© С.А. Ермаков, А.С. Курилко, А.М. Бураков, М.В. Каймонов, Ю.А. Хохолов, 2008

УДК 627.8:622.876.12(571.56)

С.А. Ермаков, А.С. Курилко, А.М. Бураков, М.В. Каймонов, Ю.А. Хохолов

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫЕМОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Россыпные месторождения алмазов и благородных металлов, расположенные в районах Северо-Востока Российской Федерации, в значительной части представлены многолетнемерзлыми породами (ММП). Наиболее интенсивные изменения температуры, влажности и прочности пород наблюдаются в пределах деятельного слоя сезонных колебаний температуры.

Прочность мерзлых дисперсных горных пород на порядок выше их прочности в талом состоянии, поэтому существующие технологии разработки предусматривают предварительное разупрочнение пород различными способами оттайки (гидро-, паро-, электрооттайка) либо механическим или буровзрывным рыхлением.

По опыту разработки россыпных месторождений зоны многолетней мерзлоты, для максимального использования природных источников тепла необходимо до наступления теплого периода выполнить подготовительные работы, заключающиеся в снятии поверхностного почвенно-растительно-го слоя и удалении пустых пород (торфов). Для предохранения оттаявших пород от промерзания в зимний период наиболее часто применяется способ водно-тепловой мелиорации, заключающийся в затоплении участка перед наступлением холодов, с уборкой льда и воды в начале теплого периода. С этой целью на разрабатываемых месторождениях производится строительство гидротехнических сооружений (дамб, плотин), обеспечивающих накопление необходимых объемов воды и поддержание уровня водяного покрова.

При отработке долинных и террасовых месторождений осуществляется большой объем горно-подготовитель-ных работ, с выемкой вскрышных пород, их перевалкой, складированием в отвал для последующего обезвоживания, иногда в течение длительного периода (до 2-3 лет), и дальнейшего использования при строительстве дамб котлованов по стандартной технологии - укладка породы, укатка и т.д. Параллельно или последовательно со строительством горнотехнических сооружений проводится оттайка песков (часто с высокими энергозатратами).

Для повышения эффективности добычи полезных ископаемых необходимо разработать новые подходы рационального формирования выемочного пространства россыпных месторождений криолитозоны, заключающиеся в обосновании способов подготовки многолетнемерзлых песков к выемке и строительства горнотехнических сооружений, выборе оптимальных технологических параметров разработки.

С целью исследования влияния различных факторов на эффективность есте-

ственной оттайки с применением способа водно-тепловой мелиорации в ИГДС СО РАН разработана одномерная математическая модель теплообмена поверхностных слоев горного массива с атмосферным воздухом. Модель учитывает фазовые переходы поровой влаги в горных породах, интенсивность солнечной инсоляции, теплоты испарения влаги и лучистый теплообмен на поверхности, удаление или насыпку новых слоев породы; затопление участка (полигона) водой, изменение условий теплообмена в зависимости от толщины и плотности снежного покрова и т.д.

По разработанной программе проведены расчеты теплового режима массива многолетнемерзлых горных пород россыпного месторождения алмазов "Горное", расположенного в Якутии. Выполненными расчетами установлено, что пески месторождения, находящиеся в мёрзлом состоянии, в зависимости от содержания льда и времени удаления торфов успевают за один сезон протаять на глубину 2,5-3,5 м. При этом необходимым условием должно быть удаление торфов к началу теплого периода года (март, первая половина апреля). Для полного предохранения талых песков от сезонного промерзания глубина зимнего затопления полигона должна быть на 0,2-0,5 м больше максимальной толщины ледяного покрова, или для принятых расчётных условий не менее 2 м.

В целом, поверхностная тепловая мелиорация в комбинации с защитой талых песков от зимнего промерзания путем затопления поверхности предохраняемых участков обеспечивает к концу второго года (лета) подготовительных работ оттайку многолетнемерзлых грунтов россыпных месторождений на глубину не менее 4,5-5 метров. Это дает возможность применить для их разработки традиционное оборудование и способы (бульдозерный, бульдозерно-гидравлический, экскаваторный, дражный) без дополнительного рыхления.

