

Новые способы разработки малообъемных алмазных месторождений и доработки подкарьерных запасов алмаза

С.А. Ермаков, Л.Н. Федоров

Институт горного дела Севера СО РАН, г.Якутск

Дан краткий обзор и предложены новые способы разработки малообъемных кимберлитовых месторождений и выемки подкарьерных и подшахтных запасов алмаза. Суть бурового способа заключается в том, что рудное поле разбивается на прилегающие друг к другу правильные шестиугольники со стороной, равной диаметру буримой скважины. Затем проводится выбуривание керна кимберлита большого диаметра с центром на вершинах и в центре правильных шестиугольников. Керна подрезаются механическим способом из полости центральной скважины и вынимаются стреловым самоходным краном. При этом для подрезки керна центральной скважины в ее центре бурится вспомогательная скважина. Показано также, что выдача на поверхность полезного ископаемого в виде керна большого диаметра предполагает широкий диапазон способов дальнейшей дезинтеграции, чем на забое скважины. Новизна способов подтверждается патентами РФ. Особенностью способов является возможность их использования как в геологоразведке для проходки шурфов и канав, так и в строительстве для проходки глубоких ям и котлованов.

Ключевые слова: малообъемное месторождение, алмаз, скважина, керн, выбуривание, закладка.

New Methods of Development of Small Volume Diamond Deposits and Excavation of Undersurface Reserves

S.A. Ermakov, L.N.Fedorov

Institute of Mining of the North SB RAS, Yakutsk

A short review is given and new methods of the development of small-volume kimberlite fields and excavation of undersurface and undermine reserves of diamonds are suggested. The essence of the drilling method is that an ore field is divided into adjacent to each other regular hexagons with sides equal to the diameter of a drilling well. Then of kimberlite cores of large diameter with the centers at the apexes and in the center of the regular hexagons are drilled. The cores are cutted by mechanical method from the cavity of the central well and are excavated by a self-propelled mobile crane. For cutting the core of the central well a secondary bore hole is bored in its center. It is shown that delivery to the surface of a mineral in the form of a core of large diameter allows a broader line of methods of further disintegration, than at a bottom hole. The novelty of the methods is confirmed by the patents of the Russian Federation. The feature of the methods is a possibility of their use as in geological exploration for pits and trenches, and in construction for deep holes and foundation pits.

Key words: small-volume field, diamond, well, core, drilling out, backfilling.

Введение

В Республике Саха (Якутия) известно около 800 кимберлитовых трубок, однако только около 20% считаются алмазоносными, при этом на

учете Госкомиссии по запасам состоит их малая часть. По основной массе алмазоносных месторождений балансовые запасы не подсчитаны ввиду незначительного содержания алмазов или небольшого объема самих кимберлитовых тел. Морфологические особенности трубокобразных алмазных месторождений, заключающиеся в относительно быстром сужении и переходе от раструба в дайкообразные и жильные формы с малыми размерами поперечного сечения, за-

ЕРМАКОВ Сергей Александрович – к.т.н, с.н.с., зав. лаб., s.a.ermakov@igds.ysn.ru; ФЕДОРОВ Лазарь Николаевич – н.с., lnfedorov@mail.ru.

трудняют и даже делают невозможным рентабельную полную отработку таких месторождений традиционными способами.

На сегодняшний день крупные и богатые месторождения, такие как «Мир», «Удачная», «Интернациональная» и «Айхал», обрабатываемые на первом этапе карьерами, будут дорабатываться подземным способом. При этом не решается вопрос последующей выемки подшахтных запасов. Поэтому разработка новой техники и технологии отработки малообъемных алмазных месторождений и доработки подкарьерных и подшахтных запасов является весьма актуальной проблемой.

Краткий обзор и анализ существующих способов выемки

В настоящее время из известных способов добычи полезного ископаемого, наиболее отвечающих условиям разработки малообъемных трубок с минимальными вспомогательными операциями, является способ добычи строительного камня выбуриванием керна большого диаметра [1]. Такой способ может осуществляться различными устройствами для колонкового бурения скважин большого диаметра, например, механическим колонковым буром [2] или способом механизированной проходки шахтных стволов.

