

Разработка россыпных месторождений Севера комплексами глубокой разработки пластов

И.И. Ковлеков

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

✉ kovlekov@mail.ru

Резюме: Исследованы разносторонние аспекты проблемы пригодности комплексов глубокой разработки пластов к разработке продуктивных песков по горно-геологическим условиям залегания и по горнотехническим параметрам эксплуатации россыпей. Суровые климатические условия арктической зоны и специфические особенности свойств мерзлых песков накладывают дополнительные требования к работе добычного комплекса. Проведен анализ положительных и негативных аргументов по практическому применению комплексов для разработки месторождений драгоценных металлов и камней. Определен круг наиболее вероятных объектов добычи минеральных ресурсов, где использование комплексов глубокой разработки пластов имеет технологические и экономические предпосылки. Вовлечение в промышленную отработку законтурных запасов на бортах отработанных месторождений и в тонких некондиционных пластах существенно расширит минерально-сырьевую базу горных предприятий. Рассмотрено перспективное направление развития технологии с закладкой выработанного пространства для снижения потерь полезного ископаемого в недрах. В качестве закладочного материала предложена льдопородная закладка, которая значительно удешевляет удельные затраты на эти работы. Описан пример практической реализации технологии при разработке некондиционных песков россыпного месторождения в условиях Крайнего Севера. Возможность освоения запасов россыпных месторождений олова Арктического шельфа по технологии глубокой разработки пластов определена как наиболее перспективное направление научно-практических изысканий для развития горной промышленности региона.

Ключевые слова: комплекс глубокой разработки пласта, россыпное месторождение, россыпи арктического шельфа, льдопородная закладка, Крайний Север, Якутия

Для цитирования: Ковлеков И.И. Разработка россыпных месторождений Севера комплексами глубокой разработки пластов. *Горная промышленность*. 2021;(5):84–89. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-84-89.

Development of placer deposits in the North using highwall mining systems

I.I. Kovlekov

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉ kovlekov@mail.ru

Abstract: The article studies various aspects of the highwall mining systems applicability for the development of productive sands in terms of the occurrence conditions as well as the mining and technical parameters of placer deposits. The harsh climatic conditions of the Arctic zone and the specific properties of frozen sands impose additional requirements on the operation of the mining complex. Positive and negative aspects of the practical application of mining complexes been analysed with reference to the development of precious metals and gemstones deposits. The most promising mining sites have been identified, where the use of highwall mining systems is technologically and economically feasible. Commercial mining of reserves in the boundary zones in high walls of depleted fields and in thin unconventional seams will substantially expand the mineral resource base of mining companies. A promising trend of this technology development is discussed that includes backfilling of the mined-out space in order to reduce the loss of mineral resources. The ice-rock mixture is proposed as the backfill material, which significantly reduces the unit cost of these operations. A practical case of this technology implementation is described for the development of substandard sands of a placer deposit in the Far North conditions. The possibility of developing the reserves of tin placer deposits on the Arctic shelf using the highwall mining systems has been identified as the most promising direction of scientific and practical research for the development of the mining industry in the region.

Keywords: highwall mining system, placer deposit, arctic shelf placers, frozen backfill, Far North, Yakutia

For citation: Kovlekov I.I. Development of placer deposits in the North using highwall mining systems. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(5):84–89. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-84-89.

Введение

Комплексы глубокой разработки пластов (КГРП) нашли широкое применение на разработках угольных месторождений в стране [1] и за рубежом [2–4]. Они себя хорошо порекомендовали для применения, когда горно-геологические условия или экономические факторы не позволяют разработку месторождения традиционными технологиями открытой и подземной добычи полезного ископаемого [5]. Технологическая схема применения КГРП реализует метод открыто-подземной системы разработки месторождения, главным и бесспорным преимуществом которого является принцип безлюдной выемки полезного ископаемого из подземных очистных горных выработок. В свою очередь, россыпные месторождения алмазов, благородных и цветных металлов, которые относятся к вторичным геологическим образованиям осадочного происхождения, по морфологии также представляют собой рудное тело из продуктивных песков в виде оконтуренного промышленного пласта относительно выдержанных размеров и формы. Научно-практический интерес представляет определенная часть россыпей проявлений, которая не подпадает под категорию месторождений вследствие несоответствия требованиям промышленных кондиций для подземных или открытых горных работ. Такие объекты в виде законтурных запасов, некондиционных алмазо- или золотоносных песков могут быть пересмотрены для оценки их запасов по другой категории, а именно открыто-подземной разработки россыпи методом Highwall Mining [6] – комплексом глубокой разработки пластов.

