Наиболее важными осложняющими факторами при разработке месторождений являются: наличие высоконапорного водоносного комплекса (МИВК) (рис. 1), подземные воды которого представлены агрессивными рассолами с минерализацией до 130 г/дм<sup>3</sup>; наличие в рассолах газов с сероводородом до 130 мг/дм<sup>3</sup>; присутствие на глубоких горизонтах галогенных отложений (до 300 м) и другие. Месторождение трубки «Интернациональная» осваивается по комбинированной открыто-подземной схеме отработки, при этом добычные работы на отдельных горизонтах выполнялись параллельно. В 2004–2010 гг. горные работы осуществлялись как в карьере (гор. +85...+115 абс. м), так и в подземных выработках рудника. Ранее по месторождению трубки «Интернациональная» было принято правильное, на наш взгляд, решение – не вскрывать МИВК, а производить добычные работы на нижележащих глубоких горизонтах. Первый пусковой комплекс рудника (1ПК) был введен в эксплуатацию в 1999 г., а в 2003 г. подземный комплекс выведен на проектную мощность. На руднике используется слоевая система с применением

твердеющей закладки, камерно-целиковым порядком отработки запасов в слоях и нисходящим порядком вскрытия запасов в эксплуатационном блоке.

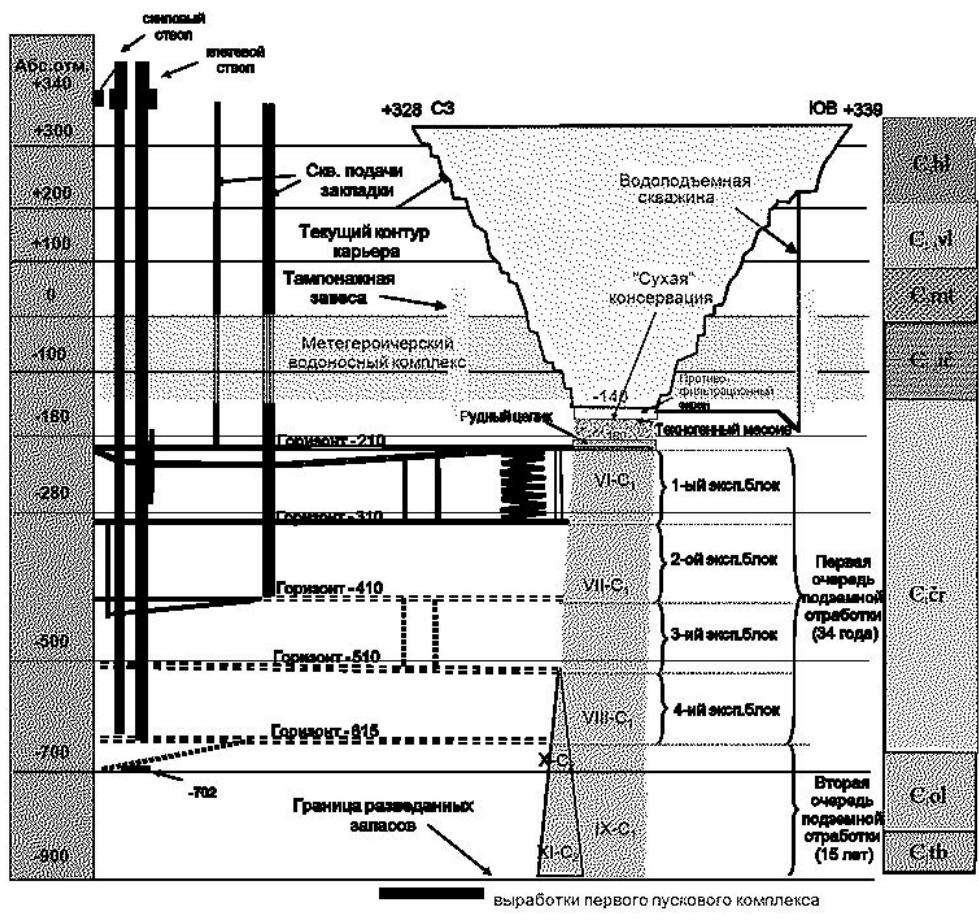


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной отработки трубки «Мир».

