

УДК 691.32:625.7

## **ГЛУБИНА ПРОМЕРЗАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПУЧИНООБРАЗОВАНИЕ**

**Леонович И.И., Вырко Н.П., Демидко М.Н.**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Приведены особенности промерзания различных видов грунтов, используемых при возведении земляного полотна автомобильных дорог. Раскрыта зависимость морозного пучения от глубины промерзания грунтов, температурного режима местности и источников увлажнения.

In this article are adduced the peculiarities of freezing different types of soils used in the construction of roads subgrade. Explained the dependence of the depth of frost heaving of soil freezing, temperature areas and sources of moisture.

Промерзание грунта – это переход грунта из одного состояния в другое с резким изменением его физико-механических свойств. Это сложный процесс, протекающий по-разному для различных видов грунтов.

Глубина и характер промерзания грунта зависит от продолжительности действия отрицательной температуры воздуха, толщины снежного покрова, растительности, вида (типа) грунта, степени увлажнения его, расположения уровня грунтовых вод и ряда других метеорологических факторов.

По данным наблюдений [2] глубина проникновения нулевой изотермы и одинаковой суммы среднесуточных температур воздуха (635 градусо-дней) для различных типов грунтов разная и составляет: для крупнообломочных грунтов – 177 см; мелких и пылеватых песков – 139 см; суглинков – 135 см. Неодинаковы также глубина проникновения отрицательной температуры в грунт и температура замерзания грунтов. Крупнообломочные грунты замерзают при температуре, близкой к 0 °С, с образованием заметной границы между талым и мерзлым грунтом. При промерзании мелкодисперсных грунтов образуется зона промерзания (слой, в котором происходят фазовые превращения воды), разделяющая полностью промерзший и талый грунт.

Температура замерзания мелкодисперсных грунтов более низкая, чем у крупнообломочных. Это связано с тем, что мелкозернистые грунты имеют мелкие поры и повышенное количество связанной воды, которая замерзает при значительно низкой температуре, чем свободная вода. Грунтовая вода обычно является связанной, плотность ее больше единицы, содержит растворимые соли, взвешенные частицы, имеет меньшую степень подвижности, чем вода, находящаяся в свободном состоянии. Совокупность указанных свойств, которые понижают температуру замерзания грунтовой воды, а вместе с ней и самого грунта. Установлено, что все грунты замерзают при температуре ниже 0 °С. Существенное влияние на это оказывают вид грунта, его влажность и продолжительность действия отрицательной температуры.

Например, глинистый грунт с влажностью 30 % замерзает при температуре –1 °С до –2 °С, а песок с 10%-ной влажностью – температуре 0,5 °С. Чем выше теплопроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность грунта в начальный момент способствует промерзанию, т.к. увеличивает теплопроводность, а в дальнейшем процесс замедляется. Это связано с тем, что при замерзании влаги выделяется 80 калорий тепла, что и замедляет процесс замерзания грунта, следовательно, чем выше влажность грунта, тем глубина промерзания меньше.

Глубина и характер промерзания грунтов зависит от ряда факторов: температуры воздуха (отрицательной), продолжительности действия, толщины снежного покрова, типа грунта, расположения уровня грунтовых вод, растительности и других минерологических факторов.

Вопросами определения глубины промерзания грунтов и теплофизическими процессами, происходящими при этом, занимались многие ученые и исследователи: профессора И.И. Золотарь [1], И.И. Леонович, Н.П. Вырко [2,3,9], Н.Н. Маслов [6], Н.А. Пузаков [1], В.М. Сиденко [1,7], А.Я. Тулаев [1,8], Н.А. Цытович, Р.З. Полицкий, В.П. Корюков [5].

Анализ проведенных исследований, изложенных в соответствующих научных работах, показывает, что на глубину промерзания грунтов влияет многообразие факторов. Наиболее существенными из них являются: глубина промерзания грунта, наличие пучинистого грунта (пылеватого) и влажность грунта (источник увлажнения).

Таким образом, наличие указанных факторов приводит к образованию пучин на дорогах. Следовательно, чтобы произошло пучение необходимо наличие трех факторов: пылеватый (пучинистый) и влажный грунт, отрицательная температура. Если один из указанных факторов устранить – пучения не произойдет.

