

УДК 551.328

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ОБЪЕМА НАЛЕДЕЙ У НАСЫПЕЙ

Коллекер Н.М., Мисайлов Д.В., студенты гр. СЖД.2-22-11, II курс

Научный руководитель: Коннов В.И., к.т.н., доцент

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет путей сообщения» в г. Чита,  
г. Чита

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию факторов образования ключевых наледей, определению их максимальной длины, мощности и объема. Гидродинамическое давление в буграх наледи влияет на устойчивость дорожных насыпей. В статье рассмотрены температурные процессы наледеобразования, установлен период интенсивного формирования бугра наледи, предложены расчетные зависимости.

**Ключевые слова:** образование ключевых наледей, мощность, объем, периоды охлаждения воды.

Целью исследования явилось изучение процессов наледеобразования, определение их объемных и геометрических характеристик для исключения возможных деформаций дорожных насыпей. В Забайкалье наледи приводят к снижению устойчивости насыпей и загрязнению водных объектов [1 – 4]. На рисунке 1 показано образование наледи под железнодорожным мостом на перегоне Тургутуй – Сохондо Транссибирской магистрали, приводящей к деформации пути.



Рисунок 1 – Образование наледи под железнодорожным мостом  
в зимний период 2013 г.

Формирование наледи начинается после охлаждения потока до температуры замерзания. Ввиду постоянного поступления охлажденной воды на поверхность ледяной массив (основание) не успевает охладиться до температуры воздуха и имеет температуру, близкую к 0°C.

Длина пути фазового превращения тонкого слоя воды в лед определяется из соображений, что изменение концентрации воды в единице объема и в единицу времени равно количеству кристаллов льда, вырабатываемому потоком при его замерзании. Количество кристаллов льда, вырабатываемое потоком, может быть приближенно определено при следующих допущениях. Поверхность воды непрерывно охлаждается с одинаковой интенсивностью на большой площади. Количество теплоты, отдаваемое со свободной поверхности в единицу времени, равно  $Q_t = -a_1 t_{воз}$  ибо температура охлажденного потока постоянна и равна 0°C. Поэтому вся отдаваемая потоком теплота выделяется вследствие кристаллизации льда за вычетом тепла гидромеханического трения.

С учетом изложенного запишем уравнение баланса:

$$uh\gamma_l S \frac{ds}{dl} = \frac{at - 2,34QJ^1/m}{L}, \quad (1)$$

где  $u$  – начальная скорость потока, м/ч;  $h$  – толщина слоя воды, м;  $\gamma_l$  – объемный вес наледного льда, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – процентное содержание кристаллов льда в воде в рассматриваемом сечении;  $a$  – коэффициент теплоотдачи;  $t$  – абсолютное значение температуры воздуха (при открытой поверхности водного потока) или температуры на границе снег-вода при движении потока под снежным покровом, °C;  $2,34QJ^1/m$  – тепло гидродинамического трения (ккал/м<sup>2</sup>·ч) при размерности в м<sup>3</sup>·ч;  $m$  – средняя ширина потока м;  $L$  – скрытая теплота кристаллизации льда, ккал/кг.

После интегрирования уравнения (1), пренебрегая малой величиной  $2,34QJ$  по сравнению с величиной  $mat$ , получим длину пути замерзания поверхности воды  $l$ . Глубину потока  $h$  можно выразить как  $h = Q/um$ . Тогда:

$$l = 0,5\gamma_l \frac{LQ}{mat}. \quad (2)$$

Как следует из формулы (2), длина пути замерзания воды – переменная в течение зимы величина, так как переменными являются расход потока  $Q$  и температура воздуха  $t$ . Этим объясняется наличие на поверхности наледей уступов с различной высотой ступенек, равной толщине растекающегося слоя воды. Максимальная длина наледи  $l = l_M$  формируется обычно в начальный период интенсивного наледеобразования, когда вода движется и замерзает под снежным покровом и расход источников наибольший  $Q = Q_M$ .

Согласно изложенному, а также при плотности наледного льда в среднем  $\gamma_l = 800$  кг/м<sup>3</sup> и  $L = 80$  ккал/кг формула (2) для определения максимальной длины ключевой наледи перепишется так:

$$l_M = \left(32 \cdot 10^3 / mat\right) Q_M. \quad (3)$$

Максимальная длина наледи формируется в начальный период интенсивного наледеобразования. Характерной особенностью начала интенсивного наледеобразования является то, что излившаяся наледная вода попадает в снежный покров и постепенно насыщает его, растекаясь под снегом на большие пространства. Замерзание воды происходит в основном сверху под влиянием атмосферного холода и вследствие малой теплопроводности снега протекает относительно медленно. Ввиду капиллярного поднятия воды и интенсивно протекающих в результате этого процессов сублимации и рекристаллизации снега первоначальные физические свойства снежного покрова меняются. Коэффициент теплопроводности снега  $\lambda$  в этом случае может быть определен приближенно по формуле:

$$\lambda = 0,6 h_{\text{сп}}^{2/3}, \quad (4)$$

где  $h_{\text{сп}}^{2/3}$  – толщина снежного покрова в м.