Установленная величина оттайки многолетнемерзлых песков к концу второго года (лета) подготовительных работ в 4,5-5 метров находится в пределах мощности песков для большей части россыпных месторождений Северо-Востока РФ, что определяет широкую область применения данного способа.

Опыт строительства и эксплуатации грунтовых плотин в криолитозоне показывает, что противофильтрационные свойства плотин могут быть обеспечены путём формирования ледогрунтового ядра в теле плотины как за счет естественного промерзания грунтов, так и в результате искусственного промораживания.

Формирование в основании и теле плотины мерзлого противофильтрационного ядра возможно в зимний период методом послойного намораживания, что обеспечит благоприятный температурный режим в основании плотины и будет способствовать статической и фильтрационной устойчивости всего сооружения.

Для определения динамики формирования температурного поля льдопородного массива и основания плотины разработана математическая модель теплообмена атмосферного воздуха с возводимой льдопородной плотиной [1]. На основе разработанных программ проведены численные эксперименты по расчету послойного намораживания льдопородной плотины.

Получены зависимости времени промораживания одного слоя от температуры атмосферного воздуха, начальной температуры, влажности и толщины слоя. Установлено, что наиболее благоприятными месяцами для возведения плотины методом послойного намора-

живания в условиях Северо-Востока Якутии являются декабрь, январь и февраль.

Возведение грунтовых плотин (дамб дражных котлованов, илоотстойников и др.) из вскрышных пород месторождений путем зимней отсыпки мерзлого разрыхленного грунта рекомендуется по следующей технологии:

- снятие торфов и удаление продуктивных песков из основания плотины в сентябре-ноябре месяцах;
- проморозка основания плотины в течение месяца (октябрь-декабрь);
- возведение льдопородного ядра и тела плотины методом послойного намораживания в декабре-феврале месяцах. Толщина отсыпаемого слоя 0,3÷0,6 м. Слой выравнивается и уплотняется. По центру плотины на ширину льдопородного ядра производится пролив слоя водой из расчета 250÷350 л/м^3. Слой промораживается до температуры –5 °С. Затем отсыпается следующий слой. Процедура повторяется до возведения плотины на проектную высоту. Для месторождений криолитозоны, как показали расчеты, методом послойного намораживания за один сезон можно возвести плотину высотой до 14 м.

Применение данной технологии позволит существенно уменьшить геометрические размеры дамб и объемы по перевалке песков, что улучшит технико-экономические показатели, снизит экологическую нагрузку на ок-ружающую среду за счет снижения выбросов в атмосферу и сокращения площади нарушенных земель.

В условиях использования плотин талого типа возможен дополнительный фильтрационный расход через тело плотины (исключенный при "мерзлом" способе строительства). Разработана программа и проведены численные эксперименты по расчету теплового режима грунтовой плотины и ее основания для дражных котлованов на примере месторождения "Горное" [2] .

Расчетами установлено, что статическая и фильтрационная устойчивость плотины мерзлого типа в течение длительного периода времени позволяет эффективно проводить мероприятия по водно-тепловой мелиорации песков россыпных месторождений.

Расчетная оценка общей устойчивости земляных плотин с мерзлым ядром, выполненная по приближенной схеме плоского сдвига, показала, что по условиям фильтрационной прочности дамбы должны устраиваться с врезкой зуба в коренные породы. По расчетам, необходимая ширина основания мерзлой завесы составит 10 м. Минимальная ширина по верху определяется по технологическим возможностям оборудования и составляет 3 м.

При постоянном или цикличном заполнении котлованов водой и дальнейшей эксплуатации дамб в условиях воздействия годового хода температур, возможно оттаивание поверхностного слоя и его оплывание, что определяет необходимость пригружать откосы гравийной призмой треугольного сечения. Для дамб высотой до 12 м, величина пригрузки составляет 2,7 м; для дамб высотой до 10–1,8 м; для дамб высотой до 8–1,5 м.

