

УДК 622.271.1 (571.56)

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОТТАЙКИ ПЕСКОВ
НА ДОБЫЧНЫХ РАБОТАХ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ****Заровняев Б.Н., Егорова А.Б., Антоева С.П.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: mine_academy@mail.ru*

Существенное повышение производительности, приводящее к увеличению объемов добычи полезного ископаемого, достижимо в результате интенсификации извлечения песков при разработке россыпных месторождений Якутии, где имеет место обширное развитие многолетней мерзлоты, которую создают неблагоприятные суровые природно-климатические условия и сложные горно-геологические условия месторождений. При разработке россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты повышение производительности выемочного оборудования возможно оттаиванием мерзлых горных пород, что позволит создать более благоприятные условия для повышения эффективности их работ, в связи с этим при добыче и промывке мерзлых золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой. Предлагается технология разработки многолетнемерзлых россыпей, включающая вскрытие обрабатываемых запасов, удаление пород вскрыши, послонную выемку песков разноуровневыми секторами, формируемыми межсекторными целиками, обогащение и отвалообразование. При этом разрабатываемый полигон разбивают на отдельные секторы с разным уровнем. Верхний сектор заполняют реагентом – водным раствором соли магния, ускоряющей процесс оттайки. Разработку секторов начинают поочередно с центрального верхнего сектора путем послонного снятия оттаявших песков и выгаливанием их в бункер, предварительно спустив реагент на периферийные нижние секторы для их оттаивания. Разработку центрального верхнего сектора продолжают до понижения его уровня ниже оттаиваемых периферийных секторов. Когда уровень разрабатываемого центрального сектора понизится ниже оттаиваемых периферийных секторов, из последних реагент спускают на отработанный центральный сектор и осуществляют послонную отработку оттаявших периферийных секторов. В результате достигается интенсификация процесса оттаивания и повышение производительности выемочного оборудования.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, пески, оттайка, полигон, разноуровневые секторы, межсекторные целики**INTENSIFICATION OF SAND THAWING AT MINING OPERATIONS
UNDER THE PERMAFROST CONDITIONS****Zarovnyaev B.N., Egorova A.B., Antoeva S.P.***M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: mine_academy@mail.ru*

A significant increase in productivity, leading to an increase in the volume of mining, is achievable as a result of the intensification of sand extraction during the development of alluvial deposits in Yakutia, where there is extensive development of permafrost, which is created by unfavorable harsh natural and climatic conditions and complex mining and geological conditions of deposits. When developing alluvial deposits in permafrost conditions, it is possible to increase the productivity of mining equipment by thawing frozen rocks, which will create more favorable conditions for increasing the efficiency of their work, in connection with this, when mining and washing frozen gold-bearing sands, the problem of increasing the efficiency of preparing frozen rocks for extraction is an actual scientific and technical problem. A technology for the development of permafrost placers is proposed, including the opening of mined reserves, the removal of overburden rocks, the layer-by-layer excavation of sands by multi-level sectors formed by inter-sector pillars, enrichment and dumping. At the same time, the developed landfill is divided into separate sectors with different levels. The upper sector is filled with a reagent – an aqueous solution of magnesium salt, which accelerates the defrosting process. The development of the sectors begins in turn from the central upper sector by layer-by-layer removal of thawed sands and pushing them into the bunker, after lowering the reagent to the peripheral lower sectors for their thawing. The development of the central upper sector is continued until its level drops below the thawed peripheral sectors. When the level of the developed central sector drops below the thawed peripheral sectors, the reagent is lowered from the latter to the spent central sector and layer-by-layer testing of the thawed peripheral sectors is carried out. As a result, an intensification of the thawing process and an increase in the productivity of mining equipment are achieved.