Однако существенным недостатком выбуривания керна большого диаметра, препятствующим его широкому распространению, является невозможность размещения мощных крупногабаритных устройств, для отделения керна от массива, в полость вспомогательной скважины малого диаметра. Применение кумулятивных зарядов ВВ ограничивается требованиями кристаллосбережения. Однако можно предположить, что с появлением новых конструктивных и инструментальных материалов будут созданы компактные устройства для отделения керна диаметром 3–6 м, что сделает этот способ высококонкурентным и эффективным.

Известен способ механизированной проходки шахтных стволов посредством кольцевого проходческого агрегата, подвешенного вместе с кернаприемником на вышке при помощи грузоподъемных механизмов. КERN отделяется от массива накладными кумулятивными зарядами ВВ, встроенными в нижней части кернаприемника. Отличительной особенностью этого способа является то, что наземное оборудование выполняет только функции опускания и подъема проходческого (бурового) оборудования и керна из скважины. Существенный недостаток – применение взрывчатых веществ.

Буровые способы начинают применяться при

подземной разработке кимберлитовых трубок. На руднике «Интернациональный» успешно прошел испытания способ подземной отработки, включающий бурение скважин большого диаметра [3]. Суть способа заключается в том, что пробуривается в межэтажном целике мощностью 300 м пилотная скважина диаметром 300 мм и обратным ходом разбуривается, образуя выработку диаметром до 5 м. Отбитая порода на нижнем горизонте убирается погрузочно-доставочными средствами.

Аналогичные работы по совершенствованию открытого способа бурением скважин диаметром 4 м с выдачей продукта разрушения эрлифтом проводились в ОАО «Севералмаз». Как показали результаты, данный способ ввиду значительных затрат не может быть использован в условиях месторождения алмазов имени Ломоносова из-за высокой энергоемкости шарошечного разрушения и эрлифтного способа очистки забоя, причем энергоемкость растет прямо пропорционально квадрату диаметра скважины.

Наиболее реальным и конкурирующим вышеприведенным способам выемки является предложение по разработке малообъемных трубок одним высоким вертикальным уступом свыше 100 м с применением башенных подъемников, опирающихся на периодически углубляемое дно карьера [4]. Имеются и другие предложения по добыче кимберлита из подкарьерного пространства, например, скважинная гидродобыча. Однако ее применение в условиях многолетней мерзлоты затрудняется промерзанием во время остановок не только скважин, но и добычных подземных камер.

К вышесказанному можно добавить, что на сегодня для разработки малообъемных алмазных месторождений и подкарьерных запасов могут быть перспективными также способы, основанные на выемке керна большого диаметра с использованием буровых станков или других устройств типа геохода [5] или «подземного крота», изготовление которых может быть ускорено при условии модернизации горного машиностроения.

Способы выемки, предложенные ИГДС СО РАН

Для разработки малообъемных месторождений в ИГДС СО РАН предложены новые способы выемки полезных ископаемых, на которые получены патенты России. На рис. 1 приведены схемы реализации послонно-скважинного способа выемки (патент России №2090754). Для осуществления способа применяется метод комбинирования, к примеру, бульдозерной послонной отработки и буровнековой выемки

(рис. 1, а). При этом бурят сплошным забоем скважину 1 диаметром 300–1000 мм устройством 2 для бурения скважин большого диаметра, после проходки 3–5 м бульдозер 3 послойно снимает разрыхленный кимберлит и подает его в устье скважины. Затем кимберлит поступает на забой расширяемой части скважины, откуда шнеком 4 направляют к забою пилот-долота 5 и подают его в загрузочные окна 6, а выдают наверх по центральному каналу двойной трубы. Наверху кимберлит направляют в бункер-питатель и на контейнер или на автосамосвал. При этом бурение прекращается за счет уменьшения осевого усилия, а скорость вращения снаряда устанавливается из условия подачи кимберлита в устье скважины и выдачи его наверх. При недостаточности проветривания в целях исключения загазованности могут применяться подземные электробульдозеры с рыхлителями. Если после рыхления не удастся достичь допустимой крупности, устанавливают небольшую дробилку и только после дробления подают кимберлит в скважину. Можно дробить и в скважине специальными устройствами. При послойной отработке полигон формируют с уклоном к устью скважины для облегчения транспортировки горной массы или даже вплоть до ее самотека, обеспечив условия для безопасной работы. При выемке крайне малых месторождений или проходке стволов шахт, шурфов и глубоких ям буровая установка может быть смонтирована в центре залежи на ферме (рис. 1, б). Причем, ввиду малого размера залежи, применяется малогабаритный электробульдозер, который двигается по спиралеобразным траекториям.

