

УДК 622.271.1:621.879.443

DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72

Татьяна Юрьевна Панина,
кандидат экономических наук, старший преподаватель
Забайкальский аграрный институт
Иркутского государственного аграрного университета им. А. А. Ежесевского
(672023, Россия, г. Чита, ул. Юбилейная, 4),
e-mail: panirais@mail.ru

Михаил Витальевич Костромин,
доктор технических наук, профессор,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30),
e-mail: kostrmv@yandex.ru

Геокриологические проблемы и их решения при разработке россыпных месторождений

Работа драг при разработке россыпных месторождений зависит от наличия многолетней глубокой сезонной мерзлоты. Поэтому оттаивание и предохранение пород от промерзания имеют важное значение. В работе дан критический анализ основных, существующих на сегодня, способов оттаивания мёрзлых и предохранения от промерзания талых пород россыпных месторождений. Выявлены их достоинства и недостатки. Установлено, что наиболее эффективным способом предохранения дражных полигонов от глубокого сезонного промерзания является затопление водой при условии сохранения необходимого уровня воды в течение определённого срока (для условий Забайкалья минимальный срок – 150 суток). Для значительного снижения фильтрационных потерь через тело и основание плотины необходимо сооружать противофильтрационные экраны из полимерных плёнок или химического реагента – техническая натрий-карбоксилметилцеллюлоза (Na-МЦ). В результате проведённых исследований (лабораторных, объёмно-физического моделирования, математического моделирования, математического анализа, полупромышленных испытаний) разработана технология предохранения дражных полигонов от сезонного промерзания затоплением с использованием химических реагентов и полимерных плёнок. Разработаны технологические схемы предохранения пород от промерзания затоплением с использованием химического кольматажа и экранирования плотин полимерными плёнками. В результате проведённых исследований установлены необходимые размеры зуба и понура для конкретных условий месторождений, а также нормы расхода реагента, которые изменяются в пределах 0,5–3,0 кг/м² в зависимости от гранулометрического состава пород. Таким образом, проведением сравнительно дешёвых и малотрудоёмких мероприятий можно качественно решить проблему предохранения пород дражных полигонов от промерзания затоплением. Тем самым обеспечить, при условии успешного проведения других работ (ремонт драги и др.), ранний пуск драги, высокопроизводительную работу в течение промывочного сезона, позднюю остановку в заранее намеченном и подготовленном месте. За счёт этого добиться значительного увеличения сезонной производительности и уменьшения удельных затрат на добычу 1 м³ горной массы или единицы металла.

Ключевые слова: геокриология, многолетняя мерзлота, сезонная мерзлота, россыпь, пески, оттайка, предохранение от промерзания, фильтрация, противофильтрационные экраны, плёнки, химические реагенты, зуб, понур

Успешная работа добычных горных механизмов и машин, в частности, драг, при разработке россыпных месторождений зависит от многих факторов; одним из важнейших является отсутствие или наличие многолетней и глубокой сезонной мерзлоты. Опыт работы драг средней и большой мощности показывает, что они могут успешно работать при наличии сезонного промерзания пород до 0,5–0,8 м. В случае большей величины промерзшего слоя в весеннее время резко ухудшается работа всех механизмов, увеличивается их износ, производительность падает на 50–60 %, иногда и более, себестоимость драгирования 1 м³ песков при этом увеличивается в несколько раз. Поэтому оттайка и предохранение пород от сезонного промерзания при разработке россыпных месторождений имеют важное значение как для снижения себестоимости добычи металла и увеличения производительности драг, так и для предотвращения износа их механизмов, продления срока службы. В Забайкалье 8 среднелитражных драг, работающих на полигонах, поражённых на 20–30 % многолетней мерзлотой и промерзающих зимой на глубину 2,5–4,0 м, из-за нерешённой проблемы оттайки и предохранения от сезонного промерзания работают с годовой производительностью 400–700 тыс. м³, в то время как на оттаянных предохранённых полигонах 250-литровые драги в аналогичных условиях могут промывать за сезон 1–1,4 млн м³ (драги северной части Красноярского края, Амурской области). Оттайка мерзлоты на россыпях Забайкалья в основном производится естественным способом с использованием энергии солнечной радиации, однако вскрыша ведётся на незначительную глубину (0,5–1,0 м) и в недостаточных объёмах (50–150 тыс. м³) реже 200–300 тыс. м³ на полигоне одной драги. Предохранение пород от промерзания чаще всего проводится затоплением, но из-за фильтрации через тело плотины и основание в большинстве случаев не удаётся сохранить необходимый уровень воды, что приводит к значительному сезонному промерзанию полигонов (до 2,0–3,0 м). Вследствие этих причин снижается производительность драг, увеличивается себестоимость добычи. Расчёты показывают, что при полном решении проблемы можно дополнительно получить прирост добычи песков до 3 млн м³ в год, что равносильно постройке 3–4 новых 250-литровых драг [5]. Как уже отмечалось выше, оттайка и предохранение пород от сезонного промерзания при дражной разработке россыпей являются актуальными проблемами. Оттайка мёрзлых горных пород производится в основном гидроигловым и естественным способами. Фильтрационно-дренажный и фильтрационно-дождевальными способами, а также оттайка при помощи пара, горячей воды и электрического тока имеют незначительный удельный вес.

Гидроигловый способ заключается в оттайке пород водой подаваемой в иглы, представляющие собой стальные трубы диаметром 34–42,0 мм с отверстиями на нижнем конце, от источника по металлическим и резиновым трубопроводам при помощи насосов или самотёком. Иглы периодически забивают в грунт на величину оттаявшего слоя или погружают в заранее пробуренные скважины. Забивку игл производят при помощи электровибраторов или вручную. Скважины в некоторых случаях бурят непосредственно иглами, которые в этом случае снабжаются буровыми коронками. Температура воды при оттайке должна быть выше температуры мёрзлых пород не менее чем на 5–70 °С. Расход воды составляет 7–15 м³ на 1 м³ оттаявших пород [10].