Keywords: permafrost, sands, thawing, landfill, multi-level sectors, inter-sector pillars

В настоящее время на Северо-Востоке России сосредоточены крупные разведанные запасы коренных месторождений золота, а также большое количество мелких и средних месторождений россыпного золота, оба вместе взятые представляют значительный интерес к их экономическому и технологическому освоению и интенсификации разрабатываемых месторож-

дений золота и алмазов. При разработке россыпных месторождений увеличение объемов добычи драгоценного металла может быть достигнуто в результате интенсификации вскрышных работ и добыче песков из россыпных месторождений Северо-Востока страны в условиях распространения многолетнемерзлых пород. Изложенное создает неблагоприятные су-

ровые природно-климатические и сложные горно-геологические условия месторождений. По предварительным оценкам, в результате интенсификации выемочных работ и активного вовлечения в разработку перспективных россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты в России в ближайшее десятилетие объемы добычи могут возрасти в 1,5–2,5 раза. Однако в условиях Северо-Востока, с отрицательной среднегодовой температурой воздуха, с повсеместным распространением сезонной и многолетней мерзлоты, резко снижается эффективность добычных работ при разработке россыпных месторождений, так как мерзлые горные породы имеют высокую прочность.

Как известно, повышение производительности бульдозера на добычных работах возможно в результате оттаивания мерзлых песков, что позволит создать более благоприятные условия для интенсификации добычных работ по мере оттайки. Известно, что при понижении температуры мерзлых горных пород с -7°C до -1°C энергоемкость их разрушения уменьшается в разы. Это привело к тому, что при разработке россыпных месторождений значительно возрастает необходимость оттаивания мерзлых горных пород. Изложенное позволяет сделать вывод о том, что при добыче и промывке мерзлых золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой.

Таким образом, успешная работа выемочного оборудования для добычи песков при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений зависит от множества факторов. Главным из них является состояние многолетнемерзлых песков и сезонно-талого слоя. Опыт работы землеройной техники в криолитозоне показал, что наибольшая эффективность достигается при добыче песков по мере оттайки или в результате предохранения пород от промерзания в зимний период.

Цель исследования – повышение эффективности оттаивания многолетнемерзлых песков при их бульдозерной добыче по мере оттайки в летний период.

Материалы и методы исследования

Выполненные научно-исследовательские работы и рассмотрение ранее проведенных опытно-экспериментальных работ [1–3] показывают, что разработаны инно-

вационные технологии оттайки с применением солнечной радиации, методов гидравлического оттаивания мерзлых песков и их предохранения от промерзания путем затопления, а также созданием искусственных сушенцов при открытой разработке россыпных месторождений и исследованы на достаточно высоком уровне. Основными способами оттайки являются: электрообогрев, поверхностный изжог, оттайка горячим паром, водой, при сжигании термохимических патронов, гидроигловая оттайка, оттайка солевыми растворами, солнечной радиацией, затоплением и т.п. Каждый способ оттаивания предназначен для соответствующего способа разработки песков или торфов. Для бульдозерной разработки песков методом послышной выемки, как правило, применяются способы естественной оттайки солнечной радиацией, а также с помощью тепловых ванн с применением солевых растворов. Результаты исследований и совершенствование технологии оттаивания мерзлых песков представлены в работах [4, 5], где авторы предлагают технологию подготовки мерзлых песков к промывке, «блоками активного климатического воздействия» включающими удаление пород вскрыши до продуктивного пласта и оттайку песков распределенным на его поверхности теплообразующим реагентом – хлоридами в сухом виде.

Как известно, эффективность каждого способа оттайки зависит от состояния многолетней мерзлоты и деятельного слоя. Результаты исследований температурного состояния массива многолетнемерзлых пород, а также режима оттайки и промораживания деятельного слоя в летний период представлены в работах [6–8]. Установлено, что температурный режим деятельного слоя пород вскрыши и песков в зоне многолетней мерзлоты формируется в зависимости от геокриологических особенностей региона, а также зависит от температурного режима деятельного слоя и геокриотипов. Как показывают результаты многолетних исследований температурного режима области многолетнемерзлых пород, переход к постоянной отрицательной температуре пород деятельного слоя начинается в конце сентября-октября, а постоянная отрицательная температура устанавливается в октябре-ноябре на уровне -5°C , а в средней полосе в ноябре до глубины 2–2,5 м температура стабилизируется на уровне $-7 - -10^{\circ}\text{C}$. Во второй половине ноября происходит полное промерзание

