

УДК 630\* 383: 001.891

**И. И. Леонович**, доктор технических наук, профессор (БНТУ);**Н. П. Вырко**, доктор технических наук, профессор (БГТУ)**РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПО ГЛУБИНЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ЦЕЛЕЙ**

В статье рассмотрен вопрос о районировании территории Республики Беларусь по глубине промерзания грунтов для дорожных целей. Приведены совмещенная карта климатических и гидрологических характеристик, формулы для определения глубины промерзания грунтов земляного полотна.

In the article the question of division of the territory of the Republic of Belarus on the depth of soil freezing for road purposes. Map shows the combined climate and hydrological characteristics, the formula for determining the depth of soil freezing roadbed.

**Введение.** Промерзание грунтов – сложный процесс, протекающий по-разному для различных типов грунтов. Все грунты по особенностям их промерзания в природных условиях подразделяются на три основные группы [1]:

I – суглинки и глины; II – супеси, мелкие и пылеватые пески; III – пески средние, крупнозернистые и крупнообломочные грунты.

По данным наблюдений [2], глубина проникновения нулевой изотермы при одинаковой сумме отрицательных среднесуточных температур воздуха (635 градусо-дней) для различных типов грунтов разная: для суглинков – 135 см; мелких и пылеватых песков – 139; крупнообломочных грунтов – 177 см.

**Основная часть.** Лабораторными и полевыми исследованиями установлено, что крупнообломочные грунты замерзают при температурах, близких к 0°C, с образованием границы между мерзлым и талым грунтом. При промерзании мелкодисперсных грунтов образуется зона промерзания (слой, в котором происходят фазовые превращения воды), разделяющая полностью промерзший и талый грунт.

Мелкодисперсные грунты замерзают при более низких температурах. Это связано с тем, что они имеют мелкие поры и повышенное количество связанной воды, которая замерзает при значительно низшей температуре, чем свободная вода.

Грунтовая вода обычно является связанной с плотностью более единицы, содержит, как правило, растворимые соли, взвешенные частицы, испытывает большое давление со стороны заземленного воздуха, имеет меньшую степень подвижности, чем вода, находящаяся в свободном состоянии. Совокупность указанных свойств и понижает температуру замерзания грунтовой влаги, а вместе с ней и самого грунта.

Исследования показывают, что все грунты замерзают при температуре ниже 0°C в зависимости от их вида, влажности, интенсивности и продолжительности действия отрицательной температуры.

Например, глинистый грунт с влажностью 30–40% замерзает при температуре от –1 до –2°C, а песок с 10%-ной влажностью – при температуре, равной –0,5°C. Это свидетельствует, что глубина промерзания неодинакова для различных типов грунта и зависит не только от его состава, но и от теплофизических свойств, а также влажности. Чем выше теплопроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность грунта сначала способствует промерзанию, так как увеличивает теплопроводность, но при достижении некоторого предела она замедляет процесс замерзания. Это связано с тем, что при замерзании воды выделяется теплота льдообразования.

В естественных условиях в начале зимы нулевая изотерма практически не задерживается на одном месте, поэтому грунт замерзает при температуре значительно ниже 0°C. В конце зимы нулевая изотерма достигает в глубину своего максимального положения и грунт может замерзнуть при температуре, близкой к 0°C, однако ввиду малого перепада (градиента) температур на границе промерзания он не успевает замерзнуть. Этим и объясняется, что граница замерзания всегда выше границы проникновения нулевой изотермы.

На скорость и глубину промерзания грунта существенное влияние оказывают время образования и высота (толщина) снежного покрова. Если снежный покров образуется до промерзания, то скорость промерзания уменьшается примерно в 2 раза по сравнению с промерзанием грунта при отсутствии снежного покрова, т. е. снежный покров оказывает большее влияние на глубину промерзания грунта.

Для автомобильных дорог указанная особенность промерзания грунта имеет существенное значение ввиду того, что проезжая часть дороги очищается от снега в отличие от обочин. Следовательно, и промерзание грунта земляного полотна будет различным. При оттаивании грунта снег также нарушает равновесие. Он задерживает поступление тепла, поэтому по

оси дороги грунт оттаивает быстрее, чем на обочине, что приводит к накоплению влаги непосредственно под покрытием. Из-за того, что обочины еще не оттаяли, снизу лежит мерзлый грунт. В результате происходит переувлажнение грунтового основания, что зачастую приводит к потере прочности дорожного покрытия.

На глубину промерзания грунта существенное влияние оказывает величина и направление теплового потока.

Средняя скорость промерзания грунта земляного полотна составляет для условий Беларуси: по оси дороги 1,3–2,1 см/сут, а на обочине 0,8–1,9 см/сут. Продолжительность периода промерзания 80–120 сут.

Промерзание грунта оказывает большое влияние на распределение и перемещение влаги, изменение фазового состава грунта, высоту насыпи и т. д.

