

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЛЕВЫХ ДОБАВОК НА
ВЕЛИЧИНУ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

Канд. техн. наук **С.А. Мясникова**,
д-р хим. наук **В.А. Шорин**,
канд. техн. наук **А.Ю. Вельсовский**
(Вологодский государственный университет (ВоГУ))
Контактная информация: lana-m-11@mail.ru;
ad@vogu35.ru

Статья касается исследования влияния химических солевых добавок на морозоустойчивость конструкции автомобильных дорог. Приведены методики и технологии введения в грунт солевых добавок. Отражена подготовка грунта, обработанного соевыми добавками, для испытания на морозное пучение. Исследована кинетика процессов морозного пучения эталонного грунта и грунта, обработанного соевыми добавками. Изучено влияние вида и концентрации солевой добавки на степень морозного пучения грунтов. Выявлены коррелятивные связи влияния химических солевых добавок на показатели морозного пучения грунтов.

Ключевые слова: химические солевые добавки, засоленный грунт, морозное пучение грунтов, автомобильные дороги, морозоустойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Химические материалы в виде песчано-соляных смесей, рассолов и чистых химических реагентов повсеместно используются в практике дорожного хозяйства Российской Федерации. Исследования, выполняемые в связи с их применением, чаще всего посвящены изучению конкретных характеристик понижения температуры замерзания, а также экологических вопросов воздействия таких материалов на окружающую среду. Что касается их влияния на морозоустойчивость дорожной конструкции, то эти сведения в технической литературе практически отсутствуют. В настоящее время на кафедре «Автомобильные дороги» Вологодского государственного университета накоплен значительный опыт по вопросам испытания грунтов на морозное пучение, обеспечения морозоустойчивости дорожных конструкций и исследованию современных ионных химических стабилизаторов грунта для дорожного строительства [1-6].

Целью работы, рассмотренной в данной статье, было

исследование влияния химических солевых материалов на морозное пучение грунтов земляного полотна автомобильной дороги.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования с целью определения влияния солевых хлористых добавок, применяемых на автомобильных дорогах Вологодской области, на морозное пучение грунтов земляного полотна включали разделы:

1. Определение степени засоленности грунта земляного полотна на участке дороги с применением противогололедных добавок.
2. Определение пучинистых свойств грунтов отобранных проб.
3. Определение влияния засоленности на пучинистые свойства искусственно засоленных грунтов.

По первому разделу объектом исследований служила автомобильная дорога III категории регионального значения, на которой уже более 10 лет в качестве противогололедной добавки используется природный соляной рассол.

На выбранном участке дороги в трех створах, расположенных друг от друга на расстоянии 1-1,5 км, отбирались пробы грунта земляного полотна с обочины с глубины 1,8-2,0 м. Согласно ГОСТ 25100-2020 [7], данный грунт классифицировался как суглинок тугопластичный легкий пылеватый. Лабораторные испытания показали, что три пробы грунта имели следующую величину засоленности: 0,07; 0,02; 0,06 %.

Второй этап исследований включал испытание на морозное пучение трех образцов, изготавливаемых из пробы с засоленностью 0,06 %, а также этого же грунта после его рассоления. Работы по рассолению грунта включали высушивание грунта, его измельчение и заливку пятикратным объемом воды. В этом состоянии грунт выдерживали две недели, затем сливали воду и готовили грунт для дальнейших испытаний.

Для испытания образцов грунта на морозное пучение использовалась установка нового поколения конструкции Вологодского государственного технического университета. Принятая в установке новизна конструктивного решения подтверждена патентом на изобретение № 2313788 от 27.12.2007 [8]. Образцы грунта для испытания изготавливали при оптимальной влажности и коэффициенте стандартного уплотнения 0,98-1,0.

Методика проведения этих испытаний принималась в соответствии с ГОСТ 28622-2012 [9].