Начавшиеся в 2009 г. подземные добычные работы на руднике «Мир» выявили ряд горно-геологических проблем, связанных с поступлением подземных вод в горные выработки через карьер из МИВК, формированием огромных полостей во вмещающих галогенных породах, образованных за счет растворения солей, обрушением участков рудного и закладочного массивов при обводнении рассолами и т.д. При этом экономические показатели, в том числе эксплуатационные затраты и капитальные вложения, возросли в несколько раз. Анализ возможных вариантов системы отработки данного месторождения показал, что наиболее эффективной представляется открыто-подземно-открытая схема его освоения. При этом добычные работы в интервале МИВК следовало выполнять после выемки всех запасов алмазов подземным рудником с последующим затоплением горных выработок.

В ходе анализа существующих материалов по данным месторождениям был

сформулирован новый взгляд на стратегию алмазодобычи с оптимизацией границ рационального применения открытых, открыто-подземных и подземных технологий. В этом случае должна максимально использоваться естественная несущая способность пород горного массива, с обоснованными величинами коэффициентов запаса устойчивости блоков, соответствующей природной изменчивости свойств грунтов. На основании расчетов устанавливаются оптимальные профили бортов карьеров, обеспечивающие минимальный объем вскрышных работ. Необходимо также широко использовать технологии поэтапной комбинированной отработки месторождений, которые основаны на новых идеях разделения подземного пространства на автономные участки, особенно для месторождений, вскрывающих высоководообильные водоносные горизонты. Это позволит минимизировать объемы вскрышных работ при карьерной алмазодобыче, снизить затраты на осушение месторождений с последующей обратной закачкой стоков в недра криолитозоны и оптимизировать финансовые потоки горнодобывающего предприятия для подземной отработки. К примеру, по трубке «Интернациональная», как и по трубке «Мир», интервал залегания МИВК (гор. +85...-145 абс. м) эффективнее было отработать карьерами на конечной стадии освоения месторождений, после извлечения всех запасов на глубоких горизонтах подземным способом, что привело бы к существенному экономическому эффекту (рис. 2).

Внедрение на открытых горных работах рациональных схем вскрытия рудных тел, оптимизация конструкций бортов карьеров и порядок освоения крутопадающих кимберлитовых трубок позволяет уменьшать объемы вскрышных работ на сотни миллионов кубометров. Совершенствование схем вскрытия и организации размещения вскрышных пород в выработанном пространстве некоторых карьеров АК «АЛРОСА» и на промежуточных отвалах существенно снижает затраты на транспортирование горной массы. Применение специальных способов доработки карьеров, в частности по трубке «Удачная» с использованием насыпных съездов, позволяет добыть дополнительно миллионы тонн руды без производства вскрышных работ при комбинированном способе освоения.

Анализ отработанных, осваиваемых и проектируемых карьеров с учетом полного извлечения разведанных запасов показывает, что их проектная глубина должна быть оптимальной по экономическим критериям при условии ее определения с учетом перехода на отработку подкарьерных запасов подземным способом. Технические возможности открытого способа разработки в условиях Якутии позволяют осваивать глубины до 850 м на крупных кимберлитовых телах с высоким содержанием и ценностью алмазов. При этом следует учесть, что параметры открытых горных работ находятся на грани предельных. В то же время параметры и расчеты только подземной отработки месторождений показывают на более трудоемкий и высокостойкий проектный уровень затрат.

