

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ГЛУБИНУ ОТТАИВАНИЯ ДОРОЖНОГО ОСНОВАНИЯ

А. Ф. Галкин<sup>1</sup>, Н. А. Плотников<sup>1</sup>, В. Ю. Панков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт мерзлотоведения имени П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН (Якутск, Российская Федерация)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Якутск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 26 апреля 2023 г.

### Для цитирования

Галкин А. Ф., Плотников Н. А., Панков В. Ю. Влияние температуры на глубину оттаивания дорожного основания // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 4. — С. 529—535. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-529-535.

*Цель работы – количественная оценка степени влияния температуры воздуха на глубину сезонного оттаивания грунтов основания автомобильных дорог в криолитозоне. Предложен простой алгоритм оценки влияния основных исходных величин и точности их определения на конечный результат расчета глубины оттаивания грунта. Установлено, что для каждого значения средней температуры воздуха существует конкретное значение необходимой точности ее задания при тепловых расчетах, которое позволит при определении глубины оттаивания грунтов избежать ошибки, превышающей допустимую в инженерной практике.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, грунт, основание, многолетняя мерзлота, прогноз, глубина оттаивания, температура, ошибка вычисления, прогноз.

### Введение

Одним из расчетных параметров, влияющих на обоснование и выбор технических и технологических решений при проектировании линейных инженерных сооружений в криолитозоне (в том числе и автомобильных дорог), является ожидаемая глубина оттаивания грунтов оснований в теплый период года [1—3]. Это вызвано тем, что физико-механические свойства мерзлых грунтов существенно зависят не только от количества, но и от агрегатного состояния поровой влаги [4—6]. Если в мерзлом состоянии грунты дорожных оснований обладают достаточной прочностью, то при оттаивании их несущая способность резко снижается [7—9]. В некоторых случаях дисперсные мерзлые породы при оттаивании вообще теряют прочность и становятся сыпучей, несвязанной массой [10]. Отмечается также, что грунтовая влага в пределах деятельно-

го слоя содержится не только в порах, но и представлена в виде отдельных ледяных прослоек и линз [11—13]. Оттаивание таких грунтов приводит к их консолидации при нагрузке, что вызывает сложности при эксплуатации линейных инженерных сооружений, вызывает их повреждение, зачастую приводя к аварийным ситуациям [14—16]. В инженерном и научном сообществе уделяется большое внимание разработке способов и средств защиты от негативного теплового воздействия линейных сооружений криолитозоны, в том числе автомобильных дорог. Как правило, это сводится к использованию при строительстве различных теплоизоляционных материалов, снижающих или полностью исключаящих оттаивание грунтов дорожных оснований [17—19]. При выборе теплоизоляционных материалов для использования в дорожных одеждах задаются допустимой по технологическим факторам глубиной оттаивания грунта дорожного основания. Естественно, что точность определения этого параметра влияет

на эффективность и надежность используемых при проектировании дорог технических решений по тепловой защите.

Цель исследований — оценка степени влияния температуры воздуха на глубину сезонного оттаивания грунтовых оснований автомобильных дорог в криолитозоне.

**Метод**

Для достижения цели воспользуемся известной формулой для определения глубины оттаивания грунтов [1; 20; 21], полученной при решении однофазной задачи Стефана при граничных условиях первого рода, которая в [20] преобразована в удобный для инженерных расчетов и анализа вид

$$S = 4\sqrt{Nt\lambda / \rho\omega}, \tag{1}$$

где  $S$  — глубина оттаивания грунта, м;  $N$  — количество месяцев в теплый период года;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности талого грунта, Вт/(м·К);  $t$  — средняя температура воздуха за период оттаивания, °С;  $\rho$  — плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  — влажность (льдистость) грунта, д. е.