Естественный способ оттайки основан на максимальном использовании тепловой энергии солнечной радиации. Для этого ранней весной с наступлением положительных температур убирают снежный покров. Оттайка ведётся послойно путём снятия оттаявшего слоя на глубину 6–20 см бульдозерами или с наполнением (аккумуляцией) талого слоя. Для ускорения процесса оттайки используют полимерные плёнки, которые настилаются на по-

лигон после уборки снежного покрова. Температура под пленкой на 7–100 °С выше температуры воздуха [10].

Глубина оттаивания за сезон без применения плёнки составляет 2–3 м и в зависимости от климатических условий, с плёнкой в 1,4–1,6 раза больше [20].

На Ундинском прииске комбината «Балейзолото» для ускорения оттаивания проводились работы по нанесению плёнок из битумной эмульсии и фуриловой смолы. Скорость оттайки также увеличивается в 1,4–1,6 раза [17].

При разработке россыпных месторождений применяются различные способы предохранения от промерзания, которые можно подразделить на следующие: предохранение местными теплоизоляционными материалами, снегозадержание, рыхление верхнего слоя горных пород, предохранение при помощи искусственных теплоизоляционных материалов, затопление водой.

Небольшие участки предохраняют местными теплоизоляционными материалами (опилками, камышитовыми матами, шлаком, торфом и др.), снегозадержанием, рыхлением, полимерными плёнками [9; 19]. Предохранение больших площадей производится затоплением водой, укладкой пенопластовых щитов, искусственным снегом, пеной [4; 13].

Выбор того или иного способа зависит от горнотехнических и климатических условий района месторождения.

Предохранение полигонов при помощи местных теплоизоляционных материалов осуществляется на необводнённых месторождениях в условиях малоснежной зимы, на небольших участках. При разработке россыпей в настоящее время этот способ малоэффективен, экономически неоправдан и имеет вспомогательное значение.

Снегозадержание применяется в районах с суммой отрицательных градусо-суток менее 4000, при раннем выпадении обильного устойчивого снежного покрова. Для снегозадержания используют настил из хвойных ветвей, вырубленные кустарники, а также щиты и другие средства. Щиты обычно применяют размерами 1 × 2 м, изготавливаемые решётчатыми из теса (1,5 × 5 см), который прошивают с промежутками от 5 до 15 см. Щиты устанавливают по 5–6 в ряд с интервалами 15–20 см, расстояниями между рядами 15–30 м. По мере роста слоя снега до 2/3 высоты щитов последние переставляются; за зиму щиты переносятся до 5 раз. Для снегозадержания на площади 1 га требуется 60–100 щитов. Можно также производить снегозадержание путём образования снежных валов тракторными валкообразователями [7].

Глубина промерзания при накоплении значительного слоя снега уменьшается в 2 раза на Урале и в Сибири, а на Колыме – не более чем на 10 % [9].

По данным В. Г. Лешкова, в условиях комбината «Лензолото» сезонная мерзлота на защищаемых участках составляет около 0,6 м против 1,1–1,6 м на незащищённых площадях [7].

С наступлением положительных температур снежный покров рекомендуется удалять бульдозерами для ускорения процесса естественного оттаивания или применять зачернение угольной пылью, шлаком, грунтом.

Недостатком защиты пород от промерзания снегозадержанием является ограниченность его применения. Этот способ возможен только в районах с мощным и устойчивым снежным покровом, который необходимо удалять в ранне-весенний период. Эффективность снегозадержания по сравнению с другими способами невысока.

В Забайкалье с его малоснежной (толщина снежного покрова 10–15 см) и суровой (температура воздуха до минус 40–45 °С) зимой этот способ малопримем.

Рыхление верхнего слоя пород во время начала сезонного промерзания на глубину до 0,5–0,6 м производится тракторными рыхлителями. Перед рыхлением поверхность полигона необходимо очистить от глыб, валунов, убрать лес, пни [9; 19].

Рыхление необходимо проводить при положительных температурах. Благодаря нарушению естественной структуры поверхностного слоя и увеличению пористости пород уменьшается их теплопроводимость, что приводит к уменьшению отрицательных тепловых потоков.

Рекомендуется рыхление производить продольно-поперечными смежными ходами, т. к. в этом случае не образуется сквозных пустот, способствующих увеличению конвективной составляющей теплового потока. Сезонное промерзание пород под разрыхленным слоем мощностью 50–60 см уменьшается на 50–60 % (по фактическим данным под разрыхленным слоем 0,6 см составило 1,6–1,7 м против 3,5–4,0 м в естественных условиях).

Разрыхленный слой заносится снегом и становится малотеплопроводным ($\lambda = 0,3$ Вт/м.град). Рыхление достаточно эффективно лишь в районах с умеренным климатом и при низком уровне грунтовых вод (не менее 0,8 м от поверхности) [2; 16].

Иногда применяют осушение галечно-гравелистых пород при помощи самотечной дренажной канавы или колодцами с насосными установками, что позволяет снизить влажность и предотвратить прочное смерзание пород. Применение этого способа ограничено и носит вынужденный характер, когда другие способы по какой-либо причине применить не удаётся [16].

