

УДК 622.02

**А.В. Дугарцыренов, Е.Л. Бельченко**

**ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОМЕРЗАНИЯ  
В СКЛАДАХ-ОТВАЛАХ ТАЛЫХ СВЯЗНЫХ ПОРОД  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ**

Увеличить длительность промывочного сезона при разработке золотоносных аллювиальных пород возможно при создании теплоизолированных складов-отвалов этих пород в талом состоянии в конце предшествующего промывочного сезона с тем расчетом, чтобы начать их промывку в последующем промывочном сезоне сразу же с наступлением положительных температур и появлением талой воды.

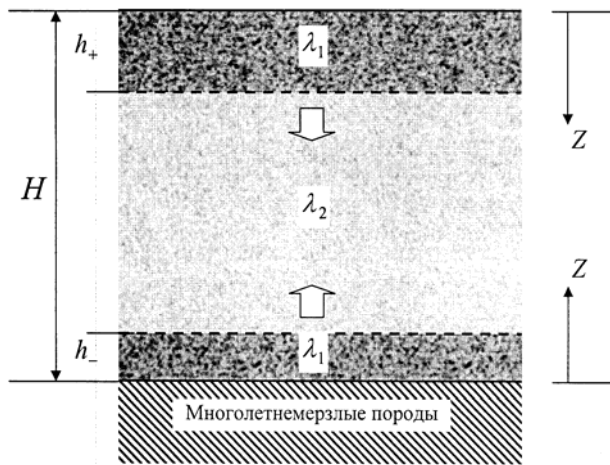
Склад-отвал таких пород в предшествующем промывочном сезоне будет сформулирован на мерзлых породах с температурой  $T_0$ ; для многолетнемерзлых пород  $T_0 \sim -6^\circ\text{C}$ . Естественно, что в этом случае талые породы склада-отвала будут промерзать снизу, начиная с момента формирования склада-отвала. Промерзание же талых пород склада-отвала сверху начнется с момента наступления отрицательных температур в предшествующем промывочном сезоне.

Здесь и далее будет использоваться приближенный, предложенный авторами инженерный метод оценки промерзания связных пород [1].

Ранее авторами была получена явная формула для расчета глубины промерзания массива талых пород [1]. В развернутом виде данная формула представляется выражением:

$$\beta = \frac{1}{WL_{\phi}\rho_{\pi} + \frac{\lambda_1(T_{\phi} - T_{\text{в}})}{3a_1} + \frac{\lambda_2(T_0 - T_{\phi})}{\pi a_2}} \cdot \left[ \sqrt{\frac{\lambda_2^2(T_0 - T_{\phi})^2}{\pi a_2} + 2\lambda_1(T_{\phi} - T_{\text{в}}) \left( WL_{\phi}\rho_{\pi} + \frac{\lambda_1(T_{\phi} - T_{\text{в}})}{3a_1} + \frac{\lambda_2(T_0 - T_{\phi})}{\pi a_2} \right)} - \frac{\lambda_2(T_0 - T_{\phi})}{\sqrt{\pi a_2}} \right]. \quad (1)$$

Для определения высоты промерзания талых аллювиальных пород склада-отвала снизу  $h_{\text{н}}$  и сверху  $h_{\text{с}}$  рассмотрим тепловую модель процесса, изображенную на рис. 1. При расчете высоты  $h_{\text{н}}$  за начало отсчета примем основание склада-отвала, расположенное на многолетнемерзлых породах с температурой  $T_{0\text{мп}} \sim -6^\circ\text{C}$ . Ось распространения фронта промерзания снизу  $z$  направим вверх. Общую высоту склада-отвала обозначим через  $H$ . При расчете высоты  $h_{\text{с}}$  за начало отсчета примем поверхность склада-отвала, а ось распространения фронта промерзания сверху ( $z$ ) направим вниз. Движущиеся границы раздела фаз (границы фазового перехода) на рис. 1 показаны пунктирной линией.