деятельного слоя, в результате деятельный слой смерзается с массивом многолетнемерзлых пород, при котором рыхлые отложения и нижележащие многолетнемерзлые породы превращаются в монолитный массив, приобретая высокую крепость и прочность, осложняющие их разработку и выемку без предварительной подготовки. Таким образом, эффективная разработка мерзлых пород путем послойного снятия возможна только по мере оттайки, при этом повышение эффективности разработки песков возможно при применении хлоридов солей, повышающих эвтектическую точку плавления льда-заполнителя.

Наиболее перспективными технологиями подготовки мерзлых пород к выемке являются технологии интенсификации оттаивания мерзлых песков при добыче золотоносных пластов с помощью солнечной радиации естественным оттаиванием [9, 10]. Разработанная технология интенсификации оттайки мерзлых песков позволяет с высокой точностью определить скорость оттаивания мерзлого массива с использованием технологических приемов с помощью тепловых ванн. В представленных работах авторы утверждают эффективность применения соляных солнечных нагревателей, интенсифицирующих скорость оттаивания мерзлых песков и облегчающих работу выемочного оборудования.

Современное состояние и основные направления инновационного развития технологии разработки россыпей на Дальнем Востоке представлены в работе [11]. Что касается совершенствования технологии разработки россыпных месторождений Северо-Востока страны, то здесь необходимо учитывать негативные природные факторы, которые влияют на выбор технологий и горнодобывающего оборудования, которые могут уменьшить их влияние, а именно мерзлое состояние горных пород, высокая глинистость песков. Однако разработанные инновационные технологии при разработке мерзлых россыпей недостаточно эффективны вследствие мерзлого состояния разрабатываемых песков.

Авторы работы [12] разработали более эффективные инновационные способы повышения производительности выемочного оборудования, включающие конструктивные изменения формы отвала бульдозера, механизмы поворота отвалов и дополнительные окрылки для увеличения их полезного объема, а также гидропневмоак-

кумулирующие системы. Одним из эффективных технологических приемов является траншейный способ выемки и транспортирования пород, обеспечение работы бульдозера под уклон и выемку пород с промежуточным складированием в валки. Высокую эффективность показала работа спаренных бульдозеров на площадках со спокойным рельефом (в том числе при зачистке дна котлованов, при гидротехническом строительстве), где есть возможность прохода двух параллельно расположенных машин [13].

В то же время следует отметить, что существующие технологические решения, направленные на интенсификацию послойной разработки пород по мере оттайки, недостаточно эффективны. Как правило, выемка мерзлых пород по мере естественной оттайки производится после оттаивания с помощью солнечной радиации. Исследования интенсивности естественной оттайки при льдистости песков 10–20% позволили установить общую суточную глубину оттаивания песков при ежедневном снятии оттаявшего слоя, толщиной 10,0–10,5 см/сутки, а при снятии оттаявшего слоя один раз в трое суток составляет 6,0–6,2 см/сутки, а также при снятии талого слоя один раз в 5 суток – 5,3–5,5 см/сутки [14]. Установлено, что часовая производительность бульдозера, исходя из мощности двигателя 100 л.с., при увеличении глубины оттаявшего слоя от 4 до 7 см увеличивается на 39% (от 17 до 23 м³/ч), а при увеличении глубины оттайки до 25 см производительность бульдозера возрастает лишь на 8–10% (с 23 до 25 м³/ч).

На рис. 1 представлена суточная скорость естественной оттайки песков, откуда видно, что основные объемы оттайки приходятся на летние месяцы – июнь – август, что показывает неравномерность объемов оттайки и нехватку подготовленной горной массы в начале и конце промывочного сезона. Необходимый объем подготовленных песков представлен на рис. 2.