Способ открыто-подземной разработки – Highwall Mining Method

Метод глубокой разработки пластов представляет собой совокупность технологических процессов выемки-транспортировки-погрузки полезного ископаемого, выполняемого одним комплексом наземного расположения с проходкой параллельных подземных камер по пласту с борта разрезной траншеи или с площадки погашенного уступа карьера. Для управления горным давлением и предотвращения сдвижения дневной поверхности между очистными

камерами оставляют ленточные целики на всю длину выемки пласта, а также могут быть предусмотрены панельные и барьерные целики. Максимальная глубина выемки пласта составляет, в зависимости от принципиальной схемы работы применяемого комплекса, от 80 до 530 м, мощность вынимаемого пласта – от 0,7 до 4,0 м. Комплексы, работающие по бурошnekовой принципиальной схеме выемки и транспортировки, имеют меньший диапазон глубины выбуривания вследствие жесткой связи выемочного исполнительного органа со шнековым транспортом [7; 8]. Преимуществом комплексов КГРП по сравнению с шнекобуровыми машинами является то, что усилие резания забойного комбайна не зависит от нагруженности конвейерного транспорта и дальности транспортировки [9]. Это позволяет комплексам КГРП дорабатывать законтурные залежи пласта с борта высокого уступа предельного положения на расстояние около 500 м. Совокупность главных преимуществ технологии глубокой разработки пластов, которая обеспечивает экономическую эффективность применения технологии Highwall Mining в условиях нерентабельности открытых или подземных горных работ, включает в себя следующие веские аргументы:

- отсутствие необходимости ведения вскрышных работ для подготовки запасов к выемке;
- отсутствие необходимости в горно-подготовительных работах для ведения подземных горных работ;
- отсутствие необходимости нахождения людей в подземных камерах и соответствующих мероприятий по обеспечению безопасных условий для работы в них;
- отсутствие необходимости затрат на вентиляцию и проветривание подземных горных выработок для соблюдения санитарных норм по безопасности и охране труда;
- отсутствие необходимости подготовки и ведения взрывных работ.

Комплексы КГРП легко транспортируются и быстро монтируются на месте. Комплекс может самостоятельно передвигаться вдоль фронта горных работ на горизонте, свободно маневрирует на рабочей площадке для забуривания и требует небольшое количество персонала для работы и обслуживания.



Анализ условий применения КГРП

Несмотря на вышеперечисленные очевидные преимущества, к применению комплексов КГРП на россыпных месторождениях драгоценных камней и металлов имеется ряд проблемных вопросов, которые требуют серьезного обоснования. К некоторым из них в первую очередь можно отнести:

– продуктивный пласт песков трудно, а иногда невозможно выделить визуально из массива вмещающих горных пород; гамма-метод зондирования, который штатно применяется для установления границ кровли и почвы угольного пласта, невозможно использовать для оконтуривания промышленных песков, не имеющих ни физических, ни колористических дифференциаций от остальной толщи отложений;

– добычной исполнительный орган буровых машин и забойный комбайн КГРП рассчитаны на выемку угля определенной крепости и буримости, и неизвестно, как они поведут себя для разрушения и выемки цементированных льдом мерзлых обломочных пород, включающих гравий, гальку и валуны;

– низкий коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр, когда потери достигают 60–70% [10; 11], не совсем укладывается в главный принцип нормативных документов законодательства по охране недр и, в особенности, для месторождений особо ценных минералов для экономики и промышленности.