При отработке залежи более крупного размера, когда установка фермы становится трудной инженерной задачей, возможно бурение скважин по контуру месторождения прямо по полезному ископаемому (рис. 1, в). Одновременное бурение нескольких скважин по контуру залежи и подача кимберлита к устьям скважин позволяют обрабатывать и более крупные месторождения. Однако при этом неизбежны потери из-за оставления целиков. Поэтому, если мощность буровой установки позволяет проходить скважины большого диаметра по крепким вмещающим породам, более рационально устанавливать буровую на более устойчивый породный массив (рис. 1, г). Достоинством этой схе-

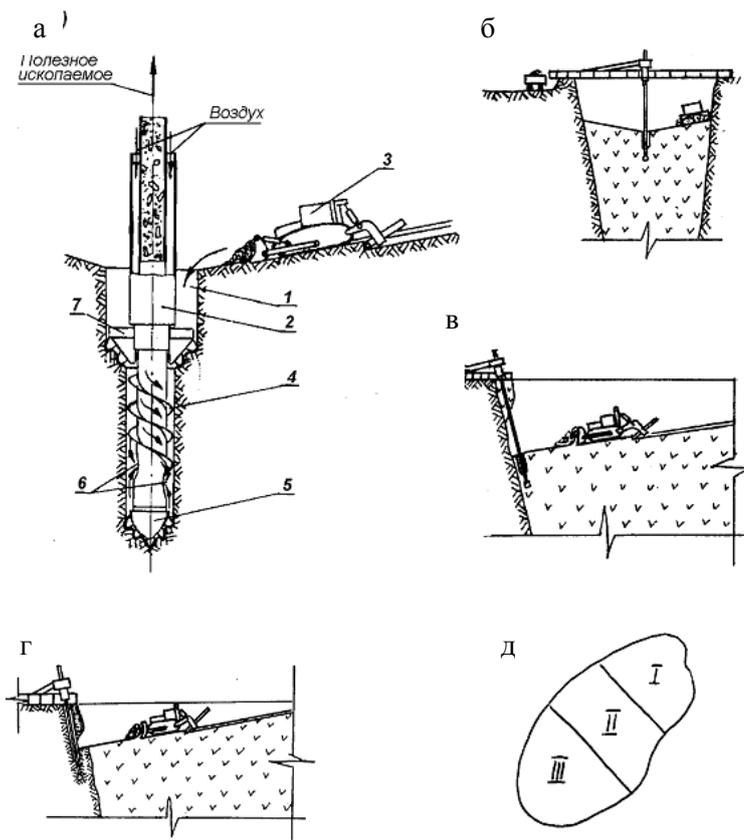


Рис. 1. Схема реализации послойно-скважинной технологии разработки малообъемных алмазных трубок

мы является возможность обрабатывать глубокие карьеры, не боясь потери устойчивости буровой колонны под действием осевого усилия. Однако при этом потребуются устанавливать по длине скважины специальные опоры под буровую колонну.

С целью выемки более крупных залежей с использованием естественного холода для замораживания бортов карьера, т.е. повышения их устойчивости, выемочное поле разбивают на отдельные участки (рис. 1, д). Выемку одного из этих участков ведут до его границ зимой, а летом закладывают и добавляют вяжущий состав по границе последующего обнажения для обеспечения устойчивости закладочного материала. Выемку следующего участка ведут тоже в холодное время года после схватывания вяжущего состава. Если естественные борта неустойчивы и в зимнее время, выемку можно проводить с одновременным креплением штангами или любым другим известным экономичным способом.

Спуск и подъем груза и оборудования осуществляется автомобильным или строительным краном, для подъема и спуска людей могут быть сооружены канатный или клетевой подъемник,

или лифт. В этом предложении требуется научная проработка рыхления и подачи кимберлита в скважину бульдозерами, или горными комбайнами, последующей его шнековой подачи в грузочные окна наружной трубы и выдачи по внутренней трубе наверх.