Как показывают результаты выполненных исследований, максимальные объемы подготовленных песков приходятся в летний период – с мая по сентябрь, однако интенсивность оттайки в этот период недостаточна для производительной работы выемочной техники. В связи с этим становится актуальной интенсификация процесса оттайки песков в летний период с использованием энергии солнечной радиации и атмосферного воздуха.

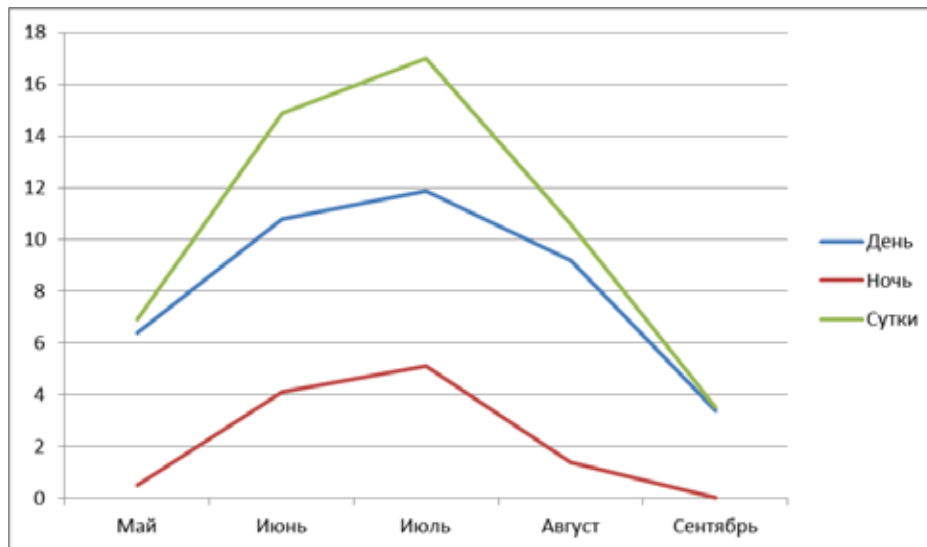


Рис. 1. Суточная скорость естественной оттайки песков

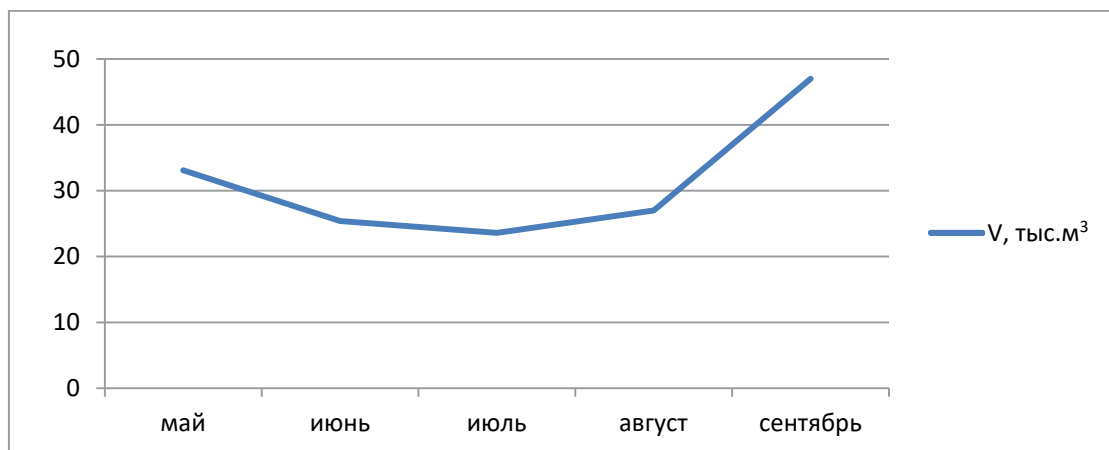


Рис. 2. Необходимый объем оттаявших песков по месяцам

Для повышения скорости оттайки песков разработаны и предложены технологии, включающие вскрытие продуктивного пласта, очистку полигона от почвенно-растительного слоя, удаление пород вскрыши, заполнение оттаиваемого полигона жидкостью, в состав которой входят соли магния с перфорированной пленкой, селективно прозрачной для коротковолнового и длинноволнового излучений. Предлагаемая технология предусматривает вскрытие отрабатываемых запасов, их послойную выемку параллельными заездами с оставлением межтраншейных целиков, при котором между первой траншей и контуром отрабатываемых запасов параллельно проводят дополнительную канаву, в которую подают