Для более точного определения глубины оттаивания иногда вводят понятие эффективной теплоемкости пород [22; 23], с помощью которой учитывают влияние естественной температуры горных пород на процесс оттаивания. В этом случае знаменатель в известной формуле Стефана записывается не в виде простого произведения ( $\rho\omega L$ ), а в виде суммы ( $\rho\omega L + c_p T_e$ ). Здесь  $L$  — скрытая теплота плавления льда, Дж/кг;  $T_e$  — температура мерзлого грунта, °С;  $C_p$  — удельная объемная теплоемкость мерзлого грунта, Дж/(м<sup>3</sup>·К). В [20] была сделана оценка целесообразности данного уточнения при прогнозе глубины оттаивания пород в подземных сооружениях криолитозоны. Установлено, что для большинства практически интересных случаев применение формулы Стефана в классическом виде не приводит к большей погрешности, чем допустимо в инженерной практике (обычно 10%). Для целей, преследуемых в настоящей работе, в принципе не имеет значения, учитывается или нет естественная температура мерзлых грунтов. Поэтому применение формулы (1) будем считать вполне приемлемым.

Следуя методическому алгоритму, приведенному в [22] при анализе влияния льдистости грунтов дорожных оснований на глубину оттаивания, введем параметр  $\beta$ , характеризующий степень изменения глубины оттаивания грунтов деятельного слоя дорожного основания при изменении температуры воздуха в период эксплуатации автомобильной дороги.

$$\beta = \text{sqrt}(1 \pm gt / t), \tag{2}$$

где  $gt$  — отклонение температуры воздуха от расчетной, °С.

Данная формула получена из очевидного отношения двух формул вида (1) для определения глубины оттаивания при разных температурах воздуха, равных  $t_1$  и  $t_2 = t_1 + gt$ . Или, если использовать индексную систему записи и учитывать, что при задании средней расчетной температуры воздуха можно как завязать ее значение, так и занизить:

$$gt = \text{abs}(t_2 - t_1).$$

Параметр  $\beta$  в этом случае может быть определен по формуле

$$\beta = \text{sqrt}[1 + \text{abs}(1 - gt / t)]. \tag{3}$$

Применение данного подхода удобно в том отношении, что позволяет легко определить возможную процентную ошибку в определении глубины оттаивания грунта, которая находится по формуле

$$e = \text{abs}(1 - \beta)100\%, \tag{4}$$

где параметр  $\beta$  определяется по формуле (2).

Как уже указывалось, в инженерной практике обычно считается допустимой ошибка в расчетах меньше некоторой величины (обычно 10%). Используя это допущение, формулу (4) преобразуем к виду

$$gt = [(1 - 0,01e)^2 - 1]t. \tag{5}$$

Например, если допустимая ошибка равна 10%, то уравнение (5) преобразуется к простой линейной зависимости между параметрами  $t$  и ( $gt$ ):

$$gt = \text{abs}(0,19t). \tag{6}$$

Из этой зависимости следует простое очевидное правило: чем больше средняя температура воздуха на рассматриваемом участке дороги, тем больше допустимая степень некорректности ее задания при использовании в тепловых расчетах.

**Результаты и обсуждение**

Прежде всего следует оценить практическую возможность использования предложенной формулы для прогноза теплового режима грунтов деятельного слоя. Ввиду большого разнообразия природных климатических и геокриологических условий (даже в одной климатической зоне) все расчетные формулы носят оценочный характер и применяются в основном не для определения фиксированных значений глубины оттаивания (промерзания), а для определения возможного диапазона изменений искомого параметра [1; 2; 20; 21; 23]. Например, проведенные нами экспериментальные наблюдения на опытном полигоне в тундровой зоне в районе Надыма показали, что для соседних участков (расстояние между замерными точками составляло 5—6 м), покрытых разными видами мха, глубина оттаивания изменялась более

чем на 40%. Экспериментальные наблюдения на автомобильной дороге (Намцырский тракт) в районе Якутска показали, что максимальная глубина оттаивания на участке длиной 1 км изменялась в зависимости от ландшафта от 2,1 до 3,2 м (расчетное значение составило 2,8 м). На трассе «Колыма» (участок 0—4 км, подход к ледовой переправе) глубины оттаивания по данным кернового бурения изменялись от 3,8 до 4,5 м (расчетное значение — 4,2 м). Это свидетельствует о том, что любые теоретические формулы в конкретных условиях дают лишь оценочные результаты.