Щиты из полистирольного пенопласта ПС-Б применяют в ряде районов из-за отсутствия воды в зимний период. Такой теплоизоляционный покров можно создать в любых условиях, независимо от рельефа местности, уровня грунтовых вод, фильтрационных свойств пород, климатических условий и режима притока поверхностных вод. Обычно щиты изготавливаются шестигранной формы в плане, допускается прямоугольная, толщина их 20–35 см, площадь 2,0–2,6 м².

Щиты изготавливаются из гранулированного полистирола на специальных установках с использованием пара, в редких случаях изготавливают склеиванием готовых плит (размер их 60 × 90 см, толщина 5, 10 см) при помощи специальных клеев ВИАМ-Б-З, ВК-1 и других, которые наносятся по контуру плит.

Щиты настилают за несколько дней до перехода через 0 °С среднесуточных положительных температур воздуха. Перед укладкой с полигона удаляются пни, кустарники, валуны. Поверхность разравнивается бульдозером так, чтобы можно было удобно укладывать плиты. При раннем выпадении снега щиты допускается укладывать на снежный покров, который играет роль уплотнителя. Настил из пенопластовых щитов требует предохранения от повреждений, не допускает хождения по нему и проведения взрывных работ вблизи, что является недостатком способа [4].

Толщину покрова определяют по номограмме, составленной А. И. Приймаком, в зависимости от допускаемых тепловых потерь за период действия настила, числа отрицательных градусо-суток и коэффициента теплопроводности материала, а также в зависимости от назначения. Промерзание допускается на величину 0,1–0,2 м, если породы разрабатываются сразу же после снятия покрова; 1–1,2 м – если разработка начинается по времени несколько позднее снятия покрова и породы успевают оттаять под действием солнечной радиации; 2,0 м – если после уборки теплоизоляционного покрова для ускорения оттаивания применяют полимерные плёночные покрытия [2; 11].

В некоторых случаях под настил из пенопластовых щитов укладывают электрические нагреватели, в качестве которых служит изолированный железный или медный провод, уложенный параллельными рядами через 0,2–0,5 м. Этим достигается управление процессом промерзания под теплоизоляционным покровом. При настиле из пенопласта толщиной 15 см требуется средняя мощность подогрева 5–7 Вт/м². По данным В. М. Наточинского, промерзание под пенопластовым настилом толщиной 15 см, под которым был проложен медный провод диаметром 0,6 мм с интервалом 0,25 м, составило 1,1 м против 3,7–3,9 м в

естественных условиях. При использовании стального провода сечением 1,2 мм с интервалом 0,3 м глубина промерзания – 1,5 м [8].

Основным недостатком предохранения пород от промерзания пенопластовыми щитами является большая трудоёмкость работ и сравнительно небольшая эффективность. Его применяют в тех случаях, когда предохранение водой невозможно по какой-либо причине.

Искусственный снег и пена различного состава применяются для защиты пород от промерзания в малоснежных районах, когда невозможно произвести качественное затопление полигонов водой. В 1968–1971 годах институтом «Иргиредмет» проводились исследования по усовершенствованию способа защиты горных пород от промерзания пеной. На основе широких исследований различных ПАВ установлено, что для получения пены необходимы алкилсульфонат, вода и сжатый воздух. Алкилсульфонат получают из парафина при одновременном действии хлора и сернистого ангидрида (SO_2) с последующим омылением (обработка NaOH). Общая формула вещества $\text{R-SO}_3\text{Na}$. По внешнему виду пенообразователь представляет пасту светло-жёлтого цвета с удельным весом 1,15 г/см³ рН однопроцентного водного раствора 7,5–8,5, содержит до 30 % воды. Продукт не имеет осадка и посторонних включений, не горюч, не ядовит, обладает слабым запахом. Длительное хранение при отрицательных температурах и последующее нагревание до 200 °С не меняет его пенообразующих свойств [12; 13].

Для получения пены необходима специальная установка, в основу конструкции которой положен принцип механического перемешивания смеси воздуха и водного раствора ПАВ турбулентным потоком в длинном рукаве.

Установка состоит из двух основных насосов, узла приготовления пенообразователя со вспомогательным насосом, пеносмесителя с дозировочным устройством, узлов смешивания раствора и воздуха и резиновых рукавов.

По способу водоснабжения предполагается три варианта работы:

- 1) установка располагается непосредственно у водоёма и оба основных насоса находятся в помещении;
- 2) установка располагается на некотором удалении от водоёма и один из основных насосов выносится к месту забора воды;
- 3) установка снабжается привозной водой и оборудуется специальной ёмкостью.

Вода может использоваться из любого пресного источника, допускается наличие механических примесей. Присутствие солей кальция и магния до 15 мг/л существенного влияния на пенообразование не оказывает.

Сжатый воздух получают от компрессора и особых требований к нему не предъявляют.

Пенообразователь перед растворением необходимо оттаять и тщательно перемешать. Раствор эмульгатора концентраций 20–25 % приготавливают в специальном баке, где его необходимо нагреть электроподогревом до температуры 60–70 °С и предварительно перемешать.

При работе пеногенераторной установки вода под напором основных насосов смешивается с пенообразователем и поступает по магистрали в водораспределитель и далее через вентили по трём параллельным шлангам к узлам смешивания раствора с воздухом (воздухосмесителям). Воздух от компрессора поступает в воздухораспределитель и далее – по трём магистралям в воздухосмесители. Проходя через воздухосмеситель, раствор пенообразователя и воздух попадают в резиновый рукав, где при интенсивном турбулентном перемешивании двухфазного потока происходит пенообразование [13].

Наносить пену необходимо при наступлении устойчивых отрицательных температур (не выше минус 10–15 °С).

Для создания пенного теплоизоляционного покрова необходимым условием является полная смерзаемость жидкой фазы, что достигается нанесением пены слоями толщиной не более 2–3 см, как правило, этот фактор снижает производительность.