Пучины образуются в период морозного влагонакопления в земляном полотне, а проявляют себя при оттаивании грунта земляного полотна и материала дорожной одежды. Пучины на дорогах появляются в виде бугров и сетки трещин, через которые под влиянием воздействия колес автомобиля на поверхность покрытия выдавливается переувлажненный грунт. Для возникновения пучин на дороге необходимо также такие условия: интенсивное морозное влагонакопление ( $W \geq 0,7-0,75$ ), глубокое ( $h > 0,75$  м) медленное промерзание и пылеватый грунт земляного полотна.

Для пучения грунта при росте линз льда необходим непосредственный контакт линзы льда с уплотненной пленкой связанной воды, находящейся под давлением сил связывания с частицами грунта и поэтому выдерживающим нагрузку от веса вышерасположенного грунта. Кристалл льда при температуре ниже нуля может соприкасаться, существовать с водой в том случае, если эта вода находится под повышенным давлением связывания, препятствующим переходу ее в решетку льда и никакая капиллярная и свободная вода не может непосредственно мигрировать к растущему при  $0-(-5^\circ\text{C})$  кристаллу льда.

Процесс пучинообразования охватывает значительный временной интервал. Пучины появляются в результате накопления в земляном полотне большого количества влаги. При зимнем промерза-

нии грунта в земляном полотне возникает разность температур от  $+4^{\circ}\text{C}$  у уровня грунтовых вод до отрицательных температур в промерзшей зоне грунта. Под влиянием разности температур происходит миграция влаги из нижних слоев к границе промерзания и в мерзлый слой по пленкам воды, покрывающим грунтовые частицы, а также путем конденсации паров, поднимающихся по порам грунта от горизонта грунтовых вод.

Большое влияние на миграцию влаги в зону отрицательных температур оказывают: тип грунта, степень уплотнения, расположение уровня грунтовых вод, глубина промерзания. Песчаные грунты обладают малой поверхностной энергией. Они промерзают без образования ледяных линз. Пылеватые грунты обладают значительной поверхностной энергией и небольшим сопротивлением перемещению воды в порах. Поэтому в них происходит интенсивное вертикальное перемещение воды, а при замерзании – образование ледяных линз (рис. 1).

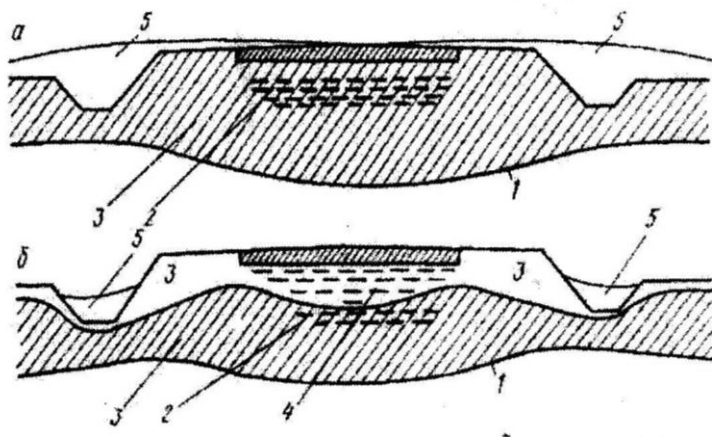


Рис. 1. Образование донника:

- a* – промерзание грунта под проезжей частью; *б* – оттаивание грунта весной;  
 1 – граница промерзания; 2 – ледяные линзы; 3 – мерзлый грунт;  
 4 – оттаявший сильно переувлажненный грунт; 5 – снег

Глинистые грунты имеют большую поверхностную энергию и большое сопротивление перемещению воды в порах и малую скорость ее перемещения. Поэтому глинистые грунты промерзают

быстрее, чем успевают переместиться вода. При промерзании грунта вначале замерзает свободная и капиллярная вода. Перемещение пленочной влаги перемещается при отрицательной температуре, равной  $-3 \dots -5$  °С. Поэтому вода проникает по пленкам в пределы промерзшего слоя грунта и в течение зимы кристаллы льда постепенно растут (т.е. жидкая фаза превращается в лед, увеличиваясь в объеме примерно на 9%) и образуют в земляном полотне ледяные прослойки, которые раздвигают грунтовые частицы и вызывают неравномерные поднятия («пучение») дорожной одежды (рис. 2).