**Рис. 1. Тепловая модель промерзания склада-отвала**

Текущая координата движущейся границы промерзания определяется выражением:

$$z = \beta \sqrt{t} . \quad (2)$$

Расчеты по формуле (2) проводятся при подстановке величин, заданных в системе СИ, однако в силу длительности процесса промерзания целесообразно представлять время  $t$  в сутках. Тогда формула (2) запишется в виде:

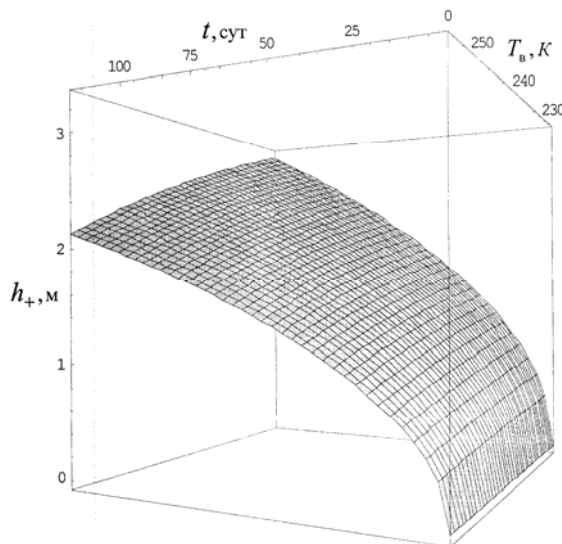
$$z = \beta \sqrt{86400 \cdot t} . \quad (3)$$

При фиксированных значениях теплофизических свойств породы и начальных температур склада-отвала  $T_0$  и многолетнемерзлых пород  $T_{0мп} \sim -6^\circ C$  основными переменными величинами, необходимыми для расчета глубины промерзания, являются температура внешней среды (воздуха)  $T_b$  и продолжительность  $t$ , в течение которого происходит процесс промерзания. Одновременное воздействие этих параметров на величину глубины промерзания иллюстрируется на трехмерном графике, представленном на рис. 2.

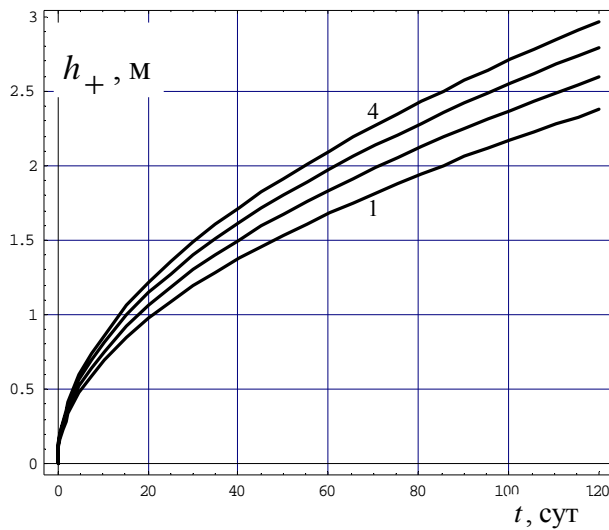
При самых неблагоприятных условиях, когда температура внешней среды составляет  $T_b = 233 K (-40^\circ C)$  и длительности процесса промерзания, равном  $t = 120$  суток, глубина промерзания  $h_{+max}$  практически достигает 3 метров. При

малых значениях времени глубина промерзания слабо зависит от температуры среды. Начальная температура склада-отвала в расчетах принята равной  $T_0 = 283 K (+10^\circ C)$ .

Более детальная картина продвижения границы промерзания со временем дана на рис. 3, где зависимость  $h_+(t)$  получена при  $T_b = -40^\circ C$ ;  $-35^\circ C$ ;  $-30^\circ C$  и  $-25^\circ C$  (соответственно кривые 4,3,2 и 1).



**Рис. 2. Влияние температуры среды и продолжительности ее воздействия на глубину промерзания сверху**



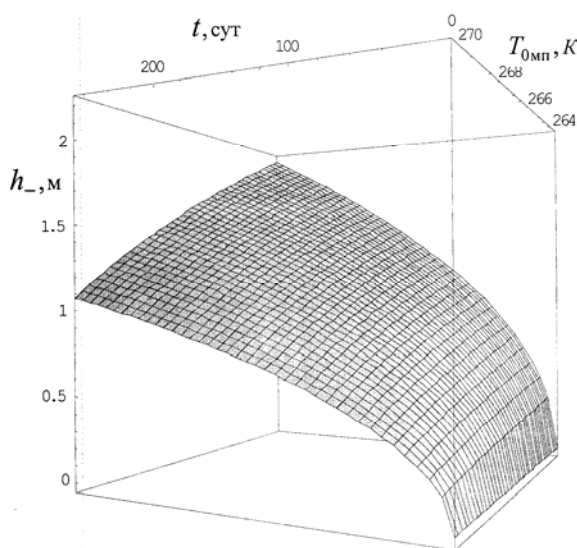
**Рис. 3. Зависимость глубины от времени промерзания при разных температурах внешней среды**

Расчеты проводились при условии, что высота склада-отвала больше глубины промерзания, т.е.  $H > h_{+max}$ .