Чем ниже температура, тем большая толщина такого слоя пены допускается. При температуре минус 25 °С и ниже получается наиболее прочная пена, дающая в дальнейшем малую усадку.

Защищаемый полигон разбивается на участки прямоугольной формы, разделенные дорожками, размеры участков зависят от длины рукавов и дальности полёта струи пены и в среднем составляют 25 × 70 м. Пена наносится по обе стороны от дорожки с равномерным распределением по всей площади. В начальный период необходимо охватить максимальную площадь и довести толщину слоя пены на ней до 15–20 см, с тем, чтобы резко уменьшить теплопотери оголённого грунта в начале зимы. В дальнейшем наращивают толщину покрытия в любой последовательности, периодически переходя с одной дорожки на другую. При необходимости оборудуют вторую стоянку пеногенераторной установки.

После намораживания слоя пены величиной 15–20 см весь полигон желательно покрыть пеной кратностью 3–5 для образования тонкой защитной корки льда (3–4 мм), которая не только увеличивает прочность покрытия, но и препятствует его выдуванию. В районах с сильным ветром эта операция обязательна. Пену кратностью 3–5 получают, уменьшив расход пенообразователя.

Испытания пенных покрытий проводились на дражных полигонах комбината «Инди-гирзолото» и на опытных площадках гор. Иркутская.

При сезонном промерзании 2,2 м толщина покрова 25–40 см уменьшает промерзание до 1,3–1,4 м, а слой пены в 40–70 см и 70–100 см – соответственно до 1,1–1,3 м и до 0,8–1,0 м.

Свойства замороженной пены непостоянны во времени и зависят от различных факторов. Непосредственно после нанесения пена имеет удовлетворительные механические свойства и предел прочности на сжатие достигает 100 кг/м². В дальнейшем под действием температуры, температурного градиента и механической нагрузки прочность пены снижается, что приводит к самоуплотнению и ухудшению теплоизоляционных свойств. Чем выше температура пены, тем большей плотности при усадке она достигает. При высоких температурах пены (минус 1–2 °С) плотность нижнего слоя для метрового пласта доходит до 150–170 кг/м³, при более низких (минус 15–20 °С) – до 100–120 кг/м³. Коэффициент теплопроводности пены зависит от её температуры и плотности и равен 0,06–0,18 ккал/м час. град. Удельная теплоёмкость пены равна удельной теплоёмкости льда и составляет 0,5 ккал/кг. град.

К недостаткам пенных покрытий можно отнести: высокую себестоимость предохранения; необходимость сооружения специальной дорогостоящей пеногенераторной установки; значительную трудоёмкость работ по нанесению пены, а также потери времени из-за устранения перемерзания рукавов при низких температурах; возможность создания теплоизоляционного покрова только при низких температурах (минус 10–15 °С), когда породы уже промерзают на некоторую глубину (30–50 см); необходимость подогрева раствора до 60–70 °С, что не всегда возможно; зависимость от источника водоснабжения; нецелесообразность применения пены в районах со значительным снежным покровом.

Предохранение пород от промерзания полимерными плёнками проводилось на северо-востоке. Плёнка укладывалась на полигон до наступления морозов. Талые породы сохранялись под плёнкой в течение 3–4 недель после наступления морозов, затем начиналось промерзание. Но независимо от числа уложенных слоёв породы промерзают не менее чем на 1,6 м [19; 20]. Необходимо отметить физико-химические способы предохранения пород от промерзания, которые, вероятно, найдут применение при определённых условиях разработки россыпных месторождений. Сущность этих способов заключается в понижении тем-

пературы замерзания поровой влаги, вследствие введения в неё водорастворимых солей: хлористого натрия и кальция, хлоридов, сульфитно-спиртовой барды и др. [3].

Известно применение растворов хлористого натрия для предохранения пород на стройках городов Ангарска и Гомеля, на строительстве Вилпойской ГЭС применялись хлористые натрий и кальций [14]. Имеется и зарубежный опыт по обработке грунтов водорастворимыми солями как в строительстве, так и в горном деле при предохранении откосов уступов в карьере роторных экскаваторов [21; 22].

Анализ научных исследований и опыта физико-химического способа предохранения пород от промерзания показывает, что он обладает значительной трудоёмкостью и высокой себестоимостью предохранения. Поэтому, по нашему мнению, этот способ при разработке россыпей может применяться лишь в небольших масштабах.

Из всех способов предохранения горных пород от промерзания наибольший интерес вызывает затопление полигонов водой. В определённых горно-геологических условиях этот способ наиболее эффективен и экономичен по сравнению с другими при условии сохранения уровня воды, т. к. позволяет с минимальными затратами полностью предохранить породы от промерзания. Сущность его заключается в сооружении плотин, дамб, перемычек, перекрывающих русло рек и создающих водохранилища на защищаемом полигоне. Гидротехнические сооружения возводятся обычно из местных материалов (галька, торф вскрыши, ил, дражные отвалы и др.). Величина слоя воды для полного предохранения пород должна быть больше глубины сезонного промерзания водоёмов на 0,3–0,5 м.

Для условий Забайкалья минимальная глубина затопления колеблется от 2,0 до 2,8 м.

Параметры земляных плотин в условиях разработки россыпей, исходя из непродолжительности срока их эксплуатации (1–3 года), устанавливаются обычно следующие: высота 2–5 м, реже до 10–12 м, ширина по верху 3–6 м, уклон мокрого откоса 1 : 2 ÷ 3, сухого откоса 1 : 1 – 2.