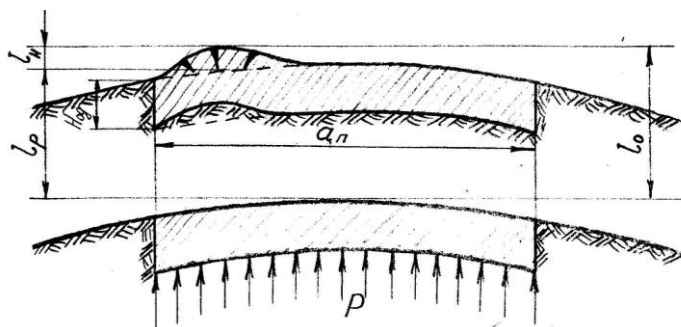


Рис. 2. Схема морозного пучения дорожных одежд:  
 $l_0$  – общее пучение;  $l_p$  – равномерное пучение;  $l_n$  – неравномерное пучение;  
 $a_n$  – зона пучения

На интенсивность пучинообразования влияют скорость охлаждения активного слоя и увлажнения.

При слабых морозах грунты промерзают медленно, есть время для подтока воды, поэтому образование ледяных линз идет интенсивно, а при сильных – быстрое промерзание грунтов, вода не успевает перераспределиться, поэтому ледяные линзы не образуются.

Основное влагонакопление происходит в верхних слоях 50–60 см.

В процессе пучения происходит равномерное и неравномерное поднятие дорожных одежд. Наиболее опасным является неравномерное пучение.

Из изложенного видно, что существенное влияние на пучинообразование имеет промерзание грунта и глубина его промерзания. Для определения глубины промерзания авторами разработан статистический метод с использованием карт изолиний средней много-

летней глубины промерзания и карт изолиний коэффициента вариации, а также метод прогнозирования пучинообразования, которые изложены в работе [9].

Для определения величины морозного пучения в зависимости от глубины промерзания земляного полотна и расположения уровня грунтовых вод авторами построен график (рис. 3), позволяющий проанализировать влияние глубины промерзания грунта земляного полотна на величину морозного пучения.

Разработанный график (см. рис. 3) позволяет исследовать влияние глубины промерзания грунта на величину морозного пучения при разной глубине залегания уровня грунтовых вод или при одном и том же залегании уровня грунтовых вод, но для разных глубин промерзания грунта.

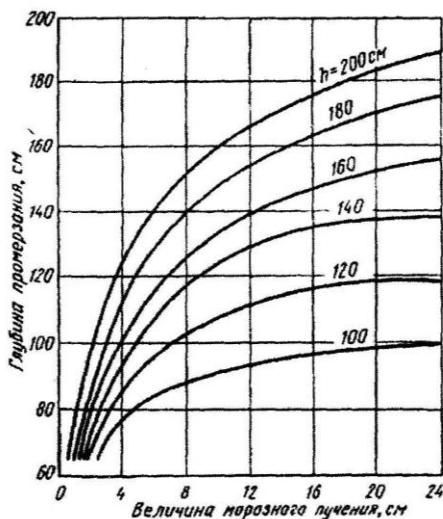


Рис. 3. График определения величины морозного пучения в зависимости от глубины промерзания грунтов и расположения уровня грунтовых вод

## Литература

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Н.А. Пузаков [и др.]; под ред. проф. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1971. – 414 с.

2. Леонович, И.И. Механика земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко. – Минск : Наука и техника, 1975. – 224 с.
3. Вырко, Н.П. Дорожное грунтоведение с основами механики грунтов : учебник / Н.П. Вырко, И.И. Леонович. – Минск : Вышэйшая школа, 1977. – 224 с.
4. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович, М.Н. Сумгин. – М. : Изд-во АН СССР, 1936. – 217 с.
5. Порицкий, Р.З. Организация наблюдений за водно-тепловым режимом автомобильных дорог в Полесье : сб. «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов»/ Р.З. Порицкий, В.П. Корюков. – Минск, 1971.
6. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. – Минск : Вышэйшая школа, 1982. – 511 с.
7. Сиденко, В.М. Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна / В.М. Сиденко. – М. : Автотрансиздат, 1962. – 220 с.
8. Тулаев, А.Я. Круглогодовой цикл пучинообразования / А.Я. Тулаев // Трубы Дор НИИ. – 1941. – Вып. 2.
9. Леонович, И.И. Глубина промерзания грунтов – важнейший фактор водно-теплого режима земляного полотна / И.И. Леонович, Н.П. Вырко // Строительная наука и техника. – 2011. – № 5. – С. 27–35.