Температура  $t$  под снежным покровом также зависит от толщины снега и его физических свойств и может быть определена по формуле:

$$t = \xi t_{\text{воз}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{воз}}$  – среднедекадная температура воздуха в начале формирования наледи,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\xi$  – коэффициент изменения температуры по глубине снежного покрова, учитывающий толщину снега и его физические свойства (Савко, 1996).

Продолжительность формирования наледи  $\tau$  зависит от условий выхода на дневную поверхность подземных вод. Если наледь питается бортовыми источниками, то она интенсивно развивается сразу же после наступления морозов. Разгрузка подземных вод через подрусловые и долинные талики обеспечивает два периода наледеобразования – начальный, когда наледь растет очень медленно, и период интенсивного развития наледи.

В первый период разгрузка подземных вод осуществляется в верхние горизонты промерзающих горных пород и в ближайшие водотоки. Послойное намораживание осуществляется в основном в пределах русел рек за счет поверхностных вод. Подземные воды лишь в отдельных местах прорываются через трещины в мерзлых грунтах, насыщая снег и образуя маломощные ледяные массивы. Интенсивность наледных процессов резко увеличивается, когда сезонно протаивающий слой и речные перекаты перемерзнут.

Единственным путем движения подземных вод в это время становятся подрусловые межмерзлотные или надмерзлотные талики, объем которых сокращается в связи с понижением температуры воздуха. При этом давление воды возрастает и под его воздействием лед в руслах рек вслучивается и

трескается; из трещин начинается обильное поступление воды в долину. С этого момента происходит резкое увеличение скорости роста наледи, так как теперь большая часть воды, проходившей по руслу и подрусловому талику, изливается на поверхность. Можно считать, что период интенсивного формирования наледи начинается тогда, когда перемерзают поверхностные водоносные пути. Это подтверждается, в частности, и данными натурных наблюдений (Зильберштейн, 1970). Начало второго периода обычно (совпадает со временем наступления наиболее низких температур воздуха).

Учитывая изложенные положения и основываясь на рассмотренных выше исследованиях, предложены окончательные расчетные зависимости для определения максимальной длины  $l_M$ , средней по полигону мощности наледи  $\Delta H_{cp}$ , средней максимальной  $\Delta H_{max}^{cp}$  и наибольшей мощности  $\Delta H_{max}$ , площади  $F$  и объема  $v$  ключевых наледей:

$$l_M = \left( 32 \cdot 10^3 Q_M / \mu m t_{воз} \right) \quad (6)$$

$$\Delta H_{max}^{cp} = 0,5 \cdot 10^{-5} \mu t_{воз} m + 1,1 h_{oc}, \quad (7)$$

$$\Delta H_{cp} = 0,67 \Delta H_{max}^{cp} \quad (8)$$

$$\Delta H_{max} = 1,5 \Delta H_{max}^{cp}, \quad F = l_M m, \quad (9)$$

$$V = 21,5 \cdot 10^3 Q_M \Delta H_{max} / \mu t_{воз} \text{ или } V = 1,25 Q m. \quad (10)$$

где  $\mu$  – коэффициент ( $\mu = \xi a$ ), значения которого приведены в зависимости от толщины снежного покрова в табл. 24 [1];  $m$  – коэффициент, учитывающий неравномерность развития наледи,  $m = Q / Q_M$ .

**ВЫВОД.** Приведенные формулы использованы для оценки параметров наледи на перегоне Тургутуй – Сохондо Транссибирской магистрали с целью проектирования мероприятий по исключению деформаций верхнего строения пути. Для расчета по формулам (6) - (10) основных количественных характеристик ключевой наледи необходимо знать начало и конец периода  $\tau$  (ч) интенсивного наледеобразования, среднедекадную температуру воздуха  $t_{воз}$ , дебит источников  $Q_M$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и толщину снежного покрова  $h_{\text{сн}}$  (м) в начале интенсивного развития наледи, количество выпадающих за период  $\tau$  осадков  $h_{oc}$  (м), среднюю ширину наледной долины  $m$  (м). Эти характеристики устанавливаются по данным изысканий и справочным материалам.

### Список литературы:

1. Алексеев, В.Р. Теория наледных процессов (инженерно географические аспекты) [Текст] / В.Р. Алексеев, Н.Ф. Савко. – М.: Наука, 1975. – 205 с.
2. Ельчанинов, Е.А. Мероприятия по снижению пучения и осадки грунтов А. Ельчанинов, Н. П. Сигачев, В. И. Коннов, Е. В. Шехтман, С. М. Коробко // Горный оснований горных и природоохранных сооружений в Забайкалье [Текст] / Е. информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – №4. – С. 86-90.
3. Сигачев, Н. П. Обследование участков пучения грунтов оснований линейных горных, природоохранных и других сооружений в Забайкалье [Текст] / Н. П. Сигачев, В. И. Коннов, С. М. Коробко // Качество жизни населения и экология. Научное издание. Часть IV. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – 191 с.
4. Дашинимаев, З.Б. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты / З.Б. Дашинимаев, Н.П. Сигачев, К.А. Кирпичников // Образование, наука, производство: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции / Отв. ред. Д.А. Яковлев. – Чита: Изд-во ЗабИЖТ, 2018. – С. 96 –101.