Анализ и обсуждение результатов

Были рассмотрены следующие вопросы, касающиеся засоленных грунтов:

- Использование искусственного засоления грунта в качестве противопучинного мероприятия в фундаментостроении.
- Использование искусственного засоления для комплексного выполнения земляных работ в зимнее время (разработка, транспортировка и укладка с уплотнением грунта).
- Изучение характеристик засоленного грунта (в том числе мерзлого) в естественном залегании и их распространение.

Так, для засоления грунтов используются эвтектические растворы хлористого натрия, магния и кальция с температурой замерзания, соответственно равной минус 21,2; 33,6 и 55 °С. Помимо понижения температуры замерзания хлористые соли дают значительный эффект по снижению пучения. Это направление широко используется в фундаментостроении. Для засоления обычно используют как кристаллическую безводную соль, так и солевые растворы. Последние не рекомендуется применять в сильно увлажнённых грунтах, во избежание вымывания этих солей из грунта.

При местном засолении грунта возникает диффузия солей из области большей концентрации в область меньшей концентрации. Через некоторое время после засоления происходит уменьшение концентрации грунтового раствора в пределах области местного засоления. Скорость проникновения водорастворимых солей в грунт может быть весьма различна. По данным Печорского научно-исследовательского института, диффузия солей в талые связные грунты происходит со скоростью 2-3 см за 10 дней, а в мерзлые – в два раза медленнее.

Как установлено С.Б. Уховым [10], при отсыпке слоями в 30 см и послойном засолении суглинка хлористым натрием его засоление будет практически равномерным через 70-80 дней. В мерзлом суглинке при температуре от минус 1,4 до минус 4,8 °С равномерное засоление будет достигнуто через 80-100 дней.

Исследования влияния химических солевых добавок на окружающую среду показали, что использование как пескосоляной смеси, так и рассолов приводит к накоплению в грунтах химических элементов и солей. Отмечается изменение их концентрации в различные периоды времени.

К недостаткам метода засоления грунта также относят увеличение морозоопасности грунта при его рассолении, а в некоторых случаях разрушение битумно-грунтовых покрытий.

Результаты выполненных исследований представлены на графиках для трех образцов грунта с засоленностью 0,06 % на **рис. 1**, а для образцов рассоленного грунта – на **рис. 2**.

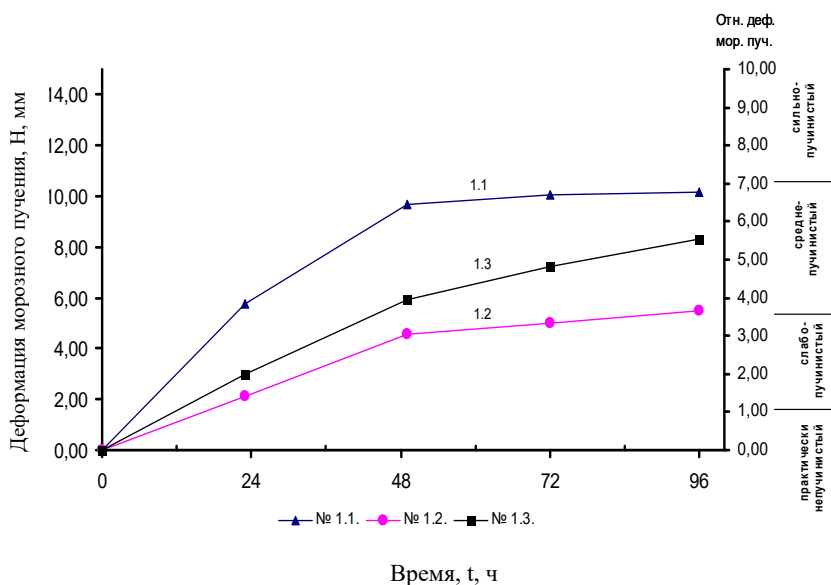


Рис. 1. График зависимости деформации морозного пучения от времени для трех образцов грунта с засоленностью 0,06 %

