

МЕРЗЛОТНЫЙ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ БАРЬЕР В ОСНОВАНИИ НАКОПИТЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Симакова М.А

Научный руководитель – профессор Кузнецов Г.И.

Сибирский федеральный университет

Вечномерзлые грунты распространены на 65% территории России. На ней располагаются богатейшие месторождения различных полезных ископаемых, разработка которых сопровождается строительством предприятий, городов, дорог, созданием водохранилищ, золоотвалов, шламохранилищ и т.д.

Важной проблемой в условиях Крайнего Севера является строительство и эксплуатация накопителей различных отходов. В результате теплового воздействия накопителей может произойти оттаивание их оснований, разрушение сооружений, вытекание промышленных стоков, инфильтрация жидкой фазы отходов через оттаявшее основание и как следствие загрязнение подмерзлотных подземных вод. Отрицательная температура является основным фактором, определяющим прочностные и водонепроницаемые свойства мерзлых грунтов. Оттаивание мерзлых грунтов и горных пород сопровождается такими явлениями, как просадка, термокарст, термообразия и т.д. Кроме того, крупноскелетные и тонкодисперстные грунты при оттаивании увеличивают свою фильтрационную способность. Если чаша оттаивания мерзлого массива под накопителем доходит до трещиноватых горных пород, то происходит их оттаивание и заполнение трещин отходами (хвостами, золой) и фильтрация промышленных стоков по талику. Это приводит к нарушению безопасной эксплуатации накопителей и загрязнению окружающей среды.

Нами разработан метод управления глубиной оттаивания мерзлого массива под постоянно действующим источником тепла, каким является любой накопитель с гидротранспортной системой удаления отходов любого производства. Предлагается разделить одну глубокую чашу оттаивания на несколько малых с помощью разделительных дамб, образующих холодные пояса, ограничивающие глубину оттаивания. Эти пояса образуются при работе системы жидкостных термосифонов. За период эксплуатации глубина локальных чаш оттаивания не должна выходить за пределы верхнего слоя основания, в талом состоянии слабопроницаемого, а в мерзлом - водонепроницаемого. Тем самым в основании накопителя создается мерзлотный противофильтрационный барьер.

Для оценки эффективности данного метода выполнен анализ предельного оттаивания основания хвостохранилища Ирокиндинской обогатительной фабрики, респ. Бурятия.

Для построения плоского стационарного температурного поля под накопителем на вечномерзлом основании без учета мерзлотного барьера использована следующая формула [1]:

$$t(x, y) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\lambda_T}{\lambda_M} t_o - t_z \right) \left(\arctg \frac{\frac{B}{2} - x}{y} + \arctg \frac{\frac{B}{2} + x}{y} \right) + t_z + G_y, \quad (1)$$

где $t(x, y)$ - температура грунта в любой точке с координатами x и y , °C; t_0 - среднегодовая температура отходов, °C; t_2 - среднегодовая температура грунта, °C; G_y - геотермический градиент, °C/м; B - ширина накопителя, м; λ_T и λ_M - теплопроводность талого и мерзлого грунтов, ккал/м·ч·°C.

Для расчета чаши оттаивания в мерзлом массиве, подвергающегося воздействию группы тепловых штампов (в нашем случае – отстойных прудов хвостохранилища), отделенных друг от друга мерзлотным барьером использована формула, приведенная в [2]:

$$t(x, y) = \frac{1}{\pi} \sum_I^n \frac{\lambda_T}{\lambda_M} (t_n - t_2) \operatorname{arctg} \frac{\frac{B_n}{2} - x + l_n}{y + F_n \lambda_T} + \operatorname{arctg} \frac{\frac{B_n}{2} + x - l_n}{y + F_n \lambda_T} + t_2 + G_y, \quad (2)$$

где \sum_I^n - сумма факторов, определяемых взаимодействующим тепловым штампом (от первого до n -го); $t(x, y)$ - температура грунта в любой точке с координатами x и y , если центр координат поместить в центр крайнего штампа, °C; t_n - температура каждого штампа, °C; F_n - термическое сопротивление слоя отходов на дне штампа, м²/°C·ч/ккал; B_n - ширина каждого штампа, м; l_n - расстояние от начала координат до центра каждого штампа, м.

Стационарное температурное поле в основании накопителя, по периметру которого устроен барьер, рассчитывается по формуле, приведенной в [3]

$$t(x, y) = t_i f_1(\bar{o}, \acute{o}) + t_e f_2(\bar{o}, \acute{o}) + t_a [1 - f_1(\bar{o}, \acute{o}) - f_2(\bar{o}, \acute{o})], \quad (3)$$

где $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ - координатные функции, определяемые по формулам 4 и 5.

$$f_1(x, y) = \frac{1}{\pi} \left\{ \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin(k \cdot b/2) + \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] + \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin(k \cdot b/2) - \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] \right\}$$

$$f_2(x, y) = \frac{1}{\pi} \left\{ \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin(k \cdot b/2) + \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] + \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin(k \cdot b/2) - \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] - \right.$$

$$\left. - \operatorname{arctg} \left[\frac{1 - \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] - \operatorname{arctg} \left[\frac{1 + \sin(k \cdot x) \cdot \operatorname{ch}(k \cdot y)}{\cos(k \cdot x) \cdot \operatorname{sh}(k \cdot y)} \right] \right\}$$

где $k = \frac{\pi}{2 \cdot R_c}$; t_k - температура мерзлотной колонки, °C.

b – ширина секции, м; R_c – расстояние от середины секции до охлаждающего контура, м

Среднемесячные значения температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности воздуха для Ирокиндинского района приведены в таблице 1. Температура грунтов ниже 12 ÷ 14 м составляет -4,4 ÷ -5,8 °C. Основание хвостохранилища представлено льдистым суглинком и трещиноватыми скальными породами, трещины которых частично заполнены льдом. Расчетные теплофизические характеристики грунтов представлены в таблице 2. Среднегодовая температура хвостов на дне накопителя равна 6,7 °C.