Невозможность визуального контроля пласта при работе комплекса в забое безусловно усложняет работу оператора, но не исключает полностью применение комплекса для разработки россыпей по следующим основаниям. Во-первых, современные комплексы КГРП оснащены надежной системой точного позиционирования установки в пространстве при помощи GPS и цифровой модели месторождения. Во-вторых, продуктивные пласты песков, как правило, преимущественно залегают на плотике коренных скальных пород, контур поверхности которого можно прозондировать известными геофизическими методами. Хотя не исключено, что при этом потребуются более высокая степень разведанности тела россыпи, чем для открытых горных работ, и дополнительные объемы эксплуатационной разведки для детализации залегания пласта на месте.

Вопрос применимости забойного комбайна КГРП, предназначенного для угольного пласта, и эффективность его работы для добычи многолетнемерзлых песков вызывает много вопросов. Выемка мерзлых песков на месторождениях Севера традиционно производится с применением механического рыхления тяжелой землеройной техникой на открытых горных работах и буровзрывной отбойкой на подземных горных работах. Проведенные изыскания и попытки внедрения высокопроизводительных механизированных комплексов на подземной россыпной золотодобыче не увенчались успехом именно из-за отсутствия работоспособного комбайна для выемки мерзлых песков для замены циклично-поточной технологии на поточную [12]. Режущие исполнительные органы очистных комбайнов, предназначенные для выемки угля, оказались непригодны для выемки продуктивных песков, включающих очень твердые включения камней и валунов, крепко сцементированных льдом и мелким заполнителем из песка и глины. Поломки и расход режущего инструмента комбайна резко нарастают при работе на крупнообломочных отложениях, включающих гравий и гальку крупнее 80–100 мм при со-

держании их более 10% по объему [13]. В таких условиях работы комбайна в забое авторы считают перспективным применение ударного способа разрушения пород в сочетании с режущим исполнительным органом. Проведенные испытания проходческого комбайна с комбинированным исполнительным органом ударного и режущего действия показали принципиальную возможность работоспособности такого агрегата для рыхления и выемки многолетнемерзлых золотоносных песков в условиях Арктического Севера.

Энергоемкость и трудоемкость разработки продуктивных пластов россыпных месторождений Севера зависят не только от крупности и выхода твердых включений, но также от вещественного состава мелкого заполнителя, играющего роль связующего-цемента, криогенного строения массива, температуры и льдистости пород. Учитывая широкий диапазон изменчивости горно-геологических условий залегания россыпных месторождений и указывая на многофакторную зависимость энергоемкости разрушения, можно допустить вероятность применения комплексов КГРП и без существенного изменения применяемых по угля добычных агрегатов. К таким областям применения современных комплексов КГРП на объектах россыпной добычи Севера для рассмотрения и обсуждения относятся:

– зоны, пораженные островной и вялой мерзлотой, где вынимаемые пески не очень прочны и не требуют ударного исполнительного органа как для отбойки крепких пород;

– продуктивные пласты, представленные легко разрабатываемыми режущим исполнительным органом песками вследствие отсутствия или незначительного содержания в них средней и крупной гали; пески, скрепленные слабо цементирующим наполнителем из суглинков, супеси, илисто-глинистых фракций; сушенцы и отложения с низкой льдистостью;

– косовые и шельфовые россыпи арктического Севера, представленные рыхлыми узкокласифицированными по крупности металлоносными песками без включения крупных фракций.