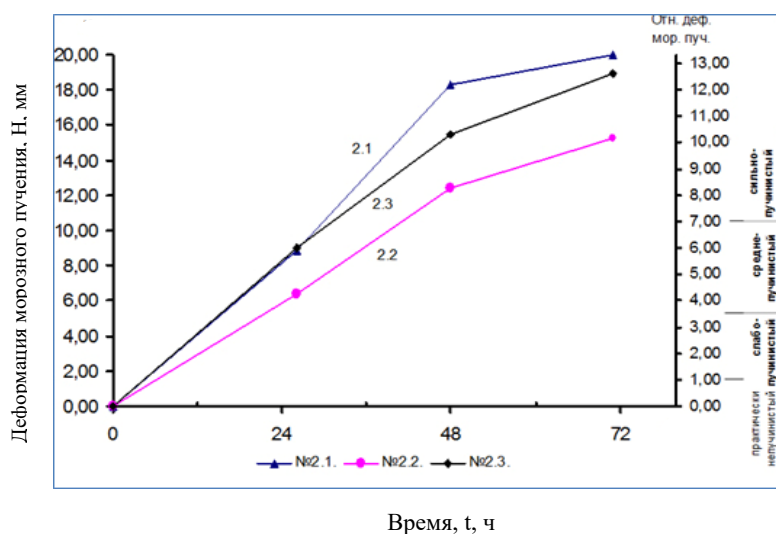


Рис. 2. График зависимости деформации морозного пучения от времени для трех образцов рассоленного грунта

На **рис. 1** и **2** приведена шкала относительной деформации морозного пучения (ε_{fn} , ε_{fncp}) для стадии полного промерзания образца и классификация степени морозного пучения по ГОСТ 25100-2020 [7]. Анализ полученных результатов показал, что при рассолении грунта пучинистые свойства его повышаются. Так, среднее значение относительной деформации увеличилось более чем в два раза, а степень морозного пучения со среднепучинистого повысилась до сильнопучинистого.

Третий этап исследований включал подготовку двух типов (глинистого и песчаного) искусственно засоленных грунтов и испытание их на морозное пучение. Эти грунты классифицировались как супесь пылеватая и мелкий песок. Для засоления грунтов использовалась соль хлористого натрия. Из каждого вида грунтов изготавливалось по два образца незасоленного грунта и с засоленностью 0,075 % и 0,15 %.

Графики нарастания деформации морозного пучения во времени для незасоленного супесчаного грунта и с засоленностью 0,075 % приведены на **рис. 3**.

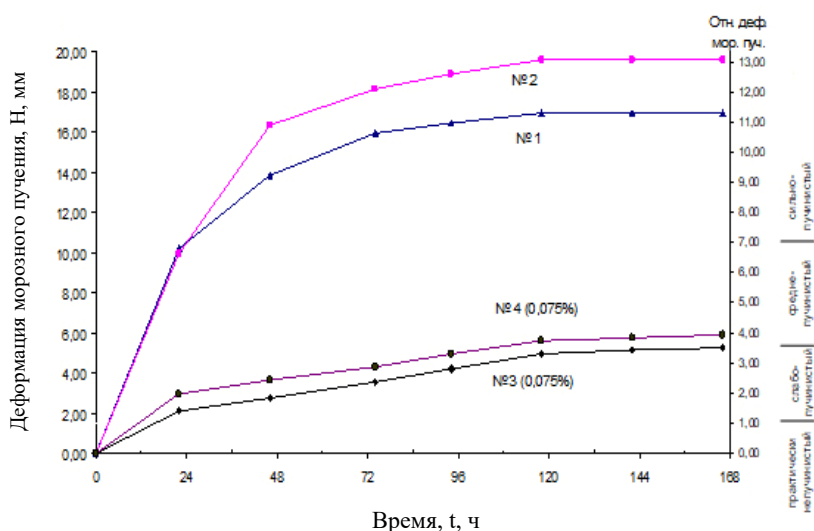


Рис. 3. График зависимости «деформация морозного пучения – время» для незасоленных грунтов № 1, № 2 и с засоленностью 0,075 % – № 3, № 4: образцы № 1, № 3 – песчаный грунт; образцы № 2, № 4 – глинистый грунт

Из графика на **рис. 3** отчетливо видно, что при засолении песчаного и глинистого эталонного грунтов до концентрации 0,075 % их пучинистые свойства уменьшаются.