По патенту №2465461 разработка малообъемных алмазных трубок решается путем бурения скважин большого диаметра кольцевым забоем, подрезкой обуренного цилиндрического столба породы, выдачей его наверх и последующей закладкой скважин пустой породой. Способ осуществляется следующим образом. После вскрыши месторождения на плоскости выемочного поля намечают правильные шестиугольники со сторонами, равными диаметру D выемочных скважин, а на вершинах и центре шестиугольников – соприкасающиеся круги 2 диаметром, равным D (рис. 2). На рис. 2 шестиугольник с кругами выделен как элемент сплошного покрытия выемочного поля. Затем в центре шестиугольника бурят вспомогательную скважину 3 на всю глубину залегания полезного ископаемого, последовательно выбуривают керн 4 из центральной выемочной скважины 5 диаметром D . Отрыв керна центральной скважины осуществляют из полости вспомогательной скважины механическим или гидравлическим способом, а керны внешних скважин отделяют из полости центральной скважины. Для этого гидравлическим, механическим или пескоструйным устройством 6 делают между плитком и залежью систему трещин или прорезывают круговую щель 7, подрезающую намеченные керны и целики, образующиеся между двумя внешними кругами одного шестиугольника и одним кругом другого. Поднимая наверх устройство, прорезывают нужное количество щелей (рис. 3).

Вслед за этим для предупреждения искривления внешних скважин при их бурении и обвала стенок скважины в зоне трещиноватости, а также для обеспечения безопасности ведения работ центральную скважину заполняют самотвердеющей закладкой 8 (рис. 4). Причем самотвердеющую закладку применяют преимущественно по периметру скважин, а ее центральную часть заполняют пустой породой 9. Возможна льдопородная закладка. После этого выбуривают керны 10 из остальных шести внешних выемочных скважин 11 с центром на вершинах шестиугольников (рис. 4). При этом подъем керна не представляет трудностей, так как все керны заблаговременно подрезаны. Но так как после подрезки остается незначительный целик 12 (ножка керна), ограниченный контуром 13 внешних выемочных скважин 11 и контуром подрезных щелей 7, то срывать керн можно,

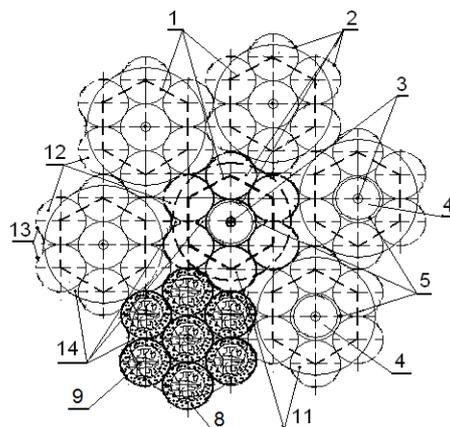


Рис. 2. Схема реализации новой технологии разработки малообъемных алмазных трубок

поднимая колонковую трубу с вращением. Простые расчеты, проведенные аналогично изложенным в [1], показывают, что для частичной подрезки межскважинных целиков 14 диаметр круговой щели 7 нужно принимать не более $2.4D$, а для полной подрезки целиков – не менее $2.6 D$. В последнем случае максимальный диаметр круговой щели ограничивается необходимостью сохранения ножки 12 керна выемочных скважин. Необходимость оставления ножки вызывается тем, что при этом не только уменьшается объем разрушения при подрезке, но и обеспечивается устойчивость керна в конце цикла бурения.