Детальная оценка точности применения теоретических формул вида (1) на практике для различных геокриологических условий путем сравнения с данными многолетних наблюдений на опытных полигонах приведена в работах А. В. Павлова [23; 24]. Автор отмечает принципиальную возможность использовать теоретические расчетные значения для оценки глубины деятельного слоя. Для повышения точности прогноза предлагаются поправочные коэффициенты, полученные на основе сравнения теоретических и экспериментальных значений. Но следует учитывать, что применение поправочных коэффициентов справедливо только относительно характерной области криолитозоны, для которой они установлены. В других регионах эти коэффициенты могут привести не к повышению, а, наоборот, к снижению точности и надежности прогноза. Поэтому для целей, преследуемых в настоящей статье, целесообразно применять классическую формулу (1).

Для достижения поставленной цели по приведенным формулам были проведены варианты расчетов, результаты которых представлены в виде 2D и 3D графиков на рис. 1—4. На рис. 1 приведены графики, отражающие зависимость глубины оттаивания грунтового основания дорожного полотна от средней температуры воздуха при различной

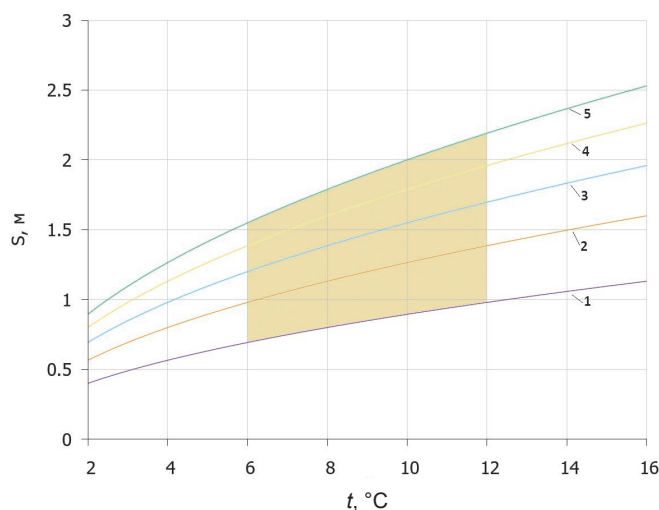


Рис. 1. Изменение глубины оттаивания грунтового основания дорожного полотна в зависимости от средней температуры воздуха при различной длительности процесса: 1, 2, 3, 4 и 5 соответствует количеству месяцев оттаивания

Fig. 1. The change in the depth of thawing of the road soil base depending on the average air temperature at different durations of the process: 1, 2, 3, 4 and 5 corresponds to the number of months of thawing

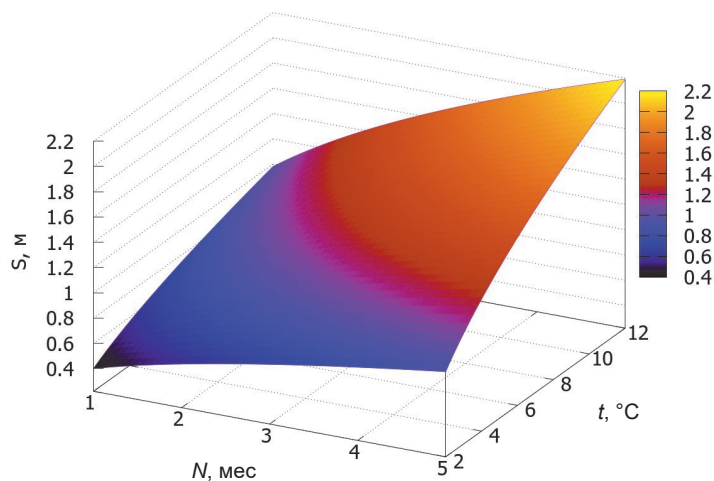


Рис. 2. Изменение глубины оттаивания грунта дорожного основания во времени от температуры воздуха

Fig. 2. Change in the depth of thawing of the road soil base over time depending on air temperature

ной длительности процесса оттаивания. Цветом на рисунке выделен наиболее характерный для криолитозоны интервал изменения температуры воздуха в теплый период года. Расчет проведен для грунта со следующими типичными характеристиками: льдистость — 20,0%, коэффициент теплопроводности в талом состоянии — 1,5 Вт/(м·К), плотность грунта в мерзлом состоянии — 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из рис. 1, зависимость глубины оттаивания от температуры воздуха является существенной для всего рассмотренного интервала времени. Причем чем больше длительность процесса оттаивания, тем эта зависимость сильнее проявляется. Так, при изменении температуры с 6,0°С до 12,0°С за первый месяц оттаивания глубина увеличивается приблизительно с 0,6 до 1,0 м (при прочих равных условиях), т. е. увеличение глубины оттаивания составляет 0,4 м. Для пяти меся-

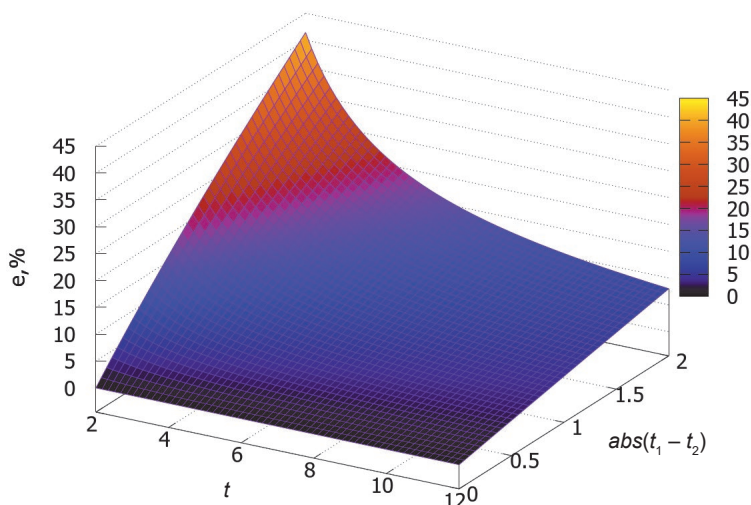


Рис. 3. Ошибка в определении глубины оттаивания грунта дорожного основания от температуры воздуха при различном отклонении среднего ( $gt$ ) значения температуры от заданного значения

Fig. 3. Error in determining the depth of thawing of the road soil base from the air temperature at different deviations of the average ( $gt$ ) temperature value from the set value

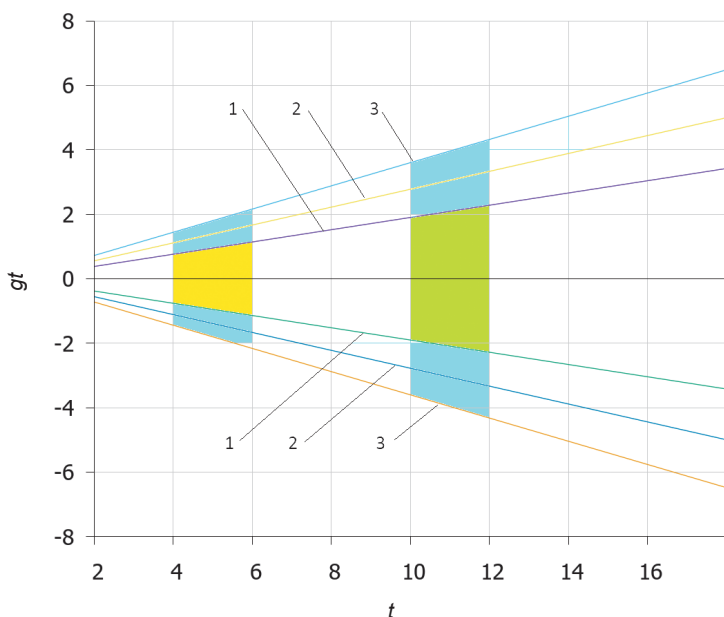


Рис. 4. Изменение параметра некорректности задания средней температуры воздуха и ее абсолютных значений при различной допустимой ошибке расчета глубины оттаивания грунта: 1 – 10%; 2 – 15%; 3 – 20%

Fig. 4. Change in the incorrectness parameter for setting the average air temperature and its absolute values with different permissible errors in calculating the depth of soil thawing: 1 – 10%; 2 – 15%; 3 – 20%

цев оттаивания эти цифры изменяются от 1,6 до 2,3 м. Соответственно прирост глубины равен 0,7 м, что почти в 1,8 раза больше.

На рис. 2 представлен 3D график изменения глубины оттаивания грунта от температуры и длительности (количества месяцев) периода оттаивания.

Вид и расположение плоскости на рисунке подтверждают сделанный вывод об изменении количественной зависимости глубины от-

таивания от температуры в различные периоды времени. Углы наклона функциональной плоскости с увеличением времени при росте температуры увеличиваются. Причем чем больше длительность периода оттаивания, тем угол наклона больше. Сравним углы наклона плоскости при одном (левый край) и пяти (правый край) месяцах оттаивания грунта, чтобы в этом наглядно убедиться.

На рис. 3 показано изменение ошибки, которая допускается при расчете глубины оттаивания, если не совсем корректно задать температуру воздуха. Расчеты выполнены для периода оттаивания, равного пяти месяцам. Степень некорректности характеризуется в данном случае параметром ( $gt$ ), выраженном в градусах Цельсия.

Как видно из графика, ошибка может достигать 50%, что в пять раз превышает допустимое в инженерной практике значение процентной ошибки. В то же время вид плоскости на рис. 3 свидетельствует о том, что такие значения процентной ошибки характерны для небольшого диапазона изменения параметров  $t$  и  $gt$ . Поэтому представляет интерес, при каких изменениях указанных параметров ошибка в расчетах не превысит некоторого допустимого значения. Эта зависимость представлена в виде графика на рис. 4.

Желтым и зеленым выделена область для диапазона изменения средней температуры воздуха 4,0—6,0°C и 10,0—12,0°C соответственно. Видно, что эти области существенно отличаются. Если во второй области допустимая некорректность задания температуры достигает 2,1°C, то в первой области значение этого параметра не превышает 1,0°C. Если допустимая ошибка увеличивается в два раза (области выделены на рисунке голубым цветом), то эти показатели также увеличиваются и становятся еще более контрастными, хотя по относительному значению эта величина остается постоянной, равной приблизи-

тельно 2 (4,2°C и 2,1°C при значениях средней температуры воздуха 12,0°C и 6,0°C соответственно).

### Заключение

Исследовано влияние средней температуры воздуха и точности ее задания на глубину оттаивания грунтовых оснований автомобильных дорог в различных климатических зонах. Результаты численных расчетов представлены в виде графиков, которые позволяют наглядно оценить влияние температуры и степени ее изменения в период эксплуатации дороги на глубину оттаивания дорожного основания. Установлено в частности, что зависимость глубины оттаивания от температуры воздуха существенна для всего рассмотренного интервала времени. Причем чем больше длительность процесса оттаивания, тем эта зависимость проявляется более сильно. Так, при изменении температуры с 6,0°C до 12,0°C (при прочих равных условиях) за первый месяц оттаивания глубина увеличивается приблизительно с 0,6 до 1,0 м. А для пяти месяцев оттаивания эти цифры изменяются — с 1,6 до 2,3 м. Приrost глубины оттаивания почти в 1,8 раза больше. Показано, что степень изменения глубины оттаивания является нелинейной величиной, зависящей как от собственно средней температуры воздуха, так и от точности ее задания. Причем для каждого значения средней температуры воздуха существует и определено конкретное значение точности ее задания при проведении тепловых расчетов, которое позволит при определении глубины оттаивания грунтов избежать ошибки, превышающей допустимую в инженерной практике. Построен 3D график, позволяющий оперативно оценить ожидаемую процентную ошибку при прогнозе глубины оттаивания грунтов в зависимости от значения средней температуры воздуха и степени точности ее задания при формировании блока исходных данных для тепловых расчетов.

Статья может быть полезна инженерам-проектировщикам и практикам дорожной отрасли. Но прежде всего она имеет методическое значение, поскольку позволяет наглядно и по простому алгоритму оценить влияние точности задания исходных данных на достоверность полученных результатов. В этом плане статья будет интересна не только преподавателям учебных дисциплин технического и строительного профиля, но и студентам, магистрантам и аспирантам, обучающимся по специальности 08.02.05 «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов». Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение влияния теплофизических свойств дисперсных грунтов на глубину оттаивания дорожных оснований с учетом их зависимости от начальной влажности (льдистости), в том числе при ее изменении в период эксплуатации автомобильных дорог под воздействием естественных и антропогенных факторов.

### Финансирование

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Тепловое поле и криогенная толща Северо-Востока России. Особенности формирования и динамика» (№ 122011800062-5).

### Литература/References

1. Железняк И. И., Саркисян Р. М. Методы управления сезонным промерзанием грунтов в Забайкалье. — Новосибирск: Наука, 1987. — 128 с.  
*Zheleznyak I. I., Sarkisyan R. M. Methods of controlling seasonal freezing of soils in Transbaikalia. Novosibirsk, Nauka, 1987, 128 p. (In Russian).*
2. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / Под ред. Ю. Я. Вели, В. В. Докучаева, Н. Ф. Федорова. — Л.: Стройиздат, 1977. — 552 с.  
*Handbook of construction on permafrost soils. Ed. by Yu. Ya. Veli, V. V. Dokuchaeva, N. F. Fedorova. Leningrad, Stroyizdat, 1977, 552 p. (In Russian).*
3. Pankov V. Yu. The problem of mechanical loads on pavement of roads in the cryolithic zone. E3S Web of Conferences, 2022, 363, 01039. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236301039>.
4. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. — М.: Высш. шк., 1973. — 448 с.  
*Tsytovich N. A. Mechanics of frozen soils. Moscow, Higher School, 1973, 448 p. (In Russian).*
5. Guofang Xu, Jilin Qi, Wei Wu. Temperature Effect on the Compressive Strength of Frozen Soils: A Review. Recent Advances in Geotechnical Research. [S. l.], Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, 2019, pp. 227—236. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-89671-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-89671-7_19).
6. Хименков А. Н., Гагарин В. Е. Подходы к изучению деформаций в многолетнемерзлых грунтах // Арктика и Антарктика. — 2022. — № 2. — С. 36 — 65. — DOI: 10.7256/2453-8922.2022.2.38229.  
*Khimenkov A. N., Gagarin V. E. Approaches to the study of deformations in permafrost soils. Arctic and Antarctic, 2022, no. 2, pp. 36—65. DOI: 10.7256/2453-8922.2022.2.38229. (In Russian).*
7. Вахрин И. С., Кузьмин Г. П., Спектор В. В. Деформационные характеристики оттаивающих грунтов естественного сложения // Успехи современ. естествознания. — 2020. — № 8. — С. 37—42.  
*Vakhrin I. S., Kuzmin G. P., Spector V. V. Deformation characteristics of thawing soils of natural composition. The successes of modern natural science, 2020, no. 8, pp. 37—42. (In Russian).*
8. Кондратьев В. Г., Кондратьев С. В. Как защитить федеральную автодорогу «Амур» Чита — Хабаровск от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений // Инженер. геология. — 2013. — № 5. — С. 40—47.  
*Kondratiev V. G., Kondratiev S. V. How to protect the federal highway “Amur” Chita — Khabarovsk from dangerous geocryological engineering processes and phenomena. Engineering geology, 2013, no. 5, pp. 40—47. (In Russian).*