Для горнотехнических условий месторождения "Горное" определены расчётные параметры для нескольких вариантов с различными высотами и соответственно объемами дамб, сооружаемых по "талому" и "мёрзлому" способам.

Количество оборудования по способам строительства водоподпорных дамб

Высота дамб, м	Погрузка				Перевозка			
	мерзлый		талый		мерзлый		талый	
	ед.	дни	ед.	дни	ед.	дни	ед.	дни
4,5	1	24	1	47	2	49	2	140
5,5	1	36	1	71	2	74	3	140
7	1	53	1	107	3	74	5	126
8	1	65	1	130	3	90	6	128
9	1	77	1	154	4	80	6	151
10	1	89	2	89	5	74	7	150
11	2	50	2	101	5	84	8	148
12	2	56	2	113	6	78	9	147

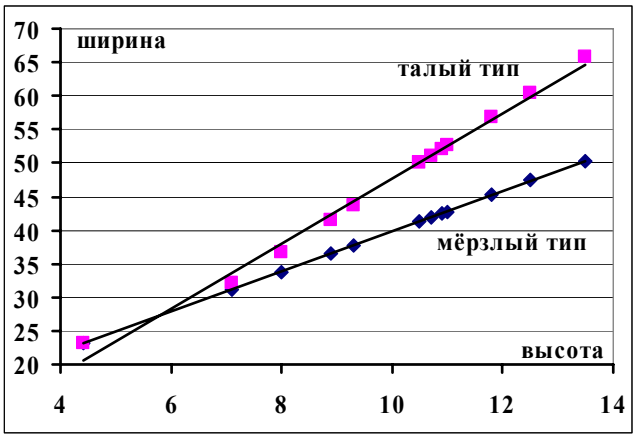

Рис. 1. Ширина основания дамб талого и мёрзлого типов

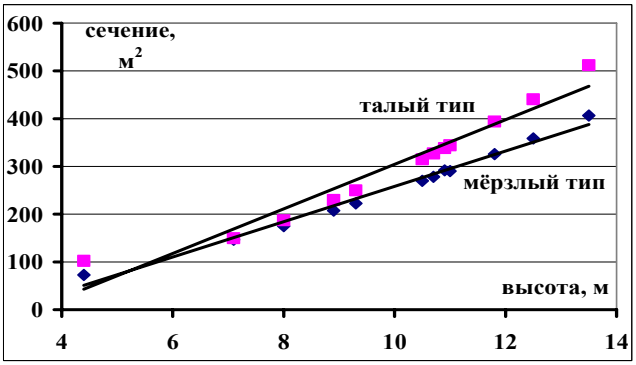

Рис. 2. Сечение дамб (м^2) в зависимости от высоты

При сооружении дамб "мерзлого" типа, за счёт увеличения углов боковых откосов, происходит уменьшение ширины основания и сечения на 10-25 % в зависимости от высоты дамб (рис. 1-2). При сооружении дамб мёрзлого типа объёмы вскрышных пород и подготавливаемых песков, вынимаемых из-под дамб, уменьшаются на 10-15 %.

Выполнены расчеты необходимого количества оборудования, исходя из равных объёмов вскрышных пород и песков в случае строительства плотин по талому и мерзлому способам. Расчет показал, что при строительстве мерзлых плотин количество оборудования и сроки строительства значительно сокращаются (таблица). Основным фактором, определяющим разницу в количестве оборудования, является необходимость "двойной перевозки" и переработки объемов вскрышных пород при "талом" способе строительства.