По результатам выполненных испытаний полученные значения относительной деформации морозного пучения образцов ε_{fn} , $\varepsilon_{fn\text{cp}}$ и их классификация по степени морозного пучения приведены в **табл. 1**.

Таблица 1

<i>Вид грунта</i>		$\varepsilon_{fn}, \%$	$\varepsilon_{fn\text{cp}}, \%$	<i>Степень морозного пучения по ГОСТ 25100-2020</i>
Эталонный незасоленный грунт	Песчаный	1,73	1,85	Слабопучинистый
		1,97		
	Глинистый	11,29	12,18	Сильнопучинистый
		13,07		
Грунт с засоленностью 0,15 %	Песчаный	1,25	1,18	Слабопучинистый
		1,10		
	Глинистый	4,28	4,00	Среднепучинистый
		3,71		
Грунт с засоленностью 0,075 %	Песчаный	0,99	1,47	Слабопучинистый
		1,95		
	Глинистый	3,50	3,72	Среднепучинистый
		3,94		

Из приведенных данных следует, что уже при значениях засоленности грунта, близкой к той, которая была установлена для глинистого грунта земляного полотна на дорогах, где используются химические солевые добавки, относительная деформация морозного пучения уменьшилась примерно в 3 раза.

Одной из причин засоления грунтов земляного полотна на автомобильной дороге является проникновение солевых растворов через покрытия, обочины и откосы при зимнем содержании с использованием химических противогололедных материалов.

При традиционной технологии нанесения химических солевых добавок на дорожное покрытие нет уверенности, что засоленность земляного полотна будет постоянна. В первую очередь это связано с применением песчано-соляных смесей, поскольку за счет диффузии солей будет происходить локальное засоление отдельных участков земляного полотна. Неравномерность засоления тела грунта земляного полотна обусловит неравномерность деформации дорожного покрытия из-за морозного пучения. Эти деформации могут привести к нарушению морозоустойчивости дорожной конструкции, даже если она была обеспечена расчетом для незасоленного грунта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что химические солевые добавки оказывают влияние на степень морозного пучения грунтов. Показаны коррелятивные зависимости такого влияния в зависимости от вида и концентрации солевой добавки.

Для детализации результатов исследований влияния химических солевых добавок на морозоустойчивость дорожной конструкции исследования необходимо продолжить в следующих направлениях:

1. Определение характеристик морозного пучения для всех видов глинистых грунтов.
2. Выявление и учет изменения свойств грунтов при возможной неравномерной засоленности грунтов от применения противогололедных материалов на стадии инженерно-геологических изысканий для реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган Г.Л. Проектирование дорожных конструкций на морозоустойчивость / Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский, В.А. Шорин. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2019. – 94 с.
2. Shorin V.A. Application of an ionic stabilizer for reinforcing and ensuring frost resistance of clay soils / V.A. Shorin., A.Y. Velsovskij, T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – P. 01037.
3. Velsovskij A.Y. Study of the influence of chemical anti-icing materials on frost heaving of the roadbed soils / A.Y. Velsovskij, V.A. Shorin, T.R. Akhmetov // E3S Web of Conferences. – 2020. – P. 01064.
4. Kagan G.L. To the question of improvement, the normative methodology for calculating the frost resistance of a road structure / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – P. 01038.
5. Kagan G.L. Testing of a road structure for frost resistance using the curve of frost heaving intensity / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020. – 2020. – P. 01039.
6. Velsovskij A. Study of processes of artificial freezing and thawing of soils when developing a model of energy-efficient radiation-convection setup / A. Velsovskij, L. Mukhametova, A. Sinitsyn, D. Karpov // E3S web of conferences. – 2020. – P. 01018.

7. ГОСТ 25100-20. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 57 с.
8. Патент 2313788 Российская Федерация, МПК G01 N33/38. Автономное устройство для испытания грунта на морозоустойчивость / В.А. Шорин, Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский; заявитель и патентообладатель ООО Научно-производственный центр «Хайтек». – № 2006114095/03; заявл. 27.04.2006; опубл. 27.12.2007. – Бюл. – 2007. – № 36. – 3 с.
9. ГОСТ 28622-2012. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М.: Стандартинформ, 2013. – 57 с.
10. Ухов С.Б. Об искусственном засолении суглинистых грунтов для строительства в зимнее время / С.Б. Ухов // Изв. вузов. Сер. Стр-во и арх. – 1959. – № 1. – 178 с.

L I T E R A T U R A

1. Kagan G.L. *Proektirovanie dorozhnyh konstrukcij na morozoustojchivost'* / G.L. Kagan, A.YU. Vel'sovskij, V.A. SHorin. – Vologda: Vologodskij gosudarstvennyj universitet, 2019. – 94 s.
2. Shorin V.A. *Application of an ionic stabilizer for reinforcing and ensuring frost resistance of clay soils* / V.A. Shorin., A.Y. Velsovskij, T.R. Akhmetov // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – P. 01037.
3. Velsovskij A.Y. *Study of the influence of chemical anti-icing materials on frost heaving of the roadbed soils* / A.Y. Velsovskij, V.A. Shorin, T.R. Akhmetov // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – P. 01064.
4. Kagan G.L. *To the question of improvement, the normative methodology for calculating the frost resistance of a road structure* / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // *E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020*. – 2020. – P. 01038.
5. Kagan G.L. *Testing of a road structure for frost resistance using the curve of frost heaving intensity* / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.Y. Velsovskij // *E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020*. – 2020. – P. 01039.
6. Velsovskij A. *Study of processes of artificial freezing and thawing of soils when developing a model of energy-efficient radiation-convection setup* / A. Velsovskij, L. Mukhametova, A. Sinitsyn, D. Karpov // *E3S web of conferences*. – 2020. – P. 01018.
7. GOST 25100-20. *Grunty. Klassifikaciya*. – М.: Standartinform, 2020. – 57 s.

8. Patent 2313788 Rossijskaya Federaciya, MPK G01 N33/38. Avtonomnoe ustrojstvo dlya ispytaniya grunta na morozoustojchivost' / V.A. Shorin, G.L. Kagan, A.YU. Vel'sovskij; zayavitel' i patentoobladatel' OOO Nauchno-proizvodstvennyj centr «Hajtek». – № 2006114095/03; zayavl. 27.04.2006; opubl. 27.12.2007. – Byul. – 2007. – № 36. – 3 s.
9. GOST 28622-2012. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya stepeni puchinistosti. – M.: Standartinform, 2013. – 57 s.
10. Uhov S.B. Ob iskusstvennom zasolenii suglinistykh gruntov dlya stroitel'stva v zimnee vremya / S.B. Uhov // Izv. vuzov. Ser. Str-vo i arh. – 1959. – № 1. – 178 s.

.....

INFLUENCE OF CHEMICAL SALT ADDITIVES ON THE AMOUNT OF FROST HEAVING OF THE ROAD SUBGRADE SOILS

*Ph. D. (Tech.) S.A. Myasnikova,
Doctor of Chemistry V.A. Shorin,
Ph. D. (Tech.) A.Y. Vel'sovskij
(Vologda State University (VoSU)
Contact information: lana-m-11@mail.ru;
ad@vogu35.ru*

The article deals with the research of chemical salt additives influence on the frost resistance of the road structure. The methods and technologies for introducing salt additives into the soil are given. The soil preparation treated with salt additives for frost heaving testing is considered. The kinetics of the frost heaving processes of the benchmark soil and the soil treated with salt additives has been studied. The type and concentration influence of salt additive on the degree of frost heaving of soils is examined. Correlative relations of the chemical salt additives influence on indicators of soil frost heaving are revealed.

Key words: *chemical salt additives, saline soil, soil frost heaving, roads, frost resistance.*

Рецензент: канд. техн. наук И.А. Рахимова (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 28.02.2022 г.