Но уточнение диаметра отрезной щели явля-

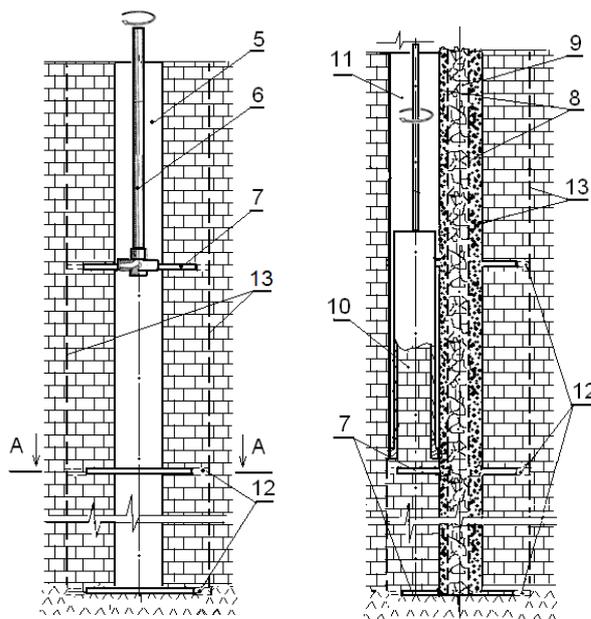


Рис. 3. Нарезание щелей в

Рис. 4. Выбуривание керна на внешних выемочных скважин

ется вопросом разработки конкретного месторождения.

Достоинством предлагаемого способа при разработке алмазных месторождений является сохранность алмазов в объеме керна кимберлита. Кроме того, отделение керна от массива только от воздействия специальных устройств, размещенных во вспомогательной скважине, позволяет бурить скважины большого диаметра коронками с минимальной шириной ее торцовой части и, соответственно, значительно уменьшить нагрузку на забой. А это, в свою очередь, снижает потребную мощность и вес бурового станка и дает возможность бурить скважины диаметром до 2–3 м самоходными станками. Керны кимберлита можно разупрочнять и даже дезинтегрировать различными физико-химическими методами, циклами промораживания–оттаивания или гидравлическими способами. Как известно, все эти мероприятия являются кристаллосберегающими и при этом достаточно технологичны.

Отличительной особенностью вышеописанной технологии разработки является возможность ее совмещения с проведением геологоразведочных работ. Для этого на план буровых работ необходимо предварительно нанести схему разработки по новой технологии (рис. 2) и принять сетку разведочного бурения, кратной расстоянию между вспомогательными скважинами. В этом случае геологоразведочные скважины будут использованы при разработке месторождения. А если необходимо быстро разведать и отработать месторождение, разведку и разработку можно совместить, пробуравив вспомогательные скважины колонковым способом. Однако реализация такого общего подхода к освоению месторождения должна проводиться по единой методике проведения разведки–разработки.

Другой особенностью новой технологии является монолитность добываемого полезного ископаемого, что делает его удобным для выемки из полости скважины различными стреловыми самоходными кранами и транспортировки на склад или обоганительную фабрику без угрозы смерзания. Дробление таких негабаритов на обоганительной фабрике можно проводить гидравлическим способом (пат. РФ №2465460). В развитие вышеописанного способа выемки кимберлита предложен способ добычи алмазов, предусматривающий бурение скважин термомеханическим способом с применением ПАВ, последующее промораживание керна естественным холодом и его оттайку на обоганительной фабрике (патент РФ №2457329). При 1–2-кратном цикле промораживания–оттаивания кимберлита пористостью выше 3% наблюдается

его разупрочнение на 15–35% [6].

При выбуривании керна большого диаметра наибольшую трудность представляет отделение керна от массива, особенно когда оно проводится из полости вспомогательной скважины малого диаметра. Однако появление технологичного, производительного и экономичного способа отделения керна от массива из полости скважины малого диаметра позволит реализовать технологию бурения скважин по патенту РФ №2461712.

Заключение

Вышеприведенные технологические решения по нашему мнению обладают инновационной, экономической и социальной привлекательностью, заключающейся в следующем:

- вовлечение в хозяйственный оборот малообъемных месторождений, расположенных в удаленных и малодоступных местах;
- возможность выемки подкарьерных запасов, которые нерентабельно добывать подземным способом;
- значительное уменьшение количества рабочих, занятых на добычных работах;
- резкое уменьшение объема отвалов, улучшение экологической обстановки;
- повышение уровня безопасности проведения добычных работ за счет реализации безлюдной выемки кимберлита.