Потери полезного ископаемого в недрах

Одной из причин полного отказа от внедрения технологии глубокой разработки пластов на россыпях могут стать вынужденно большие потери полезного ископаемого в междукамерных целиках, которые необходимы для поддержания выработанного пространства и обеспечения устойчивости кровли выработки. Эти неизбежные по подземной технологии добычи безвозвратные потери промышленных запасов по объему могут быть соразмерны, а в некоторых случаях и превышать объем добытого полезного ископаемого при использовании комплексов КГРП. Вопросы относительно полноты выемки из недр полезного ископаемого, с точки зрения принципов действующих норм и требований охраны недр, могут крайне обостриться, когда дело коснется месторождений драгоценных камней и благородных металлов, представляющих стратегические и экономические интересы государства. Причем в некоторых случаях количество добытого драгоценного сырья по массе может быть меньше, чем потерянного в целиках даже при большей величине добытого объема к объему потерь вследствие характерного для россыпей крайне неравномерного распределения ценных минералов в теле россыпи. Поэтому для россыпных месторождений золота, платины и алмазов приоритетными задачами для внедре-

ния технологии глубокой разработки пластов являются разработка новых технологических решений и снижение норматива потерь полезного ископаемого в недрах.

Для снижения потерь полезного ископаемого в недрах, если оставляемые целики имеют достаточно высокую ценность по содержанию полезных компонентов и хорошее качество минерального сырья, одним из наиболее перспективных направлений изысканий приемлемых технологических решений является применение способа закладки выработанного пространства [14]. Если на коренных месторождениях алмазов применяются достаточно сложный технологический комплекс на поверхности и дорогостоящий твердеющий закладочный материал на основе цементных вяжущих, то на руднике золоторудного месторождения «Бадран» на северо-востоке Якутии внедрена технология льдопородной закладки очистных камер [15]. Технологическим регламентом было предусмотрено использование отходов производства, дешевых и доступных природных ресурсов, таких как вода и холод, что в конечном итоге значительно снизило себестоимость технологической операции закладки. Успешно проведенные опытно-промышленные испытания в реальных условиях ведения горных работ доказали промышленную применимость и безопасность технологии льдопородной закладки выработанного пространства и показали возможность полного исключения потерь запасов ценного полезного ископаемого в междукамерных целиках. Кроме того, применение технологии льдопородной закладки перспективно с точки зрения уменьшения экологического ущерба, наносимого окружающей среде при ведении горных работ, за счет исключения вырубki лесных ресурсов для крепежного материала и снижения площадей земельных участков, отчуждаемых для размещения отвалов [16].

Технология КГРП с закладкой очистных камер

Рассмотрим технологическую возможность сочетания способа глубокой разработки пластов комплексами типа КГРП с методом льдопородной закладки очистных камер для снижения потерь полезного ископаемого в недрах на примере одного из россыпных месторождений на Севере. Россыпное месторождение погребенного типа расположено выше полярного круга в зоне развития многолетней мерзлоты на глубине 50 м. Продуктивный пласт представлен песчано-глинистыми галечниками со средней мощностью 0,7 м. Выход илисто-глинистой фракции доходит до 55%. Крупность основной массы крупной гали не более 15 см, а выход класса 10–15 см не превышает 5%. Лыдность мерзлых песков 3–5%, температура – минус 2 °С. Подстилающий плотик представлен трещиноватыми и сильнотрещиноватыми карбонатными породами. Разработка месторождения открытым способом нерентабельна из-за большой вскрыши, а подземный способ проблематичен из-за малой мощности пласта.

При таких исходных данных более подходящим решением проблемы может стать открыто-подземный способ разработки месторождения [17]. До начала очистных работ производят проходку нарезной траншеи по продуктивному пласту или используют площадку погашенного уступа отработанного карьера. После подготовки рабочей площадки на уровне почвы разрабатываемого пласта проводят монтажные работы по сборке комплекса КГРП. Вместе с проходкой нарезной траншеи или с опережением на расстоянии не более расчетной глубины выемки песков

осуществляют проходку подземной выработки по пласту для оконтуривания промышленных запасов. Выемку полезного ископаемого осуществляют проходкой длинных очистных камер по падению или простиранию пласта с оставлением целиков между камерами. При этом очистную камеру нужно пробить до сбойки с оконтуривающей выработкой. Оконтуривающая выработка – штрек – позволяет точно локализовать положение пласта на дальнем конце очистной камеры, тем самым минимизировать потери и разубоживание полезного ископаемого. Также эта выработка предоставляет доступ к очистной камере с другого конца, что обеспечивает технологические возможности по доставке и формированию льдопородной закладки. После выемки полезного ископаемого камеру заполняют закладочным материалом и придают ей несущую способность за счет замораживания. В качестве закладочного материала можно использовать жидкую смесь с наполнителем, которую затем замораживают проветриванием холодной струей через оконтуривающий штрек. После закладки выработанного пространства и достижения ею необходимой прочности производят погашение целиков выемочным комплексом КГРП.