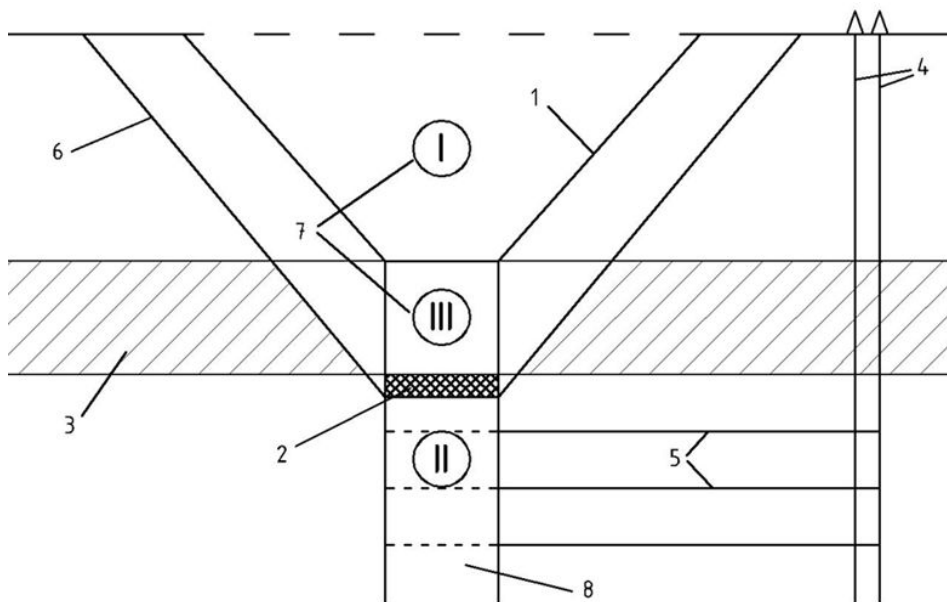


Рис. 2. Схема оптимальной разработки месторождения трубки «Мир»: 1 – положение карьера на I этапе разработки; 2 – предохранительный рудный целик; 3 – высоководобильный водоносный комплекс; 4 – вертикальные стволы; 5 – горизонтальные подходные выработки; 6 – положение карьера на II этапе разработки; 7 – этапы комбинированной отработки месторождения; 8 – рудное тело.

Применение общего комплексного стоимостного расчета позволяет оптимизировать капитальные затраты на полное извлечение запасов алмазов. При этом подходе должны рассматриваться возможные варианты, направленные на ограничение глубины открытой разработки с ее дальнейшим разделением. В таких условиях целесообразнее применять этапы комбинированной геотехнологии, при которой возможности специальных методов и горнотранспортного оборудования открытого способа разработки используются на конечных стадиях для проведения углубочных работ ниже проектного дна карьера без разноса его бортов. Максимальное использование глубин карьерных горных работ дает возможность

эффективного и плавного перехода от открытого к подземному способу отработки алмазных месторождений или, наоборот, от подземного к открытому варианту.

Новым качественным подходом к решению научно-методических, проектных и практических задач совершенствования и интенсификации открытых и подземных горных работ в АК «АЛРОСА» является широкое применение компьютерных геоинформационных технологий. Построение адекватных математических моделей горно-геологических объектов, формализованное математическое описание горно-геометрических задач и разработка оптимизационных методов их решения позволяют наиболее полно выявить объективные характеристики как месторождений, так и способа их разработки. Созданные модели месторождений отражают фактическое состояние горных работ, распределение алмазов в пространстве рудного тела, физико-механические характеристики кимберлитов и вмещающих горных пород и являются основой для всех дальнейших проектных разработок и технико-экономических расчетов. Одной из важных задач, решаемых на основе применения ГИС-технологий, является оптимизация параметров и этапов открытых и подземных работ. Стадия оптимизации считается важнейшим предпроектным этапом для проектирования каждого карьера и рудника, а также необходимой корректировки в процессе ведения горных работ и стратегии их развития при изменении базовых экономических показателей горного предприятия.

### Список литературы

1. Акишев А.Н., Колганов В.Ф., Бондаренко И.Ф., Бабаскин С.Л. Проектирование сверхглубоких алмазородных карьеров. Проблемы и решения // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием : сборник докладов. – Апатиты – СПб., 2012. – С. 160-165.
2. Каплунов Д.Р., Рьльникова М.В., Калмыков В.Н. и др. Комбинированная геотехнология при освоении алмазоносного месторождения трубки «Удачная» // Горная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 22-26.
3. Мельников Н.В., Реентович Э.И., Симкин Б.А. и др. Теория и практика открытых разработок. – М. : Недра, 1979. – 636 с.
4. Научные основы проектирования карьеров / под. ред. В.В. Ржевского. – М. : Недра, 1971. – 600 с.
5. Савич И.Н. Комбинированная разработка кимберлитовых месторождений // Горная промышленность. – 2004. – № 1. – С. 42-43.

### Рецензенты:

Голубев В.А., д.г.-м.н., старший научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, г.Иркутск.

Имаев В.С., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск.