

Научная статья

Original article

УДК 624.131

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_12_631

**СПОСОБ ОТТАИВАНИЯ МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И ГРУНТОВ
METHOD OF THAWING FROZEN ROCKS AND SOILS**



Рочев Виктор Федорович, кандидат технических наук, доцент, Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, E-mail: viktor-rochev74@mail.ru

Rochev Viktor Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Technical Institute (branch) North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, E-mail: viktor-rochev74@mail.ru

Аннотация. Данная статья представляет собой исследование, посвященное эффективным методам и технологиям оттаивания мерзлых горных пород и грунтов. Авторы статьи рассматривают различные способы размораживания, анализируют их преимущества и недостатки, и предоставляют практические рекомендации для оптимизации процесса оттаивания. Одной из ключевых тем, поднимаемых в статье, является применение новейших технологий и инноваций в области оттаивания мерзлых горных пород. Авторы описывают использование тепловых и химических методов, а также механических устройств для эффективного размораживания. Статья обращает внимание на важность учета экологических аспектов при выборе метода оттаивания и предупреждает о потенциальных негативных последствиях для окружающей среды. Это исследование будет полезным для специалистов и инженеров, работающих в горнодобывающей и строительной отраслях, а также для всех, кто занимается

проблемами технологии и экологии при работе с мерзлыми горными породами и грунтами. Она предоставляет обширный обзор современных методов и решений в данной области и способствует более эффективной и экологически безопасной работе в условиях мерзлых грунтов.

Abstract. This article is a study devoted to effective methods and technologies for thawing frozen rocks and soils. The authors of the article consider various methods of defrosting, analyze their advantages and disadvantages, and provide practical recommendations for optimizing the thawing process. One of the key topics raised in the article is the application of the latest technologies and innovations in the field of thawing frozen rocks. The authors describe the use of thermal and chemical methods, as well as mechanical devices for effective defrosting. The article draws attention to the importance of taking into account environmental aspects when choosing a thawing method and warns against potential negative consequences for the environment. This study will be useful for specialists and engineers working in the mining and construction industries, as well as for anyone who deals with technology and environmental issues when working with frozen rocks and soils. It provides an extensive overview of modern methods and solutions in this field and contributes to more efficient and environmentally safe work in frozen soils.

Ключевые слова: регенерация, горные породы, способ оттаивания, грунты, режим затопления

Keywords: regeneration, rocks, thawing method, soils, flooding mode

1. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов, включающий удаление почвенно-растительного слоя на оттаиваемом участке, затопление оттаиваемого участка жидкостью, отличающийся тем, что участок заливают жидкостью, содержащей концентрированный водный раствор спирта, от оттаиваемого участка ведут отбор жидкости, которую направляют на регенерацию с восстановлением исходной концентрации спирта, на оттаиваемый

участок жидкость подают нагретой до 30-50°C, отбор жидкости на регенерацию ведут в процессе промывки грунта или породы, подачу и отбор жидкости на оттаиваемом участке ведут таким образом, чтобы поддерживать среднее содержание спирта в режиме затопления на уровне выше 10%.

2. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов по п. 1, отличающийся тем, что в качестве спирта используют метанол, этанол или пропанол.

3. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов по п. 1, отличающийся тем, что осуществляют регенерацию и нагрев жидкости выхлопными газами двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины.

4. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов по п. 1, отличающийся тем, что регенерацию и нагрев жидкости ведут при подводе тепла от ядерного реактора.

Описание способа

Данный способ относится к химической, горнодобывающей промышленности, в частности к искусственному оттаиванию мерзлых пород в горном деле и строительстве, и может быть использовано при разработке россыпных месторождений, в том числе с применением внешних энергоисточников, в особенности ядерных.

Данные Роскомдрагмета свидетельствуют, что в настоящее время около 40% россыпного золота в стране сосредоточено в месторождениях с содержанием металла менее 300 мг/м³. При таких низких содержаниях для получения 1 грамма золота необходимо взрыхлить примерно 4-5 кубометров земли, что вызывает необходимость экскавации больших объемов грунта, учитывая, что только в 2019 году россыпного золота в России было добыто 60,5 тонны (23% общей добычи).

На территории Забайкалья и Приамурья в связи с отрицательными среднегодовыми температурами воздуха и незначительным снежным покровом повсеместно распространены сезонно- и многолетнемерзлые породы. При этом в

северных и восточных районах Читинской области мощность сезонно-мерзлых пород достигает 4...5 м. В мерзлом состоянии горные породы обладают высокой прочностью. Энергоемкость разрушения мерзлых горных пород при понижении их температуры всего лишь до минус 1°С увеличивается в десятки раз. Поэтому при разработке золотоносных россыпных месторождений существенно возрастает значение работ по оттаиванию мерзлых горных пород.

Первостепенную роль стали играть два основных фактора, влияющих на конечный результат:

- минимизация затрат при планировании вскрышных работ, перемещении грунтов и последующей рекультивации;
- обеспечение драги (или промприборов) тальми запасами песков на текущий и следующий промывочный сезон.

Причины, снижающие производительность промывки песков: позднее наступление теплого летнего периода и медленная оттайка валунистых песков, затрудняющая послойное снятие.

В этой связи особая важность придается хорошей подготовке полигонов, эффективному использованию солнечного тепла, возможностям гидрооттайки и различным методам теплосбережения в зимний период. Мероприятия по обеспечению драги (промприбора) тальми запасами, занимают в структуре себестоимости незначительное место (до 10%), а эффект от их применения весьма значительный, учитывая, что практически вся территория России, на которой велась россыпная золотодобыча, подвержена сезонному промерзанию поверхностного слоя грунта. Глубина промерзания в районах с суровым климатом достигает до 3-4 м. Следовательно, 100% мелкозалегающих россыпей не доработаны или погашены с большими потерями. Что касается районов, пораженных вечной мерзлотой, то здесь необходимость мероприятий по оттайке полигона очевидна.

Основные потери приходятся на начало сезона, т.к. и драги и промприборы хронически не обеспечены талыми песками. Мероприятия по дополнительной теплоизоляции талых песков, как правило, никто не применяет. В некоторых случаях, неоттаянный дражный полигон затапливался в начале сезона, однако, скорость естественного оттаивания под слоем воды уменьшается в 3-4 раза. Для решения задачи качественной оттайки полигона на всю глубину залегания продуктивного слоя предлагают применять следующие методы:

- естественное оттаивание;
- послойное оттаивание;
- использование полимерных пленок;
- фильтрационно-дренажное оттаивание;
- гидроигловое оттаивание.

Аналоги

В частности, известен способ разупрочнения мерзлых пород (патент РФ №2143032, опубл. 20.12.1999), согласно которому при искусственном оттаивании мерзлых россыпных месторождений разупрочнение достигается тем, что после образования льдозаполненной трещины гидроразрыва между, как минимум, двумя скважинами нагнетают солевой раствор насыщенной концентрации до получения на выходе из другой скважины раствора, разубоженного до концентрации, соответствующей незамерзанию раствора при начальной температуре мерзлых пород. Недостаток способа - высокая трудоемкость.

Известен способ оттаивания мерзлых горных пород (RU 2295008), согласно которому удаляют почвенно-растительный слой на оттаиваемом участке, возводят водоподпорную дамбу, заливают участок слоем воды и отводят воду за пределы участка, отличающийся тем, что на участке бурят ряды скважин, между которыми укладывают водосбросную трубу, один конец которой закрывают заглушкой, а на другом конце устанавливают задвижку и водосливной патрубков, при этом в скважинах устанавливают водозаборные патрубки, которые перфорируют на

отрезке длиной 0,5...1,0 м со стороны забоя скважин отверстиями диаметром 0,01...0,02 м и с помощью соединительных муфт присоединяют к водосбросной трубе (патент РФ №2295008, опубл. 10.03.2007). Недостатком данного способа является сложность технологии, высокие затраты на ее создание и эксплуатацию.

Известен способ оттаивания мерзлых пород (патент РФ №2315155, опубл. 20.01.2008), включающий удаление на оттаиваемом участке почвенно-растительного слоя, сооружение питающей, дренажной и оросительных канав и нагнетание в питающую и оросительные канавы воды, нагретой за счет солнечной радиации, отличающийся тем, что нагнетаемую в канавы воду нагревают соляными солнечными водонагревателями, установленными на дне питающей и оросительных канав. Недостатком способа также можно считать низкую глубину проникновения оттайки в грунт, сложность технологии, высокие затраты.

Известен также способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов (патент РФ №2276236, опубл. 10.05.2006), принятый за прототип, в котором производят удаление почвенно-растительного слоя на оттаиваемом участке, затопление оттаиваемого участка жидкостью, селективно прозрачной для коротковолнового и длинноволнового излучений, с последующим нанесением масляной пленки, отличающийся тем, что участок заливают слоями, а в качестве селективно прозрачной для коротковолнового и длинноволнового излучений жидкости используют водный раствор технической соли магния $6\text{H}_2\text{O}\cdot\text{MgCl}_2$ с понижением концентрации ее от нижних слоев к верхним слоям. Недостатком способа также можно считать сложность технологии, высокие затраты, необходимость работать с коррозионноактивной средой, низкая скорость оттаивания.

Задача настоящего изобретения - упростить технологию и повысить ее производительность, снизить затраты, повысить скорость оттаивания.

Способ оттайки

Поставленная задача решается тем, что в способе оттаивания мерзлых горных пород и грунтов, включающем удаление почвенно-растительного слоя на

оттаиваемом участке, осуществляют затопление оттаиваемого участка жидкостью, содержащей концентрированный водный раствор спирта, от оттаиваемого участка ведут отбор жидкости, которую направляют на регенерацию с восстановлением исходной концентрации спирта, на оттаиваемый участок жидкость подают нагретой до 30-50°C, отбор жидкости на регенерацию ведут в процессе промывки грунта или породы, подачу и отбор жидкости на оттаиваемом участке ведут таким образом, чтобы поддерживать среднее содержание спирта в режиме затопления на уровне выше 10%.

Кроме того:

- в качестве спирта используют метанол, этанол или пропанол;
- регенерацию и нагрев жидкости осуществляют выхлопными газами двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины;
- регенерацию и нагрев жидкости ведут при подводе тепла от ядерного реактора.

На фигуре дана схема реализации способа, где 1 - оттаиваемый участок, 2 - подача жидкости, 3 - отвод жидкости, 4 - регенерация, 5 - ядерный реактор, 6 - теплоноситель, 7 - вывод конденсата, 8 - промывка грунта.

Примером реализации изобретения служит способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов, описанный ниже.

В качестве примера выбран район с климатическими условиями Якутии (Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха за многолетний период, °C), где осадки выпадают в течение года очень неравномерно.

В излагаемом примере осуществления изобретения рассмотрено оттаивание мерзлых горных пород и грунтов применительно к разработке россыпных месторождений дражным способом.

Дражный способ имеет лучшие технико-экономические показатели - высокие показатели работы драг достигаются за счет полной механизации основных производственных процессов (выемка горной массы и песков,

обогащение песков, отвалообразование). Драгами перерабатываются десятки миллионов кубометров горной массы по более низкой себестоимости, чем при других способах разработки. Эффективность работы дражного флота, горных машин и оборудования при разработке россыпных месторождений в значительной мере зависит от степени подготовленности горных пород к выемке и их физико-механических свойств.

В качестве примера взяты горнотехнические условия эксплуатации месторождения р. Вача (таблица 1).

Таблица 1. Горнотехнические условия эксплуатации месторождения р. Вача

Наименование параметров	Объемы, параметры
Длина отрабатываемого участка (блоков), м.	2806
Ширина блоков, м: от до средняя	50,5 184 122
Площадь блоков тыс. м ² .	360,7
Мощность вскрыши, м: от до средняя	4,3 30,7 20,9
Мощность песков, м: от до средняя	4,3 2,3 1,62
Категория пород по СНИП по взрываемости по Протоdjяконову	IV гр. V гр. VIII гр.
Мерзлота, %.	93
Льдистость, %.	20
Валунистость, %.	8,7
Промывистость песков	хорошая
Уклон плотика	0,0078
Коэффициент хим. чистоты золота	0,920
Коэффициент разрыхления торфов и песков	1,25
Влажность грунтов, %.	30
Преобладающее направление и скорость ветров, м/с.	сз-з 3,0

Участок россыпного месторождения, предназначенный на планируемый год к разработке, разбивается на эксплуатационные блоки из условий достижения оптимальных параметров использования землеройно-транспортных машин, обеспечения потребной суточной оттайки песков на многолетнемерзлых запасах и полной отработки всех выделенных блоков в течение промывочного сезона.

Работы по вскрытию включают совокупность работ, проводимых с целью создания доступа к горизонту залежи, т.е. обеспечения непосредственной транспортной связи этого горизонта с поверхностью и размещения горных машин. Для этого предварительно с помощью бульдозера на оттаиваемом участке 1 удаляют почвенно-растительный слой и планируют поверхность с образованием полигона. Затем проводят затопление оттаиваемого участка мерзлых горных пород слоями жидкости 2 с целью увеличить скорость оттаивания пород.

Технология промывки грунта 8 (песков) рассмотрена на примере использования прибора МПД-6М и заключается в следующем. Пески подаются бульдозером непосредственно в завалочный люк скруббера, в котором осуществляется дезинтеграция песков и последующее грохочение их на две фракции. Фракция песков мельче 30 мм обогащается на шлюзе мелкого наполнения, а фракция крупнее 30 мм выкладывается галечным стakerом в отвал, хвосты промывки песков на шлюзе удаляются из прибора промывки грунта 8 самотеком в потоке пульпы. При отсутствии благоприятного рельефа местности для их уборки применяют землесос или гидроэлеватор. Возможно применение также прибора промывки грунта 8 типа ФМВ - 200 ТРН (Австрия) или других приборов дражного флота, горных машин и оборудования.

Размораживание мерзлого грунта и его переход из твердомерзлого в мерзлопластичное состояние происходит за счет взаимодействия жидкости 2 с грунтом на оттаиваемом участке 1.

Лед в мерзлом грунте оттаиваемого участка 1 подразделяют на: поровой лед (лед-цемент), который находится в порах мерзлого грунта и цементирует его

частицы или их агрегаты; ледяные включения - прослойки, линзы и другие формы льда. Основные физические свойства мерзлых грунтов: суммарная влажность, льдистость и объемный вес - зависят от их криогенной текстуры.

Оттаивание за счет взаимодействия жидкости 2 с грунтом оттаиваемого участка 1 производят с поглощением скрытой теплоты льдообразования, составляющей при 0°C при фазовом переходе льда в воду примерно 335 кДж тепла, которое тем в большем количестве передается фунту, чем толще снеговой покров на размораживаемом участке (авт. свид. SU №503004, МПК E02D 3/10, 1976 г.). Эта тепловая энергия снижает температуру жидкости 2.

Одновременно спирт, в качестве которого в данном примере взят этанол, содержащийся в жидкости 2, также взаимодействует со льдом грунта оттаиваемого участка 1. Взаимодействие этанола с водой - реакция экзотермическая. Изменение энтальпии этой реакции при 18°C с участием 1 моля этанола и 5.24 молей воды составляет - 5,99 кДж. Эта величина, взятая с обратным знаком, соответствует тепловому эффекту растворения. Так, например, для образования 1 кг 33% водного раствора спирта требуется 328 г этанола и 672 г воды. При 18°C в результате реакции спирта жидкости 2 с водой выделится 42.7 кДж тепла, еще 65 кДж нужно отобрать у раствора, чтобы охладить его до 0 град. Это тепло заберет плавящийся лед грунта оттаиваемого участка 1, но не все 672 г, а только 1/3 его часть. Остальные 2/3 части льда расходуется на более глубокое охлаждение раствора и на компенсацию подвода внешнего тепла. Температура равновесной системы, состоящей из жидкости 2 (водно-спиртового раствора) и льда оттаиваемого участка 1, отрицательна и равна взятой со знаком минус величине понижения температуры замерзания раствора. Для 49.4% раствора спирта она составляет - 36 град., а для 35.4% раствора - 25.7 град. Плавление льда в спиртовой среде процесс неравновесный, но система стремится к равновесию и поэтому температура быстро понижается. В литровом объеме оттаиваемого участка 1 температура смеси опускается до температуры минус 13.5 град, что

позволяет работать дражным методом добычи золота при отрицательных температурах в приборе промывки грунта 8. Это продляет сезон промывки на 2-3 месяца. В качестве спирта могут рассматриваться также пропанол и метанол. Кроме того, в состав жидкости 2 могут добавлять также различные соли, например хлориды.

С целью резко уменьшить завоз спирта на площадку оттаиваемого участка 1 в заявляемом способе проводят отвод жидкости 3 на регенерацию 4, которую проводят путем повышения концентрации спирта в жидкости 2 за счет подвода тепловой энергии с помощью теплоносителя 6, нагреваемого сторонним энергоисточником, в качестве которого могут выступать тепловые двигатели или ядерный реактор 5.

Избыток воды, образующейся при регенерации 4, удаляют при выводе конденсата 7.

Процесс регенерации 4 может быть построен на основе тепловой дистилляции аналогично процессу опреснения морской воды, например по процессу типа энергоблока БН-350 в Казахстане или по процессу обратного осмоса. Для дистилляции и ректификации температура теплоносителя не должна превышать 100°C даже в случае этанола, а при использовании пропанола и метанола может быть на 10-20°C ниже. В частности, пропанол и вода формируют азеотроп и в результате простой дистилляции получается раствор жидкости 2, который на 87,9% состоит из пропанола и на 12,1% из воды.

В случае этанола в процессе дистилляции достаточно остановиться на концентрации спирта в жидкости 2 на уровне 65-68%, до температуры нагрева около 88°C (таблица 2).

Таблица 2. Корреляция с процедурой нагрева и дистилляции

Температура кубовой жидкости °С	Содержание спирта в кубе (% об)	Содержание спирта в отборе (% об.)
88	21.9	68.9
89	19.1	66.7

90	16.5	64.1
91	14.3	61.3
92	12.2	59.7
93	10.2	53.6
94	8.5	49.0
95	6.9	43.6
96	5.3	36.8
97	3.9	29.5
98	2.5	20.7
99	1.2	10.8
100	0.0	0.0

В случае ректификации концентрация спирта в жидкости 2 может быть повышена до 75-80%. В этом случае вывод конденсата 7 может производиться в затопленный объем оттаиваемого участка 1. В процессе регенерации 4 возможна комбинация методов ректификации и дистилляции.

Для повышения эффекта оттаивания в мерзлом массиве горных пород оттаиваемого участка 1 могут создавать камуфлетные полости, фильтрационные каналы и сеть трещин различного рода путем взрывания в скважинах камуфлетных зарядов ВВ или электрогидроразрывом пласта.

В процессе промывки грунта 8 чешуйчатое золото иногда плавает по поверхности воды, поэтому с целью снижения уноса с пульпой при отводе жидкости 3 на регенерацию 4 необходимо понизить поверхностное натяжение жидкости 2, что и достигается применением спирта, имеющего значение коэффициента поверхностного натяжения, мН/м (при 20°C), равное 22 по сравнению с 77 мН/м (при 20°C) у воды. Подачу и отбор жидкости 2 на оттаиваемом участке 1 ведут таким образом, чтобы поддерживать среднее содержание спирта в режиме затопления на уровне выше 10%.

На оттаиваемый участок 1 жидкость 2 подают нагретой до 30-50°C, что возможно совместить с регенеративным нагревом исходного потока из отвода жидкости 3.

Возможно регенерацию и нагрев жидкости 2 осуществлять выхлопными газами двигателя внутреннего сгорания или газовой турбины. В частности, на

основе дизельных двигателей типа ЯМЗ за счет выхлопных газов может быть получено достаточно энергии для регенерации и нагрева жидкости 2 (см. таблицу 4. Характеристики энергоустановок на основе дизельных двигателей типа ЯМЗ). В отопительный период эти тепловые отборы переключаются на отопительные нужды.

Таблица 3. Расчет потребности в отопительном сезоне

Двигатель	ЯМЗ238М2	ЯМЗ238М2	ЯМЗ7514-10
Общая тепловая мощность, кВт (Гкал)	285 (0.245)	260 (0.223)	480 (0.413)
Утилизация тепла, кВт	160	160	300
Температура теплоносителя, С°мах	70-95		
Расход теплоносителя, м ³ /час	11	11	20
Электрическая мощность, кВт	16	135	200

За счет реализации предложенного способа удалось примерно на 2-3 месяца продлить процесс дражной добычи, повысить скорость оттаивания и коэффициент использования первичной энергии, упростить технологию и повысить ее производительность, снизить затраты на добычу золота, в первую очередь, электроэнергии.

Список источников

1. Потемкин С. В. Разработка россыпных месторождений. Учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1995.
2. Кудряшов В. А. Потемкин С. В. Основы проектирования разработки россыпных месторождений: Учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1988.
3. Емельянов В. И. Технология бульдозерной разработки вечномерзлых россыпей. М.: Недра, 1976.
4. Лешков В. Г. Разработка россыпных месторождений. М.: Недра, 1985.
5. Шорохов С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1973.
6. Трубецкой К. Н. Потапов М. Г. Винницкий К. Е. Мельников Н. Н. Справочник. Открытые горные работы. М.: Горное бюро, 1994.

7. Ялтанец И.М. Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. М: МГГУ, 1994.
8. Lazarev, S. (2020). Adaptation mechanisms and life strategies of species of the Robinia L. genus under the conditions of introduction. World Ecology Journal, 10(1), 48-67. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3>
9. Адаптивный потенциал дуба черешчатого в географических культурах Нижнего Дона / С. Н. Кружилин, Т. Ю. Баранова, О. С. Ищенко, Ю. Н. Писаренко // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 45-68. – DOI 10.25726/d9840-1483-1345-i.

References

1. Potemkin S. V. Development of placer deposits. Textbook for universities. М.: Nedra, 1995.
2. Kudryashov V. A. Potemkin S. V. Fundamentals of designing the development of placer deposits: Textbook for universities. М.: Nedra, 1988.
3. Emelyanov V. I. Technology of bulldozer development of permafrost placers. М.: Nedra, 1976.
4. Leshkov V. G. Development of placer deposits М.: Nedra, 1985.
5. Shorokhov S. M. Technology and complex mechanization of the development of placer deposits. М.: Nedra, 1973.
6. Trubetskoy K. N. Potapov M. G. Vinnitsky K. E. Melnikov N. N. Handbook. Open-pit mining. Moscow: Mining Bureau, 1994.
7. Yaltanets I.M. Design of hydro-mechanization of open-pit mining. Moscow: Moscow State University, 1994.
8. Lazarev, S. (2020). Adaptation mechanisms and life strategies of species of the Robinia L. genus under the conditions of introduction. World Ecology Journal, 10(1), 48-67. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3>
9. Adaptive potential of the pedunculate oak in geographical cultures of the Lower Don / S. N. Kruzhilin, T. Yu. Baranova, O. S. Ishchenko, Yu. N. Pisarenko // Nauka.

Московский экономический журнал. № 12. 2023

Moscow economic journal. № 12. 2023

Thought: electronic periodical journal. – 2021. – Vol. 11. – No. 1. – pp. 45-68. – DOI 10.25726/d9840-1483-1345- i.

Для цитирования: Рочев В.Ф. Способ оттаивания мерзлых горных пород и грунтов // Московский экономический журнал. 2023. № 12.

URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2023-29/>

© Рочев В.Ф., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 12.