воду. В процессе проходки последующих траншей последовательно заполняют водой каждую предыдущую траншею, а после проходки последней траншеи полигон затапливают и отрабатывают межтраншейные целики [15, 16]. Однако данные способы недостаточно эффективны при разработке песков мощных многолетнемерзлых россыпных месторождений.

Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее эффективным является предложенная технология, включающая вскрышу торфов, послойную выемку песков отдельными секторами, формируемыми межсекторными целиками, обогащение и

отвалообразование. Вскрытие полигона осуществляют бульдозерами сплошными выездами, а выемку песков осуществляют бункером в плотике, при этом полигон подразделяют на три сектора: центральный, площадь равной суммарной площади двух периферийных секторов.

При этом разрабатываемый по мере оттайки песков полигон разделяют на отдельные разноуровневые секторы с помощью межсекторных целиков. После завершения вскрышных работ бульдозерами формируют межсекторные целики трапециевидного сечения, высотой не менее 50–70 см, такой же шириной, так чтобы в каждом сформированном секторе удерживался интенсифицирующий оттайку песков реагент, в последующем межсекторные целики формируют из добываемых песков в процессе их выемки бульдозером. При этом глубина формируемых периферийных секторов составляет не менее глубины реагента на оттаиваемых периферийных секторах, чтобы весь объем реагента стекал с центрального сектора на них, что примерно составит ниже оттаиваемого сектора на 20–40 см, после этого средний сектор заполняют реагентом, например водным раствором соли магния, интенсифицирующей процесс оттайки песков. Разработку оттаявших песков из подготовленных секторов производят по мере их оттайки поочередно с центрального, т.е. верхнего, оттаявшего сектора, перед которым предварительно спускают реагент на два нижележащих периферийных сектора через подготовленные бульдозером для этого шлюзы в межсекторных целиках, а затем путем послойного снятия оттаявших песков центрального сектора выталкивают их в бункер веерными заездами, таким образом разрабатывают центральный сектор до мерзлоты, при этом его уровень должен быть ниже на 20–40 см, чем уровень периферийных секторов. В результате такого порядка отработки секторов во время извлечения оттаявших песков в секторах, в других секторах одновременно идет процесс оттаивания песков. После завершения отработки оттаявших песков среднего сектора реагент так же через шлюзы перепускают с периферийных секторов обратно на центральный сектор и начинают его оттаивание во время отработки периферийных секторов. Таким образом отработка полигона в целом производится поочередно путем перепуска реагента поочередно с центрального сектора к периферийным и обратно с полной отработкой оттаявших слоев до мерзлоты.

Предлагаемая технология предусматривает поочередное оттаивание обрабатываемых секторов и их отработку поочередно до полного извлечения песков, что обеспечивает повышение эффективности разработки песков. После оттаивания последнего сектора реагент скачивают из полигона в специальную емкость для повторного применения, что исключает загрязнение окружающей среды.

На рис. 3 представлена технологическая схема разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений: 1 – торфы, 2 – пески, 3 – межсекторные целики, 4 – бункер, 5 – центральный сектор, 6 – периферийные секторы, 7 – реагент, 8 – шлюзы в межсекторных целиках.

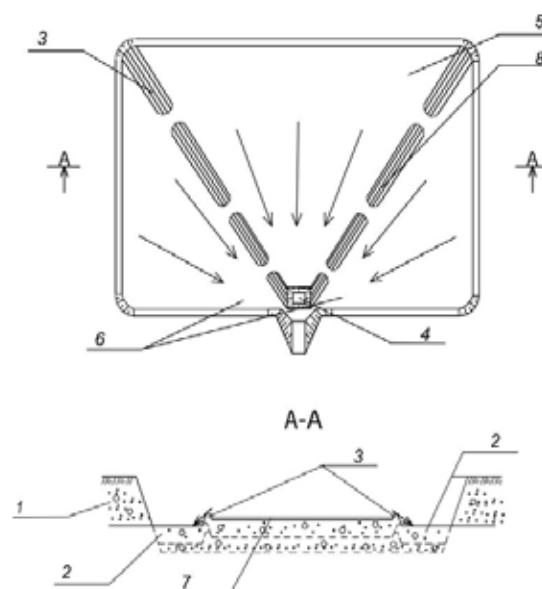


Рис. 3. Технологическая схема разработки многолетнемерзлых россыпных месторождений с оттаиванием секторами

На разрабатываемом полигоне производят вскрышу торфов 1, послойную выемку песков 2 и осуществляют разделение полигона на три сектора: центральный 5 и два периферийных сектора 6 с помощью межсекторных целиков 3, так чтобы площадь центрального сектора была равна площади двух периферийных секторов с расположением бункера 4 по центру разрабатываемого полигона. При этом поперечное сечение межсекторного целика 3 имеет трапециевидное сечение. При этом межсекторные целики 3 формируют одновременно с завершением вскрышных работ из пород вскрыши, высотой не менее 50–70 см для удержания

реагента в каждом секторе для интенсификации оттайки песков. При отработке полигона межсекторные целики формируют из песков. При этом уровень периферийных секторов 6 формируют ниже центрального сектора 5 на 20–40 см. После формирования среднего сектора 5 заполняют его реагентом 7, например водным раствором соли магния, более интенсивно ускоряющей процесс оттайки. Разработку секторов осуществляют после оттайки верхнего центрального сектора 5, до которого предварительно спускают реагент 7 на обе периферийные секторы 6 через шлюзы 8 в межсекторных целиках. Технология отработки секторов заключается в том, что оттаивают пески в центральном секторе 5 снимают послойно и бульдозером транспортируют в бункер 4 веерными до понижения его уровня на 20–40 см относительно периферийных секторов 6.

Таким образом, разрабатываемый полигон делят на три сектора: центральный 5 и два периферийных сектора 6, которые разрабатываются поочередно по мере оттайки. При этом по завершении отработки центрального сектора 5 реагент 7 перепускают с периферийных секторов 6 обратно на центральный сектор и осуществляют его оттайку. После этого разрабатывают периферийные секторы до достижения уровня ниже центрального сектора 5 на 20–40 см. Затем через шлюзы в межсекторных целиках 3 реагент 7 перепускают на нижележащие периферийные секторы 6 для их оттаивания.

Предлагаемый способ реализуется поочередным оттаиванием и разработкой центрального и периферийных секторов, производится поочередно на центральном и периферийных секторах, они постоянно находятся в поочередном оттаивании и разработке до полной отработки песков, что обеспечивает повышение эффективности их разработки. После последнего цикла оттаивания реагент из полигона закачивают в специальную емкость для повторного применения, что исключает загрязнение окружающей среды.

Выводы

1. При разработке россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты повышение производительности выемочного оборудования возможно оттаиванием мерзлых горных пород, что позволит создать более благоприятные условия для повышения эффективности их работ, в связи с этим при добыче и промывке мерзлых

золотоносных песков проблема повышения эффективности подготовки мерзлых горных пород к выемке является актуальной научно-технической проблемой.

2. Существующие технологические решения, направленные на интенсификацию послойной разработки песков по мере оттайки, недостаточно эффективны, так как накопление оттаявшего слоя значительно снижает интенсивность оттаивания и снижает производительность бульдозера в 2–3 раза, что требует поисков новых технологий подготовки песков к выемке по мере оттайки.