Область применения технологии

Использование предложенного способа [17] расширит минерально-сырьевую базу за счет переоценки кондиций и вовлечения в эксплуатацию ранее некондиционных или забалансовых запасов полезного ископаемого, представленных маломощными и тонкими продуктивными пластами. Россыпи алмазов или золота с относительно высоким содержанием в тонких продуктивных пластах не обрабатываются открытым способом из-за большого значения коэффициента вскрыши, а подземная разработка россыпи невозможна вследствие отсутствия соответствующих технологии и техники выемки многолетнемерзлых песков из тонких пластов из-за сильного разубоживания. Ухудшает положение уменьшение запасов россыпных месторождений золота советского наследия на фоне почти полного сворачивания объемов россыпной геологоразведки. В то же время имеется огромный потенциал в виде прогнозных ресурсов и забалансовых запасов на бортах отработанных россыпей, продуктивные пески которых могут быть вполне рентабельно отработаны технологией глубокой разработки пластов.

Не менее интересным представляется перспектива разработки россыпных месторождений олова на шельфах арктических морей Крайнего Севера, где сосредоточены огромные запасы и ресурсы стратегического металла [18–20]. Эти россыпи залегают в виде пластообразных залежей пологого падения и расположены в прибрежной отмели или в мелководье акваторий материковой части и островов. Низкий коэффициент вскрыши, талое состояние песков, легкая степень обогатимости минерального сырья и транспортная доступность по морю составляют привлекательную совокупность факторов для освоения этих запасов в условиях роста потребительского спроса и мировых цен на олово. Обеспеченность солидными запасами, подходящие горно-геологические условия залегания, легкая категория разрабатываемости несвязанных песков и низкие капитальные затраты на горно-подготовительные и вскрышные работы открывают широкую перспективу применения технологии глубокой разработки пластов на россыпных месторождениях арктического шельфа.

Выводы

Проведенный анализ условий применения комплексов глубокой разработки пластов для освоения запасов и ресурсов россыпных месторождений Севера показал:

- метод глубокой разработки пластов и технологический комплекс оборудования КГРП не имеют принципиально непреодолимых препятствий для их внедрения в практику горного производства при разработке россыпных месторождений в условиях Крайнего Севера;
- реализация в технологии принципа безлюдной выемки в сочетании с закладкой выработанного пространства обеспечивает высокую степень безопасности ведения горных работ и максимальную полноту выемки полезного ископаемого при относительно низком экологическом ущербе;
- снижение доли капитальных затрат на горно-подготовительные работы;

– исключение необходимости ведения вскрышных работ, использование местных материалов и естественного холода для формирования закладочного массива значительно снижают себестоимость добычи полезного ископаемого;

– потенциальным сектором в минерально-сырьевой базе россыпной добычи песков для освоения по технологии КГРП могут быть некондиционные пласты открытой добычи, тонкие и сверхтонкие пласты подземной разработки, россыпные месторождения олова на арктическом шельфе и на островах;

– при успешной адаптации технологии к условиям добычи песков в условиях Арктического Севера появятся широкие перспективы к освоению огромных еще неостребованных запасов минерально-сырьевой базы северных территорий России.

