

А.А. Буйских
ОЦЕНКА ОТЕПЛЯЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА
НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
ОСНОВАНИЯ

В статье представлены результаты численного моделирования динамики теплового поля массива горных пород, лежащих в основании хвостохранилища. Расчеты показали, что многоэтапный и многолетний режим заполнения хранилища отходами в климатических условиях Магаданской области существенно влияет на распределение температуры в многолетнемёрзлых горных породах до глубин 30-50 м. Эти результаты будут учтены в проекте разработки рудного месторождения, залегающего под основанием хвостохранилища

Ключевые слова: хвостохранилище, численное моделирование, термическое состояние, режим заполнения, температура основания, растепление мерзлых пород

А.А. Buiskih
EVALUATION OF TAILINGS POND DEFROSTING
ON THERMAL CONDITION OF ROCK FOUNDATION

The results of numerical modeling of temperature field dynamics in tailings pond foundation are presented in the article. The calculations showed that multistage and long-term regime of filling tailings pond with wastes under the climatic conditions of Magadan region influences significantly temperature distribution in permafrost up to 30-50 meters deep. These results will be taken into account while ore deposits exploitation found under the tailings pond foundation

Key words: tailings pond, numerical modeling, thermal condition, filling regime, foundation temperature, permafrost defrosting

ВВЕДЕНИЕ

Одним из элементов горного производства при разработке рудных месторождений являются хвостохранилища. На территории Магаданской области существует несколько комплексов подобного рода. Часть из них уже законсервирована, часть продолжает заполняться. В ряде случаев возникают ситуации, когда в силу горно-геологических условий приходится располагать хвосты над местом залегания рудного месторождения. Его дальнейшая разработка будет возможна подземным способом. Однако при этом может возникнуть следующая проблема. В условиях Северо-Востока активно эксплуатируется такой природный фактор, как мерзлое состояние горных пород. В частности, в проектах учитывается, что плотины и дамбы должны быть заморожены. Технологии складирования хвостов предусматривают постепенное понижение их температур и ограждающих горно-технических сооружений до отрицательных значений. Хвосты в своем составе имеют цианиды и иные токсичные вещества. В случае растепления подстилающих горных пород вредные компоненты могут проникнуть в их толщи или быть вынесены фильтрационными потоками в открытые водо-

токи. Нарушаются и прочностные характеристики массива горных пород в местах проведения подземных работ под основаниями хвостохранилищ. Поэтому важно оценить динамику термического состояния всей системы: постепенно накапливающихся хвостов, ограждающей дамбы, подстилающих горных пород в конкретных природно-климатических условиях Северо-Востока.

Целью настоящей работы было проведение методами математического моделирования прогнозных расчетов динамики термического состояния многолетнемерзлых горных пород под основанием хвостохранилища за 50-летний период его существования. Эти результаты в дальнейшем будут использованы в проекте разработки рудного месторождения, располагающегося под хвостохранилищем.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В проекте создания хвостохранилища предусматривается следующий режим его заполнения. На интервале в 18 лет ежегодно емкость хвостохранилища должна залпово заполняться отходами. Возникающий над поверхностью твердой фракции отходов слой воды толщиной от трех до шести метров не удаляется. Такой слой воды за холодный период года не успеет промёрзнуть. Это обеспечит талое состояние поверхности отходов. При консервации хвостохранилища в конце срока его эксплуатации поверхность хвостов будет покрыта слоем почвы. Это предохранит распространение вредных веществ в природной среде. Постепенно сформировавшийся растительный покров будет играть роль дополнительного теплоизолятора, способствуя сохранению массива отходов в мерзлом состоянии [1].

Вытянутость и определенная симметричность всего горно-технического объекта (дамбы, массивов отходов и горных пород основания) поперек долины горного ручья позволяет без существенных погрешностей в качестве области моделирования выбрать двухмерное вертикальное сечение, ориентированное вдоль этой долины. Разработанная численная модель учитывает изменения размеров тела дамбы в первые два года строительства хвостохранилища, изменение температуры дневной поверхности в зависимости от месяца года, изменение температуры поверхности твердой фазы хвостов в зависимости от температуры воды, покрывающей их, динамику уровня хвостов в зависимости от графика заполнения хвостохранилища, неоднородность теплофизических характеристик всего горно-технического объекта.

Исходные климатические данные, характеристики снежного покрова соответствуют среднемесячным и среднегодовым их значениям для центральных районов Колымы [2, 3].