Установлено существен-

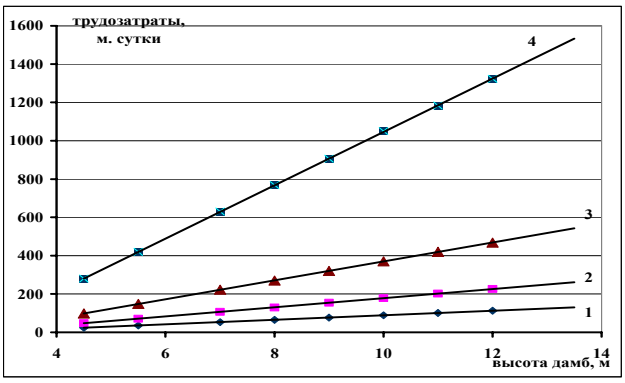

Рис. 3. Изменение трудозатрат при рекомендуемых параметрах строительства гидротехнических сооружений: 1,2 - трудозатраты на погрузочные работы при "мерзлом" и "талом" способах строительства; 3,4 - трудозатраты на транспортные работы при "мерзлом" и "талом" способах строительства

ное снижение трудозатрат (в машино-сменах), в 2-3 раза, при рекомендуемых параметрах строительства плотин (рис. 3). Основной причиной повышенных трудозатрат также является необходимость вывоза вскрышных пород на обезвоживание и последующего их возврата при "талом" способе строительства дамб.

На основании приведенных расчетов выполнена экологическая оценка горно-подготовительных работ по формированию выемочного пространства россыпных месторождений криолиотозоны.

Экологическая нагрузка на окружающую среду при традиционных способах разработки россыпных месторождений в основном складывается из выбросов пыли и газов при работе горно-транспортного оборудования, а также при буровзрывном рыхлении пород.

Выполнение меньших объёмов горных и транспортных работ при использовании водно-тепловой мелиорации подготовки мерзлых песков и метода послойного намораживания при строительстве дамб мёрзлого типа влечёт за собой соответствующее снижение объёмов пылевых и газовых выбросов.

Так, применение водно-тепло-вой мелиорации для оттайки песков позволяет отказаться от буровзрывных работ, связанных с пылевыделением при бурении скважин и выбросами газов при массовых взрывах.

Проведён сравнительный расчет удельных (на 1000 м^3) объемов выбросов при бульдозерной разработке мерзлых песков с механическим рыхлением в сравнении с их разработкой после подготовки способом водно-тепловой мелиорации, который показал, что удельные объемы выбросов при подготовке песков в целом сокращаются вдвое, с 0,034 до 0,017 т/год на 1000 м^3 песков.

Значительная часть вредных выбросов при проведении горных работ на россыпных месторождениях приходится на транспортировку горной массы. При строительстве дамб "мёрзлого" типа значительная часть мёрзлых вскрышных пород направ-ляется непосредственно на отсыпку сооружений. Это сокращает рас-стояние транспортирования и соот-ветственно объемы выбросов в 2-2,5 раза.

В совокупности, применение рекомендуемых параметров строительства водоподпорных дамб "мерзлого" типа по отношению к "талым", с учетом всего комплекса горных работ, снижает пылевые и газовые выбросы по взвешенным веществам и пыли неорганической в 5 раз, по диоксиду азота в 2 раза. В целом, в зависимости от параметров дамб, достигается снижение объемов выбросов в 2-3 раза (рис. 4).