Длина плотин зависит от ширины долины и равняется обычно 200–600 м, иногда до 1–3 км. Расстояние между плотинами зависит от глубины затопления и уклона долины и составляет от 200 м до 1–5 км. Как уже отмечалось, плотины в основном сооружаются из местных пород, но иногда используются привозные водонепроницаемые материалы (глины, суглинки), используемые на сооружение тела плотины или отдельных её элементов (экрана, зуба), перевозимые иногда на большие расстояния [16].

Плотины чаще всего сооружают бульдозерами при вскрытии торфов или специально, иногда для этой цели используются экскаваторы по транспортным и бестранспортным схемам, скреперы. В некоторых случаях плотины и перемычки создаются дражными отвалами при помощи определённой системы ходов драги с дальнейшим перемещением отвалов бульдозерами.

Условиями успешного предохранения пород от промерзания являются: сравнительно узкие долины рек (до 300–400 м); незначительная водопроницаемость пород тела плотины и основания.

При сильно водопроницаемых породах, слагающих россыпь, когда невозможно сохранить необходимый уровень воды, применяют следующие мероприятия, способствующие предохранению пород от промерзания: накопление запаса воды для подпитки основного водохранилища, перекачка воды, оставление воздушно-ледяных промежутков, сооружение экранов из водонепроницаемых материалов и полимерных плёнок.

Метод накопления определённого запаса воды заключается в том, что выше предохраняемого полигона сооружается один или несколько водоёмов. По мере понижения уровня в водохранилище основной плотины производится подпитка из вспомогательных водохранилищ [16].

Для поддержания определённого уровня также применяется перекачка воды на предохраняемый участок, где используются насосы средней производительности [16].

Для сокращения фильтрационных потерь через тело и основание плотины сооружают противофильтрационные экраны и завесы, исходным материалом для которых служат: верхний слой торфов, водопроницаемость их значительно меньше, чем песчано-галечниковых отложений, суглинки, глина, которые добываются экскаватором и транспортируются к месту работ автосамосвалами (стоимость таких плотин обычно высокая) [16]; смолы, илисто-глинистые отложения, опилки и т. д. для кольматации [8]; ледогрунтовые экраны [18].

Технология сооружения таких противофильтрационных устройств заключается в возведении тела плотины, проходке зуба в основании плотины, укладке на верховом откосе плотины и зуба водонепроницаемого материала, который при необходимости можно засыпать защитным слоем пород. Проходку зуба и сооружение противофильтрационного экрана можно осуществлять при помощи бульдозеров, скреперов, экскаваторов. Транспортирование водонепроницаемого материала производят автосамосвалами, бульдозерами, реже скреперами. Характерной чертой таких противофильтрационных сооружений является значительная их стоимость и трудоёмкость работ.

В последнее время в качестве противофильтрационного экрана, не только в горном деле, но и в гидротехническом строительстве весьма эффективно стали использовать полимерные плёнки (полиэтиленовые, полихлорвиниловые), которые укладываются по всему мокрому откосу и зубу, иногда в приплотинной части в виде понура длиной до 50 м [5].

Экраны из полимерных плёнок позволяют не менее, чем в два раза уменьшить фильтрационные расходы, снизить стоимость сооружения плотин на 20–30 % за счёт отсыпки их из грунтов, расположенных непосредственно вдоль створа и уменьшения объёмов, снизить на 30–40 % трудоёмкость последующей разработки плотин до окончания их оттаивания.

Все эти факторы говорят о значительной эффективности пленочных экранов при разработке россыпей.

К наиболее существенным недостаткам плёночных экранов следует отнести их повреждаемость при отсыпке защитного слоя и, самое главное, сложность экранирования подземного контура. Как правило, удаётся лишь частично перекрыть фильтрующую россыпь (водоносный горизонт) ниже основания плотины. Довольно часто фильтрация наблюдается через обваловку или естественные подрусловые пути движения подземных вод. Как показала практика, экранирование земляных плотин плёнками, являясь достаточно простым в техническом отношении и экономичным противофильтрационным средством, не всегда является эффективным, что, естественно, вызывает отрицательное отношение со стороны производителей.

Исследования кольматирующей эффективности, а также стоимостных показателей, масштабов серийного производства и технологичности позволили выбрать в качестве реагента для кольматоза низконапорных земляных плотин техническую натрийкарбоксиметилцеллюлозу (Na-КМЦ). Техническая карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ, ГОСТ 5.588-70), представляет собой натриевую соль целлюлозногликолевой кислоты. Продукт получают обработкой щелочной целлюлозы монохлоруксусным натрием. Химическая формула – $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COONa)_x]_n$. Натрий-карбоксиметилцеллюлоза представляет собой мелкозернистый порошкообразный материал белого или кремового цвета (иногда выпускается в виде волокнистого продукта).

В результате проведённых исследований (лабораторных, объёмно-физического моделирования, математического моделирования, математического анализа, полупромышленных испытаний) разработана технология предохранения дражных полигонов от сезонного промерзания затоплением с использованием химических реагентов и полимерных плёнок [6].

Было установлено, что полотнища плёнки можно настилать на мокрый откос и понур, как вдоль продольной оси плотины, так и поперек неё. В предыдущих работах предлагается сваривать полотнища плёнки между собой, что само по себе является достаточно трудоёмкой операцией. Нами установлена возможность укладки полотнища плёнки без сварки. При этом плёнка укладывается в 2 слоя с перекрытием полотнищ на 20–30 см. Верхний слой экрана укладывается таким образом, чтобы продольная средняя линия полотнища проходила по шву нижней части экрана. Необходимым фактором является отсыпка предохранительного и защитного экранов из песчаных пород толщиной 0,1–0,2 м.