Ограждающая дамба должна быть возведена в три этапа. В модели принимается, что на очередном этапе новая часть дамбы появляется мгновенно. На первом этапе пионерная часть дамбы возводится до отметки 495 м 1 октября первого года создания хвостохранилища. Вторая очередь дамбы возводится до отметки 500 м 1 января второго года, т.е. через три месяца после первой. Третья, последняя очередь дамбы возводится до отметки 505 м 1 октября третьего года. Начальная температура тела пионерной дамбы принята равной $-5,3^{\circ}\text{C}$ (до момента начала заполнения хвостами она промерзает), второй части дабы $+0,4^{\circ}\text{C}$, третьей части $+3,5^{\circ}\text{C}$.

Заполнение хранилища отходами и водой начинается на третий год и длится 18 лет. В модели принято, что это заполнение происходит мгновенно каждый год 30 ноября. На протяжении всего периода эксплуатации хвостохранилища разница в уровнях воды и отходов постепенно меняется от 6 до 3 м. Температура поверхности отходов (выступает как краевое условие в численной модели) изменяется ежемесячно летом: от $+1$ до $+12^{\circ}\text{C}$, зимой под слоем льда принимается равной $+2,2^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в теплый период года меняется от $+2$ до $+16^{\circ}\text{C}$, в зимний период – от -2 до -30°C . Переменные свойства снежного покрова учитываются в термосопротивлении, используемом в третьем краевом условии.

Начальное распределение температуры в толще горных пород основания задавалось таким: до глубины 12 м температура постепенно понижается до минус $6,4^{\circ}\text{C}$, затем растет с глубиной в соответствии с геотермическим градиентом, равным $0,018^{\circ}\text{C}/\text{м}$.

В основании хвостохранилища залегают делювий, андезиты, туфы, кварц-гидрослюдистые и кварцевые породы.

Математическое моделирование динамики температурных полей в теле плотины, твердой фазе хвостов, толще горных пород под ложем хвостохранилища осуществлялось на основе решения двумерного дифференциального уравнения теплопроводности [4, 5]. В силу неоднородных свойств области моделирования, её слоистого строения теплоемкость, коэффициент теплопроводности и льдистость задавались кусочно-постоянными. На разных участках внешней границы задавались краевые условия смешанного типа: на боковых границах – нулевой теплообмен с внешней средой, на разных участках дневной поверхности грунтов, поверхности дамбы и хвостов – третье краевое условие. В нём учитывалось наличие в зимний период снежного покрова с переменными свойствами, помесечное изменение температуры поверхности в теплое время года.

Для решения задачи использован метод конечных разностей [5]. Расчетная область содержала 90×200 узлов, шаг разностной сетки по вертикали составлял 1,5 м, по горизонтали – 2,5 м, шаг по времени – 10 часов. При организации прогонок использовалась схема переменных направле-

ний. Расчетная зона под плотиной равнялась 90 м от дневной поверхности грунта. Динамика температурного поля определялась на временном интервале в 50 лет. Результаты расчетов, соответствующие разным этапам создания и существования хвостохранилища, приведены на рис. 1-3. Пунктирной линией на них обозначено положение нулевой изотермы – фазовой границы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 1 представлено распределение температуры в системе хвостохранилище-основание 30 сентября восьмого года эксплуатации хвостохранилища. К этому моменту мощность слоя хвостов достигает 17 м, на дневной поверхности дамбы и окружающих горных пород среднемесячная температура $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура воды на поверхности хвостов $+6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отрицательная начальная температура пионерной дамбы и основательная ее проморозка в первый год, когда хвосты отсутствовали, обеспечили к данному моменту сохранение её мерзлого состояния, несмотря на увеличивающийся в объеме источник тепла слева и слабый источник тепла в виде второй очереди ограждающей дамбы справа. Зимний холод привел к формированию мёрзлого состояния пород на глубине 2-3 м от поверхности нижнего откоса третьей очереди дамбы. Фазовая граница смещается на глубину 2-4 м под хвостами. В центральной части дамбы сохраняется талое ядро. В левой части расчетной области ещё существуют зоны с температурой около $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. На большой глубине температура естественного состояния многолетнемерзлых коренных горных пород постепенно повышается под воздействием тепла недр и хвостов. Ближе к дневной поверхности низкие температуры формируются периодическим процессом проникновения сюда холода в зимний период.