Список литературы

1. Герике Б.Л., Дрозденко Ю.В., Копытин Д.В. Комплексы глубокой разработки пластов: обзор применения и изучения их технического состояния. *Техника и технология горного дела*. 2020;(3):58–78. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-3-58-78>
2. Mo S., Zhang C., Canbulat I., Hagan P. A Review of highwall mining experience and practice. In: *Proceedings of the 2016 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, February 10–12, 2016*, pp. 522–530 Available at: <https://ro.uow.edu.au/coal/638/>
3. Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016;3(3):311–321. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0121-6>
4. Fan M. Design Programs for Highwall Mining Operations. In: Yi Luo (ed.) *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. Statler; 2015. 5572. Available at: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/5572>
5. Григорян А.А., Галеев Р.Р., Каплан А.В., Лапаев В.Н. Развитие технологий добычи малоценных запасов углей. *Рациональное освоение недр*. 2014;(4):23–27.
6. Hartcher P., Case G. The experience of Addcar in highwall mining operations. In: Naj Aziz, Bob Kininmonth (eds). *Proceedings of the 2019 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, February 2019*, pp. 103–116. Available at: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2389&context=coal>
7. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Технология безлюдной добычи угля с применением шнекобуровых машин. *Горная промышленность*. 2015;(2):60–63. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/8558-tekhnologii-bezlyudnoj-dobychi-uglya-s-primeneniem-shnekoburovykh-mashin>
8. Follington I.L., Deeter R., Share D., Moolman C. A new underground auger mining system. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2001;101(1):25–32. https://doi.org/10.10520/AJA0038223X_2685
9. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Развитие технологии безлюдной угледобычи с применением комплексов КГРП. *Горная промышленность*. 2015;(4):87–91. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/9016-razvitie-tekhnologii-bezlyudnoj-ugledobychi-s-primeneniem-kompleksov-kgrp>
10. Анферов Б.А., Кузнецова Л.В. Снижение потерь угля за счет открыто-подземной доработки приконтурных запасов с борта разреза. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2019;(1):78–85. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2019-1-78-85>
11. Clark I., Boyd G. *Highwall Mining Backfill*. ACARP Project, Number C6014. October 1999. Available at: <https://www.acarp.com.au/abstracts.aspx?repId=C6014>
12. Слепцов А.Е. *Механизация очистных работ и управление кровлей на россыпных шахтах Севера*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1983. 152 с.
13. Лабутин В.Н., Марков В.С. Перспективы применения комбинированного способа разрушения горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(12):325–332. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2015/12/325_332_12_2015.pdf
14. Mo S., Canbulat I., Zhang C., Oh J., Shen B., Hagan P. Numerical investigation into the effect of backfilling on coal pillar strength in highwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(2):281–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.003>
15. Необутов Г.П., Зубков В.П., Петров Д.Н. Использование закладки из промораживаемых водопородных смесей при добыче руды на месторождении Бадран. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S30):163–172.
16. Михайлов Ю.В. Новые технологии недропользования, обеспечивающие экологическую и национальную безопасность России. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(11):92–106. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-11-0-92-106>
17. Ковлеков И.И. *Способ открыто-подземной разработки пологозалегающих пластов*. Патент РФ №2715503, 25.09.2019. 2020. Бюл. №7.
18. Смирнов А.Н., Ушаков В.И., Крюков В.Д. Резерв минерально-сырьевой базы олова на шельфах арктических морей России. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2008;(6):15–21.

19. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Тарасов Н.Н. и др. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны. *Геология рудных месторождений*. 2015;57(6):433–453. <https://doi.org/10.7868/S0016777015060027> (на англ. яз.: <https://doi.org/10.1134/S1075701515060021>)
20. Лаломов А.В. Россыпи Российской Арктики и перспективы их обработки. *Минералогия*. 2017;3(2):30–42. <https://journal.mineralogy.ru/?p=1320>