При создании экранов из химических реагентов рассматривалось два возможных варианта: обработка горных пород компонентами, находящимися в жидком состоянии (раствор КМЦ в воде) и в твёрдом (порошкообразном).

Возведение дамбы и проходку «зуба» до водоупора или на возможную глубину можно вести одновременно или поочередно, причём борт «зуба» со стороны плотины, который подлежит обработке химическим реагентом, должен иметь откос не более 1 : 3, 1 : 2, т. е. такой же, как и мокрый откос плотины. Работы по обработке поверхности плотины и «зуба» реагентом производятся до перекрытия «прорана» или запуска воды на полигон, если русло реки находится в стороне.

При обработке горных пород по первому варианту (растворами КМЦ) необходимо заранее создавать растворные узлы, насосную станцию для подачи раствора КМЦ на обрабатываемые поверхности. Часто сооружение плотины для предохранения пород от сезонного промерзания ведётся при отрицательных температурах воздуха (конец октября – начало ноября), поэтому для подогрева воды придётся предусматривать узел обогрева. Обработку пород растворами можно производить также при помощи поливочных машин. Реагент в этом случае засыпается в цистерну с водой и интенсивно перемешивается насосом. Автомобиль при работе перемещается по гребню плотины, либо вдоль её основания.

После обработки поверхности мокрого откоса плотины и «зуба» наблюдается перемещение раствора к основанию, вследствие чего концентрация реагента на поверхности пород очень неравномерная (повышается от вершины плотины к основанию).

Таким образом, вариант кольматажа горных пород жидкими реагентами имеет ряд существенных недостатков: сложность и трудоёмкость приготовления растворов и последующей обработки пород; неравномерность концентрации растворов КМЦ по поверхности плотины и «зуба», вследствие чего эффективность тампонажа снижается.

Порошковая технология кольматажа горных пород устраняет эти недостатки. Нанесение реагента возможно ручным и механизированным способами при помощи машин для разбрасывания удобрений, применяемых в сельском хозяйстве.

В бункер машины загружается из мешков 3500 кг порошка КМЦ. Машина транспортируется поперек плотины параллельными ходами бульдозером. Перекрытие смежного хода должно составлять не менее 50 см. Расход реагента можно регулировать. Нанесение реагента на поверхность при небольших масштабах работ (плотин длиной 200–300 м, высотой 4–6 м) можно производить вручную. После растаривания (извлечения из мешков) реагент измельчается лопатой, при помощи которой производится разбрасывание порошка равномерным слоем, толщина которого зависит от удельного расхода реагента. Таким образом, обрабатывается мокрый откос построенной плотины, борт траншеи «зуба» со стороны плотины. Нанесение порошкового реагента производится непосредственно на породы, из которых сложено тело плотины и её основание, или на предварительно отсыпанный защитный (предохранительный) слой из песчаных пород толщиной 0,1–0,2 м, если плотина и её основание представлены галечником диаметром более 5–10 см.

Желательно производить отсыпку земляного слоя толщиной 0,1–0,2 м из пород любых гранулометрического состава, роль которого состоит в том, чтобы предотвратить смещение

кольматажа к основанию плотины после затопления полигона, т. к. коэффициент сцепления реагента с породой после соприкосновения с водой резко снижается, а также предотвратить разрушение нанесённого слоя быстрым движением потока воды (3–5 м/с). Отсыпку защитного слоя можно заменить дождеванием реагента с расходом воды 3–5 л/м². В тех случаях, когда по какой-либо причине проходка «зуба» невозможна, целесообразно обработать приплотинную часть водоёма (понура) длиной не менее 25–50 м. Эффективность такого кольматажа несколько ниже, чем с проходкой «зуба», но во многих случаях является единственным возможным.

Трудоёмкость работ по нанесению предварительно заготовленной КМЦ незначительная и составляет: при длине плотины 200–300 м, высоте 5,0 м, длине обработанной приплотинной части 50 м 16–20 чел/смену при ручной обработке и 2–3 маш/смены при механической.

На основе ранее выполненных исследований и внедрения в производство установлено, что наиболее эффективными являются экраны плотин из полимерных плёнок и химического реагента натрий-карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ). В результате лабораторных исследований, объёмно-физического и математического моделирования, промышленных испытаний и внедрения установлено, что фильтрационный расход через тело и основание плотины зависит от глубины зуба, длины понура и удельного расхода реагента.

Разработаны технологические схемы предохранения пород от промерзания затоплением с использованием химического кольматажа и экранирования плотин полимерными плёнками:

- а) сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины;
- б) сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины и зуба, пройденного не на всю мощность рыхлых отложений;
- в) сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины и зуба, пройденного до плотика;
- г) сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса и понура;
- д) сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса понура и зуба, пройденного не на всю мощность рыхлых отложений.

В результате проведённых исследований установлены необходимые размеры зуба и понура для конкретных условий месторождений, а также нормы расхода реагента, которые изменяются в пределах 0,5–3,0 кг/м² в зависимости от гранулометрического состава пород.

При высокой водопроницаемости пород $K_f=50-100$ м/сут и более целесообразно применять комбинированную схему, т. е.: экранирование тела плотины, понура или «зуба» полиэтиленовой плёнкой с последующей химической кольматацией. После сооружения плотины и проходки укладываются полотнища плёнки, отсыпается защитный слой толщиной до 0,2 м и производится обработка химическим реагентом (расход не менее 2 кг/м²) обычным способом.