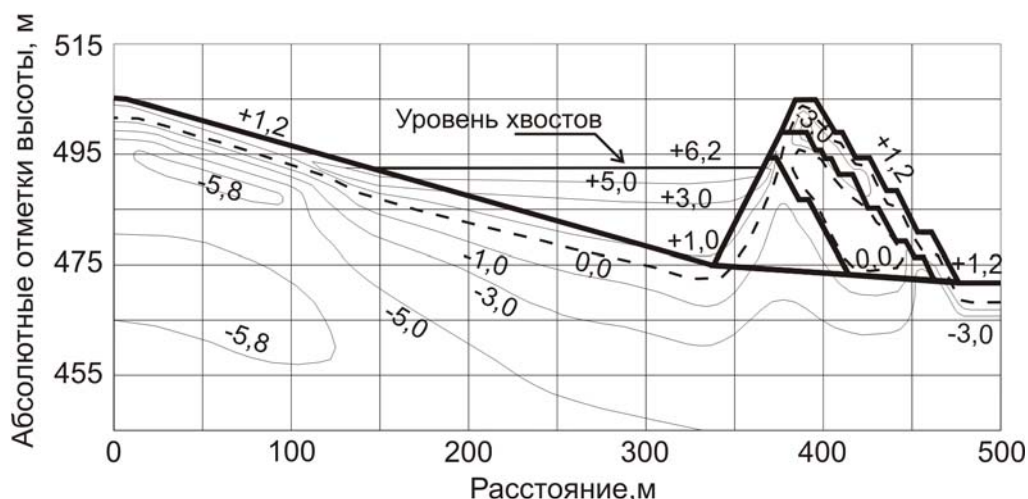


Рис. 1. Температурное поле в теле дамбы, хвостах и основании 30 сентября 8-го года эксплуатации хвостохранилища

Через 18 лет прекращается заполнение хвостохранилища. Вода с поверхности хвостов удаляется. На отвердевшие хвосты наносится слой грунта и почвы. С этого времени только сезонные изменения температуры воздуха и тепло недр Земли формируют термический режим всей рассматриваемой системы. Расчеты показывают, что к этому моменту достигается максимальная глубина оттаивания коренных пород в пределах основания хвостохранилища. Она составляет около восьми метров. Это происходит в районе левого края хвостохранилища, там, где складываются потоки тепла летнего с поверхности, тепла от воды и хвостов в зимнее время при небольшой мощности последних (рис. 2). За счет тепляющего действия накопленной массы хвостов в большей части ограждающей дамбы в летний период температуры не опускаются ниже $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Продолжает поддерживать эти достаточно высокие температуры и остаток запаса тепла в центре дамбы. За счет потока тепла со стороны хвостов одна треть объема пионерной дамбы пришла в талое состояние. Теперь хвосты в основной своей массе будут остывать, нулевая изотерма под основанием хвостов будет постепенно перемещаться вверх. Однако температура коренных пород ниже фазовой границы будет продолжать подниматься.

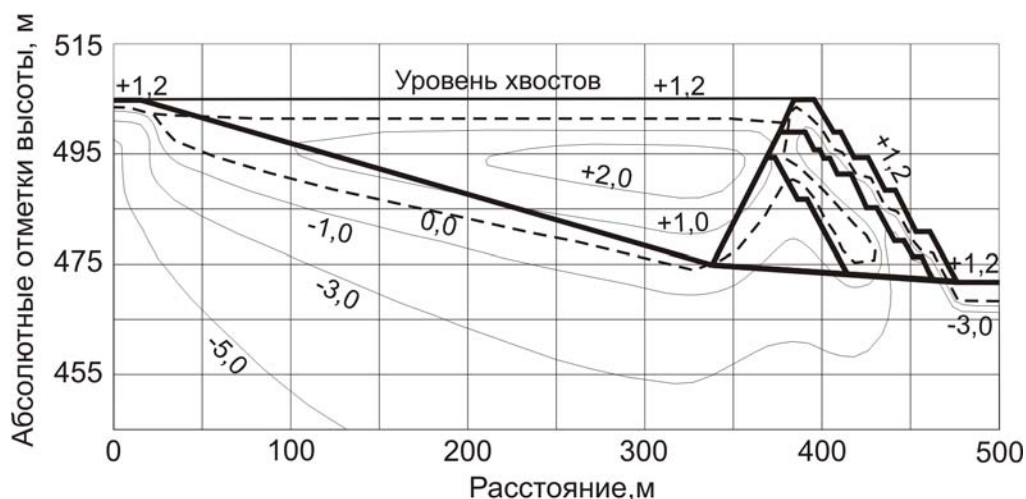


Рис. 2. Температурное поле в теле дамбы, хвостах и основании
30 сентября 18-го года эксплуатации хвостохранилища

На рис. 3 представлено распределение температуры в хвостохранилище через 50 лет его существования. К этому времени дамба оказывается замороженной до температуры $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. За счет слабых температурных градиентов со стороны дневной поверхности и недр продолжает сохраняться талая зона в центральной части хвостов. Под ней изотерма $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ опустилась до глубин 50 м от нижней границы хвостов. Область коренных пород, к которой горное предприятие испытывает определенный интерес, прогрелось до температур $-2 - -3\text{ }^{\circ}\text{C}$. В северных условиях при проведении под-

земных горных работ для обеспечения устойчивости кровли и бортов горных выработок требуется постоянно поддерживать их в мерзлом состоянии. Растепление окружающего массива коренных пород до отмеченных температур потребует определенного внимания к технологиям отработки месторождения.

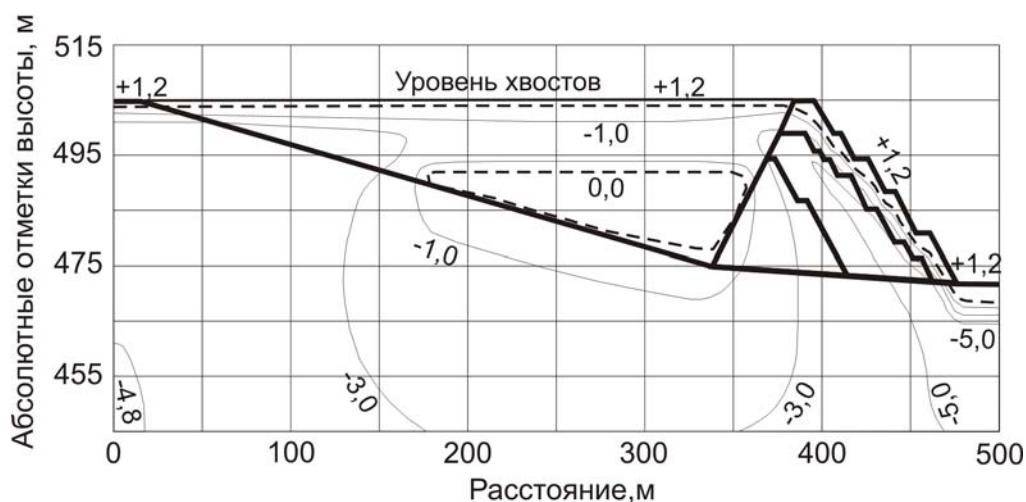


Рис. 3. Температурное поле в теле дамбы, хвостах и основании через 50 лет существования хвостохранилища

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты показали, что при сочетании многоэтапного режима заполнения хвостохранилища отходами, выполняющегося при положительной температуре последних, с ритмическими природными процессами происходит постепенное длительное, пусть и не кардинальное, растепление подстилающих горных пород. Определенную роль источников холода, тормозящих этот процесс, играют области, окружающие хвостохранилище. Чем короче хвостохранилище, тем существеннее это воздействие. В скорости промерзания тела ограждающей дамбы определяющую роль играет начальная температура отсыпаемого грунта. Даже его слабая положительная температура приводит к тому, что дамба некоторое время играет роль дополнительного рассредоточенного источника тепла, воздействующего на основание хвостохранилища. Изменение поля температуры массива горных пород на глубине 30-50 м под основанием хвостохранилища от -6°C (естественное состояние многолетнемерзлых пород в данных условиях) до $-2 - -3^{\circ}\text{C}$ потребует выбора соответствующей технологии отработки золоторудного месторождения, залегающего на этих глубинах.

Литература

1. Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов. – Новосибирск:: Наука, 1979. – 284 с.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 33: Магаданская область. Чукотский автономный округ Магаданской области. – Л: Гидрометеиздат, 1990. – 565 с.
3. Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне. Справочное пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 146 с.
4. Общее мерзотоведение. – М: Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М: Наука, 1977. – 654 с.