Существенно влияет на состояние транспортных путей морозное пучение, которое также связано с процессом промерзания грунтов. В Беларуси наибольшее разрушение дорог возникает при оттаивании грунта на глубину 0,7–0,8 м. По условиям пучинообразования нами территория Беларуси разделена на четыре зоны.

Анализ погодных-климатических и грунтово-гидрологических условий показывает, что на промерзание грунтов существенное влияние оказывает тип грунта, его влажность, интенсивность и продолжительность действия отрицательной температуры, высота (толщина) снежного покрова, физико-механические и тепло-физические свойства грунтов.

Глубина промерзания грунта оказывает существенное влияние на возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод. В связи с этим авторами выделены пять характерных случаев для определения минимального возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод. Так, например, для наиболее характерных условий Беларуси рассмотрен случай, когда уровень грунтовых вод расположен на такой глубине, что приток влаги существенно влияет на глубину промерзания.

В этом случае минимальное возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод определяется как сумма глубины промерзания грунта и минимального расстояния между границей промерзания грунта и уровнем грунтовых вод:

$$H = Z + l, \quad (1)$$

где  $Z$  – глубина промерзания грунта, см;  $l$  – минимальный запас возвышения бровки полотна над уровнем

В основу определения значения  $l$  положено регулирование притока влаги в процессе

промерзания грунта земляного полотна. Минимальное значение  $l$  можно определить по формуле

$$l = \frac{kSZ}{q\alpha}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации грунта, см/сут;  $S$  – всасывающая сила грунта, см;  $q$  – удельный допустимый приток влаги, см;  $\alpha$  – климатический коэффициент, для условий Беларуси равный 50 см<sup>2</sup>/сут.

Из изложенного видно, что глубина промерзания играет важную роль для создания прочной и устойчивой дорожной конструкции, а определение ее величины зависит от многих факторов: интенсивности морозов, суммы градусо-дней, мороза, типа грунта, его физико-механических и теплофизических свойств, интенсивности ветра, миграции влаги. Эти факторы не только трудно определить, но некоторые из них вообще не поддаются учету.

С учетом изложенного авторами разработан метод определения глубины промерзания грунтов [2, 3, 4], заключающийся в обработке статистических данных, которые в обобщенном виде учитывают все факторы, влияющие на промерзание грунтов.

В зависимости от наличия или отсутствия фактических данных о глубине промерзания разработаны два способа определения расчетной глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности:

– данные о глубине промерзания грунта имеются;

– данные о глубине промерзания отсутствуют.

При отсутствии данных о глубине промерзания все расчеты сводятся к определению средней многолетней глубины промерзания грунтов  $Z_{cp}$  и коэффициента вариации  $C_v$  по картам изолиний, составленным авторами [2–4].

Глубина промерзания грунтов земляного полотна рассчитывается по формуле

$$Z = k_s k_n Z_{cp}, \quad (3)$$

где  $k_s$  – модульный коэффициент, определяемый по таблицам С. И. Рыбкина в зависимости от коэффициента вариации  $C_v$ , асимметрии  $C_s$  и процентной обеспеченности;  $k_n$  – переходный коэффициент от глубины промерзания грунта под снегом к глубине промерзания грунта открытого поля для заданной процентной обеспеченности, равный 1,7–2,0;  $Z_{cp}$  – средняя многолетняя глубина промерзания грунта под снегом, определяемая по карте изолиний, см.

Для сравнения приведем расчетные глубины промерзания грунтов, определенные по разработанному нами методу (статистический ме-

тод), и по формулам, предлагаемым различными авторами (таблица).

**Сравнительная таблица  
глубины промерзания грунтов,  
вычисленной по формулам  
и статистическим методом  
для ст. Минск (грунт супесчаный)**

№	Метод или формула	Глубина промерзания, см
1	Статистический метод при обеспеченности: 10% 20%	179
		153
2	По формулам: Н. А. Пузакова В. М. Сиденко В. С. Лукьянова А. Н. Будникова Р. М. Меджитова Г. И. Лапкина	153
		177
		151
		164
		171
		161

Как видно из таблицы расхождения в глубине промерзания, определенной по статистическому методу (биномиальное распределение) и формулам, незначительна. Максимальное отклонение составляет  $\pm(3-5)\%$ .

Это свидетельствует о том, что предложенный метод определения глубины промерзания вполне достоверный и может быть положен в основу районирования территории республики.

Как видно, из изложенного выше, глубина промерзания грунтов является одним из основных факторов водно-тепловых процессов, происходящих в грунтах. Знание глубины промерзания необходимо при прогнозировании влажности и пучения грунта земляного полотна, при проектировании морозозащитных слоев дорожной одежды, для определения глубины заложения дренажа, термо- и гидроизоляционных прослоек и т. д.

Однако из-за сложности процессов, происходящих в грунтах при их замерзании, в настоящее время нет еще единой теории расчета глубины промерзания грунтов. Поэтому мы считаем, что разработанный нами статистический метод наиболее полно отражает и учитывает факторы, влияющие на глубину промерзания.