References

- Gerike B.L., Drozdenko Yu.V., Kopytin D. V. Complexes of deep seam mining: review of application and study of their technical condition. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020;(3):58–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-3-58-78>
- Mo S., Zhang C., Canbulat I., Hagan P. A Review of highwall mining experience and practice. In: *Proceedings of the 2016 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, February 10–12, 2016*, pp. 522–530 Available at: <https://ro.uow.edu.au/coal/638/>
- Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2016;3(3):311–321. <https://doi.org/10.1007/s40789-016-0121-6>
- Fan M. Design Programs for Highwall Mining Operations. In: Yi Luo (ed.) *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. Statler; 2015. 5572. Available at: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/5572>
- Grigoryan A.A., Galeev R.R., Kaplan A.V., Lapaev V.N. Development of mining technology for low grade reserves of coal. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining & Conservation*. 2014;(4):23–27. (In Russ.)
- Hartcher P., Case G. The experience of Addcar in highwall mining operations. In: Naj Aziz, Bob Kininmonth (eds). *Proceedings of the 2019 Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, February 2019*, pp. 103–116. Available at: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2389&context=coal>
- Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. The origin, history, and state of the art of coal auger mining technology. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2015;(2):60–63. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/8558-tekhnologii-bezlyudnoj-dobychi-uglya-s-primeneniem-shnekoburovykh-mashin>
- Follington I.L., Deeter R., Share D., Moolman C. A new underground auger mining system. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2001;101(1):25–32. https://doi.org/10.10520/AJA0038223X_2685
- Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. Progress of highwall miner-based unmanned coal mining technology. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2015;(4):87–91. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/9016-razvitiie-tekhnologii-bezlyudnoj-ugledobychi-s-primeneniem-kompleksov-kgrp>
- Anfyorov B.A., Kuznetsova L.V. Reduction of coal losses by combined open cast and under-ground mining of periferal reserves from the pit side. *Journal of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University – Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2019;(1):78–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2019-1-78-85>
- Clark I., Boyd G. *Highwall Mining Backfill*. ACARP Project, Number C6014. October 1999. Available at: <https://www.acarp.com.au/abstracts.aspx?repld=C6014>
- Sleptsov A.E. *Mechanization of mining operations and roof control at placer mines in the North*. Yakutsk: Yakutsk Branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences; 1983. 152 p. (In Russ.)
- Labutin V.N., Markov V.S. Prospects of application of combined method destruction of rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(12):325–332. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2015/12/325_332_12_2015.pdf
- Mo S., Canbulat I., Zhang C., Oh J., Shen B., Hagan P. Numerical investigation into the effect of backfilling on coal pillar strength in highwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(2):281–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.003>
- Neobutov G.P., Zubkov V.P., Petrov D.N. Using backfill from freezing water-rock mixture at ore mining at the deposit Badran. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(S30):163–172. (In Russ.)
- Mikhaylov Yu.V. New subsoil use technologies towards ecological and national security of Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018;(11):92–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-11-0-92-106>
- Kovlekov I.I. A combined mining method of flat-lying beds. RF Patent No.2715503, dated 25.09.2019. 2020. Bulletin No. 7. (In Russ.)
- Smirnov A.N., Ushakov V.I., Kryukov V.D. A reserve of the tin resource base in the shelf areas of the Russian arctic seas. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2008;(6):15–21. (In Russ.)
- Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V., Galyamov A.L., Vikent'ev I.V., Tarasov N.N., Distler V.V., Lalomov A.V., Aristov V.V., Murashov K.Y., Chizhova I.A., Chefranov R.M. Strategic metal deposits of the Arctic zone. *Geology of Ore Deposits*. 2015;57(6):433–453. <https://doi.org/10.1134/S1075701515060021> (In Russ. <https://doi.org/10.7868/S0016777015060027>)
- Lalomov A.V. Placer deposits of the Russian Arctic and ways of development. *Mineralogiya = Mineralogy*. 2017;3(2):30–42. (In Russ.) <https://journal.mineralogy.ru/?p=4842&lang=en>

Информация об авторе

Ковлеков Иван Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела, Горный институт, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: kovlekov@mail.ru

Information about the author

Ivan I. Kovlekov – Doctor of Engineering Sciences, Professor of Mining Department, Mining Institute, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: kovlekov@mail.ru

Информация о статье

студила в редакцию: 27.08.2021
Поступила после рецензирования: 17.09.2021
Принята к публикации: 21.09.2021

Article info

Received: 27.08.2021
Revised: 17.09.2021
Accepted: 21.09.2021