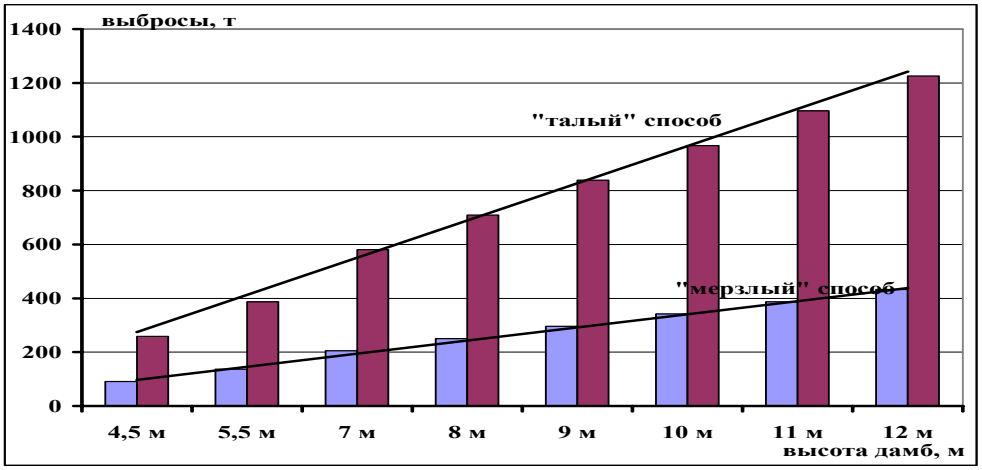

Рис. 4. Объемы выбросов в зависимости от способа строительства дамб

Одним из важных факторов при разработке месторождений является нарушение и задействование земельных площадей (землеемкость). По удельному показателю (на 100 м длины дамб) площадь, занимаемая под внешние отвалы вывозимых вскрышных пород для обезвоживания и последующего возврата в тело дамб, в случае строительства по "талому" типу, при увеличении высоты дамбы с 5 до 10 м и мощности вскрышных пород до 5 м, увеличивается с 0,11 га до 0,23 га. При строительстве водоподпорных дамб "мерзлого" типа площадь, занимаемая под внешние временные отвалы вскрышных пород, снижается до минимума (практически исключается).

Выводы

1. Предложены научно обоснованные подходы рационального формирования выемочного пространства россыпных месторождений криолитозоны, заключающиеся в использовании способа водно-тепловой мелиорации для подготовки к выемке многолетнемерзлых пород на глубину до 4,5-5 м и применении способа послойного намораживания для строительства гидротехнических сооружений с повышенными противофильтрационными и прочностными характеристиками.

2. Показано, что совместное применение способа водно-тепловой мелиорации и строительства плотин "мёрзлого" типа при эксплуатации россыпных месторождений в условиях криолитозоны обеспечивает ряд преимуществ. К ним относится существенное (на 10-15%) снижение объёмов выполняемых работ, отказ от применения буровзрывного рыхления песков, уменьшение землеёмкости, снижение в 2-3 раза трудозатрат на выполнение выемочно-погрузочных и транспортных работ и также в 2-3 раза снижение выбросов вредных веществ.

3. Предлагаемый способ подготовки к выемке горных пород зоны многолетней мёрзлоты позволяет вовлечь в разработку месторождения с пониженным содержанием полезного ископаемого за счёт применения более экономичных и эффективных спосо-бов добычи.

4. Реализация результатов выполненных исследований позволит существенно улучшить технико-экономические показатели разработки рос-

сыпных месторождений криолитозоны, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения выбросов в атмосферу и сокращения площади нарушенных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бураков А.М., Ермаков С.А., Каймонов М.В., Курилко А.С., Хохолов Ю.А.* Тепловой режим грунтовых плотин дражных полигонов в условиях россыпного месторождения криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение "Физика горных пород". – 2006. – С. 228-235.

2. *Бураков А.М., Ермаков С.А., Каймонов М.В., Курилко А.С., Хохолов Ю.А.* Технологические особенности строительства грунтовых плотин дражных полигонов в условиях россыпного месторождения криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006.- № 8. - С. 271-276. ГИАБ

Коротко об авторах

Ермаков С.А. – кандидат технических наук, зав. лабораторией открытых горных работ,
Курилко А.С. – доктор технических наук, зав. лабораторией горной теплофизики,
Бураков А.М. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник,
Хохолов Ю.А. – доктор технических наук, вед. научный сотрудник,
Каймонов М.В. – мл. научный сотрудник,

ИГДС СО РАН.

Статья представлена Институтом горного дела Севера Сибирского отделения РАН

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Емешев В.Г., М.С. Паровинчак* Сборник публикаций к 5-летию ТомГДК. 2001-2005 гг. (655/10-08 — 16.07.08) 246 с.