Предложенные способы разработки предназначены для отработки малообъемных кимберлитовых месторождений и подкарьерных запасов, а также могут быть использованы для доработки подшахтных запасов. Однако область применения новых технологий гораздо шире. Они могут успешно применяться не только при добыче алмазов, но и при разработке месторождений других полезных ископаемых, имеющих трубко- или столбообразную форму малого поперечного сечения. Кроме того, технологию с бурением скважин сплошным забоем и послонной выемкой можно применять при проходке геологоразведочных шурфов, канав или в строительстве при проходке различных глубоких ям и котлованов.

Предложенная технология добычи выбуриванием керна большого диаметра при применении буровых станков или иных устройств, проходящих скважины диаметром более 4–6 м, и подрезке керна такого же диаметра может применяться как технология безлюдной разработки крупных алмазных и других месторождений полезных ископаемых.

Литература

1. Егоров Д.Е. Преимущества выбуривания цилиндрических изделий из камня на карьерах и способы

их отделения от массива горных пород [Текст] / Д.Е. Егоров // Записки Горного института. – 2006. – Т.167, ч. 1. – С. 10–12.

2. А.с. 857431 СССР, Класс E21B 25/00. Устройство для отделения керна [Текст] / В.В. Чубаров, В.В. Чуносков (СССР). – №2723301/22-03; заявл. 06.02.1979; опубл. 23.08.1981, бюл. №31. – 4 с.; ил.

3. *Бородин А.А.* О возможности выемки кимберлитовой руды вертикальными цилиндрическими выработками [Текст] / А.А. Бородин, Н.П. Бородин, А.А. Бородин // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы: сб. докл. Международ. научно-практ. конф. Мирный 1–9 июля 2001 г. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – С. 339–345.

4. *Точилин В.И.* Энерго- и ресурсосберегающие

технологии разработки малых кимберлитовых трубок [Текст] / В.И. Точилин // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: сб докл. Международ. научно-практ. конф. Мирный, 11–15 апр. 2011г. – Новосибирск: Наука, 2011. – С. 559–563.

5. *Аксенов В.В.* Геовинчестерная технология проведения горных выработок [Текст] / В.В. Аксенов. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. – 263 с.

6. *Курилко А.С.* Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания–оттаивания на физико-механические свойства горных пород [Текст] / А.С. Курилко; отв. ред. В.А. Шерстов. – Якутск: ЯФГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – 154 с.

Поступила в редакцию 07.10.2015

УДК 622.68

Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров

В.Л. Яковлев, Ю.А. Бахтурин, А.Г. Журавлев

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

Приводятся результаты исследований в области развития карьерного транспорта. Приведены выявленные закономерности, а также сформулированы основные принципы и положения стратегии формирования транспортных систем карьеров. Установлено, что обоснование адаптивного характера развития транспортных систем карьеров, выявление закономерностей и ограничений их формирования, определение наиболее вероятного прогнозного фона наряду с методами прогнозирования и универсальной интерактивной моделью функционирования сложных транспортных систем карьеров составляют методическую основу долгосрочного и дальнесрочного прогнозов формирования транспортных систем карьеров. Определены перспективные направления исследований и приведены некоторые результаты в области теории карьерного транспорта.

Ключевые слова: транспортные системы карьеров, закономерности, принципы, стратегия формирования, адаптация, имитационное моделирование, прогноз.

Main Aspects of Forming and New Scientific Directions of Research of Open Pit Mining Transport Systems

V.L. Yakovlev, Yu. A. Bahturin, A.G. Zhuravlev

Institute of Mining UB RAS, Yekaterinburg

The article presents the results of the research in the field of open pit mining transport development. The revealed regularities are described and the basic principles and provisions of the strategy of open pit mining transport systems formation are formulated. It is established that the establishment of the adaptive nature of open-pit mines transport systems development, revealing of the regularities and constraints of their formation, determining of the most likely forecast background along with the methods of prediction and the universal interactive model of functioning of complex open pit mining transport systems constitute the methodological basis of long-term and overlong-term forecasts of formation these transport systems, which should be

ЯКОВЛЕВ Виктор Леонтьевич – член-корр. РАН, академик АН РС(Я), советник РАН, г.н.с.; БАХТУРИН Юрий Алексеевич – к.т.н., зав. лаб.; ЖУРАВЛЕВ Артем Геннадьевич – к.т.н., с.н.с.