3. Интенсификация послойной выемки многолетнемерзлых песков по мере оттайки возможна поочередным оттаиванием секторов полигона путем увеличения степени дезинтеграции реагентом, путем разделения разрабатываемого полигона на отдельные секторы с разным уровнем, при этом верхний сектор заполняют реагентом, ускоряющим процесс оттайки, а разработку секторов начинают поочередно с центрального верхнего сектора путем послойного снятия оттаявших песков и выталкиванием их в бункер, предварительно спустив реагент на периферийные нижние секторы для их оттаивания. В результате достигается интенсификация процесса оттаивания и повышение производительности выемочного оборудования.

Список литературы

1. Панина Т.Ю., Костромин М.В. Геокриологические проблемы и их решения при разработке россыпных месторождений // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Сер. Физика, математика, техника, технология. 2017. Т. 12. № 4. С. 59–72. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72.
2. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М., Авдеев П.Б. Подготовка мерзлых пород к выемке при разработке россыпных месторождений в Забайкальском крае // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 125–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-125-133.
3. Морозова Н.В. Технология подготовки искусственных сушенцовых зон при разработке многолетнемерзлых грунтов в условиях крайнего Севера // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы» (Апатиты, 6–8 ноября 2013 г.). СПГУ. Апатиты, 2013. С. 105–107.
4. Ивашин А.А. Анализ методов оттаивания мерзлых горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 57. С. 537–544.
5. Панишев С.В. К вопросу обоснования эффективности подготовки горных пород к выемке блоками активного климатического воздействия в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 230–235.
6. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M., Budikina M. Development of environmentally safe mining technologies taking into account thermomechanical conditions of the permafrost zone. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS. 2018. September, 03–07. Prague – Czech Republic. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012118.

7. Калачев А., Печкин А., Красненко А. Динамика температурных колебаний поверхностного почвенного покрова в Арктическом регионе // Известия Алтайского государственного университета. 2018. № 1 (99). С. 24–28. DOI: 10.14258/izvasu(2018)1-03.
8. Андреева В.В., Максимов Г.Т., Спектор В.В., Холодов А.Л., Давыдов С.П. Температурный режим многолетнемерзлых пород на постпирогенных участках севера Колымской низменности // Успехи современного естествознания. 2021. № 8. С. 29–40.
9. Субботин Ю.В., Овешников Ю.М. Новые технологии и способы оттаивания сезонных и многолетнемерзлых пород // Горный журнал. 2011. № 4. С. 85–89.
10. Kodama J. et al. The effects of water content, temperature and loading rate on strength and failure process of frozen rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2013. Vol. 62. P. 1–13.
11. Viktor Litvinsev, Petr Sas. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District. VII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources”. E3S Web of Conferences 56. 04004 (2018). DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004.
12. Lukasz Botoz, Krzysztof Krauze. Ability to mill rocks in open-pit mining. 18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2018. Volume 18. Exploration and mining. 2 July – 8 July. 2018. Albena, Bulgaria. P. 41–48. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3.
13. Вахрушев С.И., Исакова Ю.А. Исследование спаренной работы бульдозеров при разработке грунтов различных категорий // *MasterS Journal*. 2016. № 2. С. 344–361.
14. Рашкин А.В., Субботин Ю.В., Позлутко С.Г. Совершенствование способов оттаивания мерзлых пород // *Горный журнал*. 1996. № 9–10. С. 9–11.
15. Рашкин А.В., Субботин Ю.В. Патент № 2276236, МПК E02F 5/30. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов. По заявке № 2004134004/03 от 22.11.2004 г. Оpubл. 10.05.2006 г. Бюл. № 13.
16. Кисляков В.Е., Никитин А.В. Патент № 2353772, МПК E21C 41/30, E21C 45/00. Способ разработки россыпных месторождений. По заявке № 2007138132/03, от 2007.10.15 г. Оpubл. 27.04.2009 г.