Таким образом, проведением сравнительно дешёвых и малотрудоёмких мероприятий можно качественно решить проблему предохранения пород дражных полигонов от промерзания затоплением. Тем самым обеспечить, при условии успешного проведения других работ (ремонт драги и др.), ранний пуск драги, высокопроизводительную работу в течение промывочного сезона, позднюю остановку в заранее намеченном и подготовленном месте. За счёт этого добиться значительного увеличения сезонной производительности и уменьшения удельных затрат на добычу 1 м³ горной массы или единицы металла.

Список литературы

1. Глебов В. Д., Лысенко В. П. Конструирование плёночных противофильтрационных элементов в плотинах и перемычках // Гидротехническое строительство. 1973. № 5. С. 33–35.

2. Гольдтман В. Г., Знаменский В. В., Чистопольский С. Д. Гидравлическое оттаивание мёрзлых горных пород. Магадан: Труды ВНИИ-1, 1970. Т. 3. 450 с.
3. Емельянов У. Г. Применение хлористого натрия для предохранения грунтов от замерзания // Подготовка мёрзлых грунтов для устройства фундаментов: сб. науч. тр. М.: Стройиздат, 1968.
4. Костовецкий В. П. Горное производство и // Тр. ГИГХС. М., 1981. Вып. 53.
5. Костромин М. В., Позлутко С. Г. Повышение эффективности разработки техногенных и природотехногенных россыпей // Горный журнал. 1996. № 9–10. С. 17–21.
6. Костромин М. В. Предохранение дражных полигонов от промерзания с использованием плотин // Недра Востока. 1993. С. 34–37.
7. Лешков В. Г. Теория и практика разработки россыпей многочерпаковыми драгами. М.: Недра, 1980. 352 с.
8. Наточинский В. И. Подготовительные работы при разработке россыпных месторождений. М.: Недра, 1975. 168 с.
9. Стафеев П. Ф. Глубокое рыхление дражных полигонов // Колыма. 1966. № 6.
10. Потемкин С. В. Оттайка мёрзлых пород. М.: Недра, 1991. 160 с.
11. Приймак А. И. Изучение применяемости пенопластов для предохранения грунтов от сезонного промерзания. Магадан: Труды ВНИИ-1, 1966. Т-25.
12. Пятаков В. Г. Научно-методическое обоснование интенсификации процессов дражных разработок многолетнемёрзлых россыпных месторождений неглубокого залегания: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1994. 39 с.
13. Пятаков В. Г., Левинский Б. В., Ведяев Ю. М. Совершенствование способа предохранения пород от сезонного промерзания пенными покрытиями // Разработка рудных и россыпных месторождений. Иркутск: Иргиредмет, 1973. С. 71–80.
14. Размораживание грунтов с применением раствора хлористого натрия / В. И. Буй [и др.] // Обогащение песка и размораживание грунтов. М.: Стройиздат, 1996.
15. Рашкин А. В., Шувалов Н. Г. Исследование тампонажных растворов на основе натрийкарбоксилцеллолозы // Колыма. 1971. № 1. С. 14–16.
16. Стафеев П. Ф. Драгирование забайкальских россыпей. Иркутск: Вост.-Сиб. изд-во, 1974. 12 с.
17. Стафеев П. Ф. О теплотехническом эффекте плёночных покровов при оттаивании мёрзлых пород // Колыма. 1970. № 70.
18. Трупак Н. Строительство земляных плотин на вечномёрзлых грунтах // Гидротехническое строительство. 1970. № 9. С. 8–11.
19. Шорохов С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1973. 795 с.
20. Эффективность применения плёночных покровов для оттаивания мёрзлых грунтов / Р. Н. Новосельский [и др.] // Колыма. 1969. № 6.
21. Hans J.B. Use of salt in clay core aids winter dam building // Engineering New-Record. 1953. No. 6.
22. Shuman Horst. Mabnahmen in Tegebauvorfeld und an den Baggerborschungen zur Verbesserung der Winterarbeit im Braunkohlenbergban // Neue Bergbautechnik. 1973. No. 11. P. 801–807.

Статья поступила в редакцию 05.06.2017; принята к публикации 17.06.2017

Библиографическое описание статьи

Панина Т. Ю., Костромин М. В. Геокриологические проблемы и их решения при разработке россыпных месторождений // Учёные 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.

Tatyana Yu. Panina,

*Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer,
Transbaikal Agrarian Institute*

A. A. Ezhevsky Irkutsk State Agrarian University

(4 Yubileynaya st., Chita, 672023, Russia),

e-mail: panirais@mail.ru

Mikhail V. Kostromin,

Doctor of Engineering Science, Professor,

Transbaikal State University

(30 Aleksandro-Zavodskaya st., Chita, 672039, Russia),

e-mail: kostrmv@yandex.ru

Geocryological Problems and Their Solutions in the Development of Placer Deposits

The work of dredges in the development of placer deposits depends on the presence of long-term deep permafrost. Therefore, thawing and preventing the rocks from freezing are important. The paper gives a critical analysis of the main current methods of thawing of frozen and preventing the freezing of thawed rocks of placer deposits. Their advantages and disadvantages are revealed. It has been established that the most effective way to protect dredging polygons from deep seasonal freezing is flooding with water provided that the required water level remains for a certain period of time (for the Transbaikalian conditions, the minimum period is 150 days). To significantly reduce the loss of filtration through the body and foundation of the dam, it is necessary to build anti-filtration screens of polymer films or chemical reagents – technical sodium carboxymethylcellulose (Na-CMC). As a result of the conducted studies (laboratory, volumetric-physical modeling, mathematical modeling, mathematical analysis, semi-industrial tests), a technology was developed for the protection of dredging polygons from seasonal freezing by flooding using chemical reagents and polymer films. Technological schemes for the protection of rocks from freezing by flooding with the use of chemical colmatage and shielding of dams by polymer films have been developed. As a result of the conducted studies, the necessary tooth and sink sizes for the specific conditions of the deposits, as well as the reagent consumption rates, have been established, which vary within the range of $0.5 - 3.0 \text{ kg/m}^2$ depending on the granulometric composition of the rocks. Thus, by carrying out comparatively cheap and low-labor-intensive measures, it is possible to solve the problem of protecting the rocks of dredging polygons from freezing by flooding. Thus, provided that other works are successfully carried out (repair of the dredge, etc.), early start-up of the dredge, high-performance work during the washing season, late stop at a pre-planned and prepared place can be done. Due to this, we can achieve a significant increase in seasonal productivity and a decrease in the unit cost of mining 1 m^3 of rock mass or a unit of metal.