9. Жирков А. Ф., Железняк М. Н., Шац М. М., Сивцев М. А. Численное моделирование изменения мерзлотных условий взлетно-посадочной полосы аэропорта Олекминск // Маркшейдерия и недропользование. — 2021. — № 5 (115). — С. 22—32. Zhirkov A. F., Zheleznyak M. N., Shats M. M., Sivtsev M. A. Numerical modeling of changes in permafrost conditions of the runway of the airport Olekminsk. Surveying and subsoil use, 2021, no. 5 (115), pp. 22—32. (In Russian).
10. Шерстов В. А. Повышение устойчивости выработка россыпных шахт Севера. — Новосибирск: Наука, 1980. — 56 с. Sherstov V. A. Increasing the stability of the workings of placer mines of the North. Novosibirsk, Nauka, 1980, 56 p. (In Russian).
11. Permyakov P. P., Zhirkov A. F., Varlamov S. P. Numerical modeling of railway embankment deformations in permafrost regions, Central Yakutia. Lecture Notes in Civil Engineering, 2020, vol. 50, pp. 93—97.
12. Николаева М. В., Стручкова Г. П. Прогнозирование теплового взаимодействия участка подземного трубопровода с льдистыми грунтами // Технологии нефти и газа. — 2018. — № 4 (117). — С. 56—60. Nikolaeva M. V., Struchkova G. P. Forecasting of thermal interaction of an underground pipeline section with icy soils. Oil and gas technologies, 2018, no. 4 (117), pp. 56—60. (In Russian).
13. Niu F., Li A., Luo J., Lin Z., Yin G., Liu M., Zheng H., Liu H. Soil moisture, ground temperatures and deformation of a high-speed railway embankment in Northeast China. Cold Reg Sci Technol., 2017, vol. 133, pp. 7—14.
14. Станиловская Ю. В., Мерзляков В. П., Сергеев Д. О., Хименков А. Н. Оценка опасности полигонально-жильных льдов для линейных сооружений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2014. — № 4. — С. 367—378. Stanilovskaya Yu. V., Merzlyakov V. P., Sergeev D. O., Khimenkov A. N. Assessment of the danger of polygonal-vein ice for linear structures. Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology, 2014, no. 4, pp. 367—378. (In Russian).
15. Железняк М. Н., Шестернев Д. М., Литовко А. В. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне // Материалы докладов XIV Общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». — М.: Геомаркет, 2018. — С. 223—227. Zheleznyak M. N., Shesternev D. M., Litovko A. V. Problems of stability of highways in the cryolithozone. Materials of the reports of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference “Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation”. Moscow, Geomarket, 2018, pp. 223—227. (In Russian).
16. Шестернев Д. М., Литовко А. В. Комплексные исследования по выявлению деформаций на автомобильной дороге «Амур» // Материалы докладов XIV Общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». — М.: Геомаркет, 2018. — С. 309—314. Shesternev D. M., Litovko A. V. Comprehensive studies on the detection of deformations on the Amur highway. Materials of the reports of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference “Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation”. Moscow, Geomarket, 2018, pp. 309—314. (In Russian).
17. Galkin A. F., Pankov V. Yu. Thermal Protection of Roads in The Permafrost Zone. J. of Applied Engineering Science, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 395—39.
18. Ключков Я. В., Непомнящих Е. В., Линейцев В. Ю. Применение пеностекла для регулирования теплового режима грунтов в сложных климатических условиях // Вестн. ЗабГУ. — 2015. — № 6 (121). — С. 9—15. Klochkov Ya. V., Nepomnyashchikh E. V., Lineitsev V. Yu. The use of foam glass for regulating the thermal regime of soils in difficult climatic conditions. Bull. of ZabGU, 2015, no. 6 (121), pp. 9—15. (In Russian).
19. Galkin A. F., Zheleznyak M. N., Zhirkov A. F. Increasing Thermal Stability of the Roads in Cryolithic Zone. Transportation Research Procedia, 2022, vol. 63, pp. 412—419.
20. Галкин А. Ф., Курта И. В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Гор. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн. журн.). — 2020. — № 2. — С. 82—91. — DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91. Galkin A. F., Kurta I. V. The influence of temperature on the depth of thawing of frozen rocks. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2020, no. 2, pp. 82—91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91. (In Russian).
21. Гудмен Т. Р. Применение интегральных методов в нелинейных задачах нестационарного теплообмена // Проблемы теплообмена. — М.: Атомиздат, 1967. — С. 41—95. Goodman T. R. Application of integral methods in non-linear problems of unsteady heat transfer. Problems of heat transfer. Moscow, Atomizdat, 1967, pp. 41—95. (In Russian).
22. Галкин А. Ф., Панков В. Ю. Влияние льдистости грунта на глубину оттаивания дорожного основания // Арктика и Антарктика. — 2022. — № 2. — С. 13—19. Galkin A. F., Pankov V. Yu. The influence of the iciness of the soil on the depth of thawing of the road base. Arctic and Antarctic, 2022, no. 2, pp. 13—19. (In Russian).
23. Павлов А. В. Теплофизика ландшафтов. — Новосибирск: Наука, 1979. — 284 с. Pavlov A. V. Thermal physics of landscapes. Novosibirsk, Nauka, 1979, 284 p. (In Russian).
24. Павлов А. В. Мониторинг криолитозоны. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 229 с. Pavlov A. V. Monitoring of permafrost. Novosibirsk, Geo, 2008, 229 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Галкин Александр Федорович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория геотермии криолитозоны, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН (677010, Россия, Якутск, Мерзлотная ул., д. 36), e-mail: afgalkin@mail.ru.