Поскольку проектирование, строительство и эксплуатация дорог существенно зависят от глубины промерзания грунтов, природных условий местности, то назрела необходимость районировать территорию Республики Беларусь по глубине промерзания.

Из числа природных условий важнейшее влияние на промерзание грунтов, как было сказано выше, оказывает тип грунта, сумма морозо-дней, влажность, толщина снежного покрова

и другие, которые обуславливают водно-тепловой режим дорог.

Для проведения районирования территории республики нами использованы грунтовые карты, разработанные академиком АН БССР П. П. Роговым, а также карты изолиний средней многолетней глубины промерзания грунтов, суммы отрицательных температур воздуха (сумма морозо-дней), разработанные нами (рис. 1).

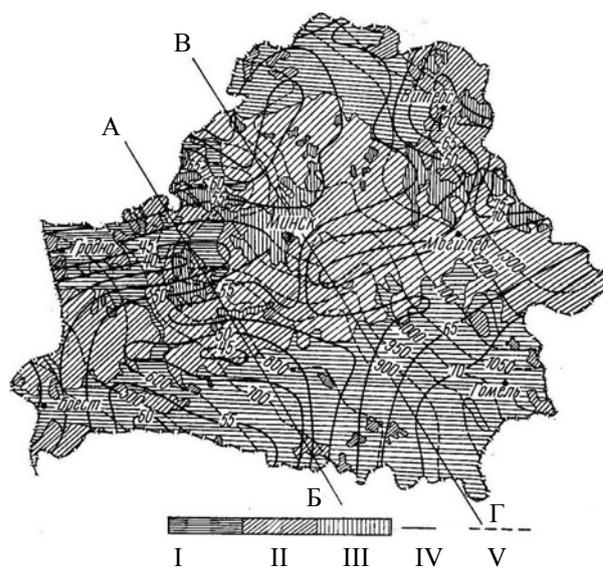


Рис. 1. Совмещенная карта климатических и гидрологических характеристик:

- I — высота над уровнем моря от 100 до 150 м;
- II — от 150 до 200 м; III — от 200 до 300 м;
- IV — средняя многолетняя глубина промерзания грунта, см;
- V — сумма отрицательных температур воздуха

Поскольку указанные факторы, формирующие температурный режим в грунтовой толще, на протяжении многолетнего периода почти остаются постоянными (тип грунта, рельеф), средняя многолетняя глубина промерзания грунтов позволяет считать, что принятое районирование территории Беларуси будет характеризовать водно-тепловой режим глубины промерзания грунтов и количеством суммы градусо-дней мороза, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации дорог.

Территория Республики Беларусь нами разделена на три зоны по глубине промерзания грунтов.

I зона — Юго-Западная. Граница ее с Запада — государственная граница Республики Беларусь, с Востока — граница зоны проходит по городам: Вороново — Ивье — Новогрудок — Ганцевичи — Житковичи — Лельчицы;

III зона — Северо-Восточная. Граница ее с Востока — государственная граница Республики Беларусь, с Запада граница проходит по горо-

дам: Шаркавщина – Глубокое – Докшицы – Борисов – Березино – Кличев – Бобруйск – Жлобин – Будо-Кошелево – Ветка;

II зона находится между границами I и III зон (рис. 2).



Рис. 2. Районирование Республики Беларусь по глубине промерзания грунтов

I зона характеризуется средней многолетней глубиной промерзания грунтов в пределах 45–50 см и суммой градусо-дней мороза 500–800; II зона – средняя многолетняя глубина проме-

зания грунтов – 50–60 см и 800–1000 градусо-дней мороза; III зона соответственно средней многолетней глубиной промерзания грунтов 60–75 см и суммой 1000–1300 градусо-дней мороза.

**Выводы.** Указанные границы зон (рис. 2) приблизительно совпадают с климатическими картами: температурой воздуха в самые холодные периоды года, с высотой снежного покрова, количеством дней его стояния, почвенно-грунтовой картой и др.

### Литература

1. Лапкин, Г. И. Определение глубины промерзания грунтов для целей фундаментостроения / Г. И. Лапкин // Сб. науч. тр. НИИ оснований и фундаментов. – М., 1955. – Вып. 26. – С. 36–43.
2. Леонович, И. И. Механика земляного полотна / И. И. Леонович, Н. П. Вырко. – Минск: Наука и техника, 1975. – 232 с.
3. Вырко, М. П. Сухопутный транспорт лесу: падручнік для студэнтаў ВНУ / М. П. Вырко. – Мінск: БДТУ, 2003. – 493 с.
4. Вырко, Н. П. Строительство и эксплуатация лесовозных дорог: учебник для студентов специальности «Лесоинженерное дело» / Н. П. Вырко. – Минск: БГТУ, 2005. – 446 с.

Поступила 15.03.2011