Keywords: permafrost, seasonal permafrost, placer, sands, defrost, frost protection, filtration, anti-filtration screens, films, chemical reagents, tooth, draining

References

1. Glebov V. D., Lysenko V. P. Konstruirovaniye plenochnykh protivofil'tratsionnykh elementov v plotinakh i peremychkakh // *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 1973. № 5. С. 33–35.
2. Gol'dtman V. G., Znamenskii V. V., Chistopol'skii S. D. *Gidravlichesкое ottaivaniye merzlykh gornykh porod*. Magadan: Trudy VNII-1, 1970. T. 3. 450 s.
3. Emel'yanov U. G. *Primeneniye khlorigo natriya dlya predokhraneniya gruntov ot zamerzaniya* // *Podgotovka merzlykh gruntov dlya ustroystva fundamentov: sb. nauch. tr. M.: Stroiizdat*, 1968.
4. Kostovetskii V. P. *Gornoe proizvodstvo i* // *Tr. GIGKhS. M.*, 1981. Vyp. 53.
5. Kostromin M. V., Pozlutko S. G. *Povysheniye effektivnosti razrabotki tekhnogennykh i prirodnotekhnogennykh rossypei* // *Gornyi zhurnal*. 1996. № 9–10. S. 17–21.
6. Kostromin M. V. *Predokhraneniye drazhnykh poligonov ot promerzaniya s ispol'zovaniem plotin* // *Nedra Vostoka*. 1993. S. 34–37.
7. Leshkov V. G. *Teoriya i praktika razrabotki rossypei mnogocherpakovymi dragami*. M.: Nedra, 1980. 352 s.
8. Natotsinskii V. I. *Podgotovitel'nye raboty pri razrabotke rossypnykh mestorozhdenii*. M.: Nedra, 1975. 168 s.
9. Stafeev P. F. *Glubokoe rykhleniye drazhnykh poligonov* // *Kolyma*. 1966. № 6.
10. Potemkin S. V. *Ottaika merzlykh porod*. M.: Nedra, 1991. 160 s.
11. Priimak A. I. *Izuchenie primenyaemosti penoplastov dlya predokhraneniya gruntov ot sezonnogo promerzaniya*. Magadan: Trudy VNII-1, 1966. T-25.
12. Pyatakov V. G. *Nauchno-metodicheskoe obosnovaniye intensivifikatsii protsessov drazhnykh razrabotok mnogoletnemerzlykh rossypnykh mestorozhdenii neglubokogo zaleganiya: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.*, 1994. 39 s.
13. Pyatakov V. G., Levinskii B. V., Vedyayev Yu. M. *Sovershenstvovaniye sposoba predokhraneniya porod ot sezonnogo promerzaniya penistymi pokrytiyami* // *Razrabotka rudnykh i rossypnykh mestorozhdenii*. Irkutsk: Irgiredmet, 1973. S. 71–80.
14. *Razmorazhivaniye gruntov s primeneniem rastvora khlorigo natriya / V. I. Bui [i dr.]* // *Obogashcheniye peska i razmorazhivaniye gruntov*. M.: Stroiizdat, 1996.
15. Rashkin A. V., Shuvalov N. G. *Issledovaniye tamponazhnykh rastvorov na osnove natriikarboksiltellyulozy* // *Kolyma*. 1971. № 1. S. 14–16.
16. Stafeev P. F. *Dragirovaniye zabaikal'skikh rossypei*. Irkutsk: Vost.-Sib. izd-vo, 1974. 12 s.
17. Stafeev P.F. *O teplotekhnicheskome effekte plenochnykh pokrovov pri ottaivanii merzlykh porod* // *Kolyma*. 1970. № 70.
18. Trupak N. *Stroitel'stvo zemlyanykh plotin na vechnomerzlykh gruntakh* // *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 1970. № 9. S. 8–11.
19. Shorokhov S. M. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya razrabotki rossypnykh mestorozhdenii*. M.: Nedra, 1973. 795 s.
20. *Effektivnost' primeneniya plenochnykh pokrovov dlya ottaivaniya merzlykh gruntov / R. N. Novosel'skii [i dr.]* // *Kolyma*. 1969. № 6.
21. Hans J. B. *Use of salt in clay core aids winter dam building* // *Engineering New-Record*. 1953. No. 6.
22. Shuman Horst. *Mabnahmen in Tegebauvorfeld und an den Baggerborschungen zur Verbesserung der Winterarbeit im Braunkohlenbergban* // *Neue Bergbautechnik*. 1973. No. 11. P. 801–807.

Received: June 05, 2017; accepted for publication June 17, 2017

Reference to article

Kostromin M. V., Panina T. Yu. Geocryological Problems and Their Solutions in the Development of Placer Deposits // Scholarly Notes Of Transbaikal State University. Series Physics, Mathematics, Engineering, Technology. 2017. Vol. 12, No 4. No. 4. PP. 59–72. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72.