Аналогично проведены расчеты промерзания склада-отвала снизу. При расчете одновременного влияния времени  $t$  промерзания и температуры многолетнемерзлых пород

начальная температура склада-отвала принята равной  $T_0 = 283 \text{ K}$  ( $+10^\circ \text{C}$ ), а температура подстилающих многолетнемерзлых пород – изменяющейся от  $T_{0мп} \sim -3^\circ \text{C}$  до  $T_{0мп} \sim -10^\circ \text{C}$ . Также учтено, что время стояния склада-отвала  $t_{ст}$  от конца предшествующего промывочного сезона до начала следующего может составить до 8 месяцев в год. Отдельно получена зависимость  $h_-(t)$  при температуре подстилающих пород, равной  $T_{0мп} \sim -6^\circ \text{C}$ . Результаты расчетов приведены на рис. 4 и 5.

Несмотря на малые величины температуры подстилающих пород, высота промерзания  $h_-$  существенно зависит от продолжительности процесса. Это

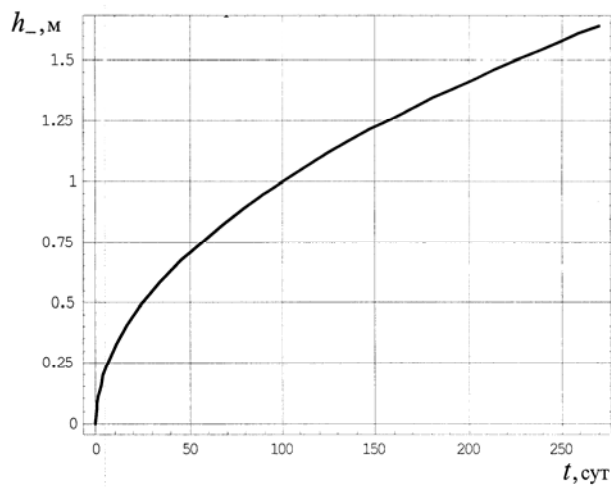


объясняется более длительным по сравнению с процессом промерзания сверху временем  $t_{ст}$ . В частности, при времени промерзания, равном 9 месяцев, высота промерзшего слоя составляет более 1,6 м, а при  $t_{ст}$  в 8 месяцев – около 1,5 метра (рис. 4).

Учитывая одновременное промерзание склада-отвала сверху и снизу, для общей высоты промерзшего слоя получим

$$h = h_+ + h_- = \beta(\sqrt{t_+} + \sqrt{t_-}), \quad (4)$$

**Рис. 4. Влияние температуры подстилающих пород и времени промерзания на величину  $h_-$**



**Рис. 5. Зависимость текущей высоты промерзания от продолжительности процесса при  $T_{0мп} \sim -6^\circ C$**

где  $t_+$  и  $t_-$  - соответственно длительности промерзания сверху и снизу.

Общая высота промерзшего слоя склада-отвала при  $T_b = 238K (-35^\circ C)$ ,  $t_+ = 3$  месяца (время наибольших отрицательных температур в период с 1 декабря по 29 февраля) и  $T_{0мп} \sim -6^\circ C$ ,  $t_- = 8$  месяцев составит

$h = 1,54889 + 2,41851 = 3,9674$  м, что представляет значительную величину.

Создание складов-отвалов имеет смысл только при условии, что его высота больше высоты промерзшего слоя, т.е.

$$H > h. \quad (5)$$

Для вышеприведенного частного случая имеем  $H > 3,9674$  м. Это говорит о том, что глубина промерзания пород склада-отвала сверху и снизу значительна и может составлять для условий Северо-Востока России до 4 метров. Отсюда следует, что создавать склады-отвалы талых золотоносных пород в предыдущий промывочный сезон для более раннего начала последующего промывочного сезона имеет смысл только в том случае, если будут предприняты какие-либо противопрмерзающие мероприятия, например утепление складов-отвалов сверху.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дугарцыренов А.В., Бельченко Е.Л. О динамике промерзания (оттаивания) массивов горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень, № 3, 2009, с. 48-52.

ИИАС

#### Коротко об авторах

Дугарцыренов А.В. – докторант кафедры «Физика горных пород и процессов» Московского государственного горного университета,

Бельченко Е.Л. – профессор кафедры «Физика горных пород и процессов».

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.М. Гридин, Московский государственный горный университет.