Графическая интерпретация результатов расчета представлена на рисунке 1.

Устройство предлагаемого противофильтрационного барьера позволяет уменьшить глубину чаши оттаивания от 16 м до 5 ÷ 8 м путем разделения ее на две

локальные чаши. Дополнительное ограничение глубины оттаивания достигается также в процессе намыва слоя складированных отходов, замедляющих оттаивание мерзлого слоя. Для более эффективного замедления процесса оттаивания основания в начальный период эксплуатации накопителя отсыпается «буферный» грунтовый массив и предварительно, до начала намыва отходов промораживается.

Совокупность данных методов обеспечивает экологическую безопасность и устойчивость накопителя за счет сохранения водонепроницаемого мерзлого основания в качестве противодиффузионного экрана.

Таблица 1 – Среднемесячные значения температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности воздуха

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °С	-29,2	-23,9	-14,9	-3,8	2,2	11,4	15,0	11,8	3,5	-4,4	-19,2	-28,8
Скорость ветра, м/с	2,3	2,4	2,3	3,0	2,9	1,9	1,6	1,7	2,1	2,2	2,6	2,0

Таблица 2 – Расчетные теплофизические характеристики грунтов

Наименование грунта	Плотность, кг/м		Влажность, ед W	Теплопроводность, ккал/м·ч·°С		Теплоемкость, ккал/м ³ ·°С	
	общая ρ	скелета ρ _d		λ _м	λ _т	С _м	С _т
Суглинок льдонасыщенный	1680	1210	0,39	1,65	1,55	505	740
Трещиноватые скальные породы	1920	1720	0,11	1,40	1,25	430	515

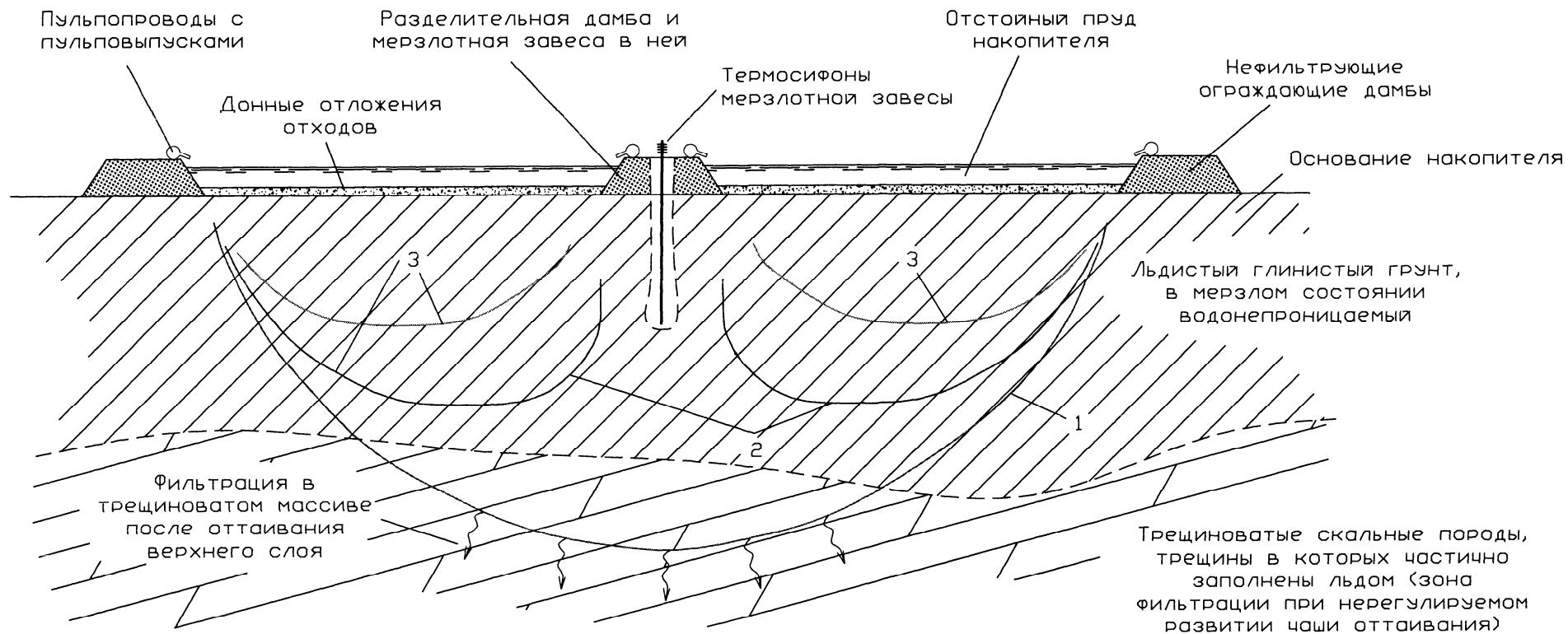


Рисунок 1 – Схема формирования чаш оттаивания под накопителем отходов на двухслойном мерзлом основании при значительной водопроницаемости нижнего слоя

- 1 – контур чаши оттаивания под накопителем без учета мерзлотного барьера, рассчитанная по формуле 1;
- 2, 3 – контуры чаш оттаивания с учетом мерзлотного барьером, рассчитанные по формулам 2 и 3.