**Плотников Николай Афанасьевич**, аспирант, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН (677010, Россия, Якутск, Мерзлотная ул., д. 36), e-mail: plotnikov-nikolay96@mail.ru.

**Панков Владимир Юрьевич**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы», Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова (677027, Россия, Якутск, ул. Белинского, д. 58), e-mail: pankov1956@inbox.ru.

---

## THE EFFECT OF AIR TEMPERATURE ON THAWING DEPTH OF THE ROAD BASE

Galkin, A. F.<sup>1</sup>, Plotnikov, N. A.<sup>1</sup>, Pankov, V. Yu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russian Federation)

<sup>2</sup> North-Eastern Federal University (Yakutsk, Russian Federation)

### For citing

Galkin A. F., Plotnikov N. A., Pankov V. Yu. The effect of air temperature on thawing depth of the road base. Arctic: Ecology and Economy, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 529—535. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-529-535. (In Russian).

The article was received on April 26, 2023

### Abstract

The paper is aimed at a quantitative assessment of the air temperature influence degree on the depth of seasonal thawing of the road soil bases in the permafrost zone. The authors propose a simple algorithm for assessing the influence of the main initial values and the accuracy of their determination on the final result of calculating the depth of soil thawing. They have established that for each value of the average air temperature there is a specific value of the required accuracy of setting it when charring out thermal calculations, which will avoid errors in determining the depth of soil thawing that is greater than what is permissible in engineering practice.

**Keywords:** roadway, soil, base, permafrost, forecast, depth of thawing, temperature, calculation error, forecast.

### Financing

The work was carried out according to the state assignment on the theme “Thermal field and cryogenic thickness of the North-East of Russia. Features of formation and dynamics” (No. 122011800062-5).

---

### Information about the authors

**Galkin Aleksandr Fedorovich**, Doctor of Engineering, Professor, Head Researcher, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (36, Merzlotnaya str., Yakutsk, Russia, 677010), e-mail: afgalkin@mail.ru.

**Plotnikov Nikolay Afanasievich**, graduate student, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (36, Merzlotnaya str., Yakutsk, Russia, 677010), e-mail: plotnikov-nikolay96@mail.ru.

**Pankov Vladimir Yurievich**, PhD of Geological Sciences, Associate Professor, North-Eastern Federal University (58, Belinsky str., Yakutsk, Russia, 677027), e-mail: pankov1956@inbox.ru.