

УДК 551.34:624.142

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫЕ СВОЙСТВА ТЕХНОГЕННЫХ КРИОГЕННЫХ ГРУНТОВ

© 2012 А.В. Степанов, Е.К. Далбаева

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П.Ларионова СО РАН, г. Якутск

Поступила в редакцию 29.11.2012

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований тепломассообменных свойств техногенных грунтов, подвергнутых циклам промерзания-оттаивания.

Ключевые слова: *мерзлые грунты, песчано-глинистая смесь, плотность, влажность, температура, теплопроводность, фильтрация*

В развитии производительных сил северо-восточных районов России определяющее значение имеют открытая и подземная разработки месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатация различных инженерных сооружений, зданий и коммуникаций. Безопасность и надежность всех этих форм производственной деятельности человека базируется на научных знаниях о свойствах горных пород, грунтов и почв, слагающих верхние горизонты земной коры и происходящих в них физико-механических процессах. В настоящее время инженерной геокриологией создан надежный научный фундамент для решения технических проблем и задач, возникающих при техногенном воздействии человека на многолетнемерзлые горные породы. Разработаны теоретические положения влагопереноса и криогенного текстуробразования в промерзающих, мерзлых горных породах и грунтах. Среди большого количества задач и проблем, решаемых инженерной геокриологией, одной из главных является прогноз изменения геокриологических условий при хозяйственном освоении территории, а также теплового и механического взаимодействия инженерных сооружений с горными породами.

Для строительства различных плотин, дамб, насыпей под дороги, подсыпок при вертикальной планировке строительной площадки используются местные грунты. Такие грунты при классификации их по ГОСТу 25100-95 выделяются в класс техногенных – естественных грунтов, измененных и перемещенных в результате производственной и хозяйственной деятельности человека. В результате превращения

естественных грунтов в техногенные их физико-механические свойства существенно меняются. По нормативным требованиям испытания техногенных грунтов для определения теплофизических характеристик, коэффициента фильтрации, сжимаемости, прочности и других свойств проводятся в лабораторных условиях. Для получения результатов, более полно соответствующих северным условиям, свойства техногенных грунтов необходимо изучать после воздействия отрицательных температур.

Еще в начале 60-х г. XX в. в инженерном мерзлотоведении было установлено, что коэффициент фильтрации грунтов слоя сезонного оттаивания в условиях естественного залегания намного превышает коэффициент фильтрации тех же грунтов с нарушенной структурой, определенный в лабораторных условиях. Таким образом, этот установленный факт доказывает, что и у техногенных грунтов после сезонного промерзания-оттаивания коэффициент фильтрации резко увеличится. Для длительной безаварийной эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне уже на начальных этапах проектирования требуется выполнить тщательный теплотехнический расчет и математическое моделирование процессов тепломассообмена в техногенных грунтах и в строительных материалах, конструкциях. Исходная информация для прогнозных приближенных оценок и детальных теплотехнических расчетов температурно-влажностных полей, циклических тепломассообменных процессов в дисперсных материалах включает совокупность теплофизических, массообменных характеристик и данных по фазовому состоянию поровой влаги при отрицательных температурах. При этом тепломассообменные свойства дисперсных материалов испытывают значительные количественные изменения при переходе через температуру начала замерзания и в диапазоне температур фазовых превращений

Степанов Анатолий Викторович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела тепломассообмена. E-mail: a.v.stepanov@iptpn.ysn.ru
Далбаева Евдокия Константиновна, научный сотрудник отдела тепломассообмена

порового раствора и воды, связанной поверхностными силами минеральных частиц грунтов и дисперсных материалов. Эти изменения и криогенная текстура, появляющаяся в результате циклов замораживания-оттаивания, требуют разработки новых методов исследования тепло-массообменных свойств, учитывающих происходящие изменения.

В трудах выдающихся советских теплофизиков А.В. Лыкова, А.Ф. Чудновского и их многочисленных учеников заложены основы учения о тепло- и массообмене в дисперсных, капиллярно-пористых средах [1-4]. Теория тепло-массопереноса, применительно к мерзлым и протаивающим горным породам криолитозоны, развита в работах Н.С. Иванова [5-7], Э.Д. Ершова [8, 9], А.П. Порхаева [10], А.В. Павлова [11] и др. В последние годы на эту тему защитили докторские диссертации В.Г. Чевеверев [12], И.А. Комаров [13], Р.И. Гаврильев [14], Тимофеев А.М. [15], Старостин Е.Г. [16]. Изучение процессов тепло- и массообмена в грунтах и горных породах при промерзании и протаивании, а также разработка методов целенаправленного воздействия на эти процессы возможны лишь при наличии систематизированных данных об их тепло-массообменных свойствах в диапазоне естественного изменения физических параметров.

Все разнообразие дисперсных материалов можно объединить в три основные категории, характеризующиеся определенными закономерностями тепло- и массообмена:

- мелкозернистые материалы, обладающие высокоразвитой поверхностью раздела, значительным содержанием связанной воды, которая замерзает в диапазоне температур фазовых переходов лед-вода. Типичными представителями таких материалов являются глинистые и порошковые;

- крупнозернистые материалы со сравнительно слабо развитой поверхностью раздела и незначительным содержанием связанной воды. Фазовые переходы поровой воды в таких средах происходят при определенной температуре. К таким средам относятся крупнозернистые пески, галечниково-щебенистые и измельченные материалы;

- крупнообломочные материалы, содержание связанной и свободной воды в которых незначительно. Фазовые переходы поровой воды в таких материалах не имеют существенного значения, а процессы теплообмена как при положительных, так и при отрицательных температурах протекают идентично.

В настоящее время более подробно изучено влияние циклических криогенных воздействий на структуру дисперсных сред [9, 17], а о влиянии их на тепло-массообменные характеристики дисперсных сред имеются

разрозненные малочисленные данные. В связи с этим в данном докладе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния циклов

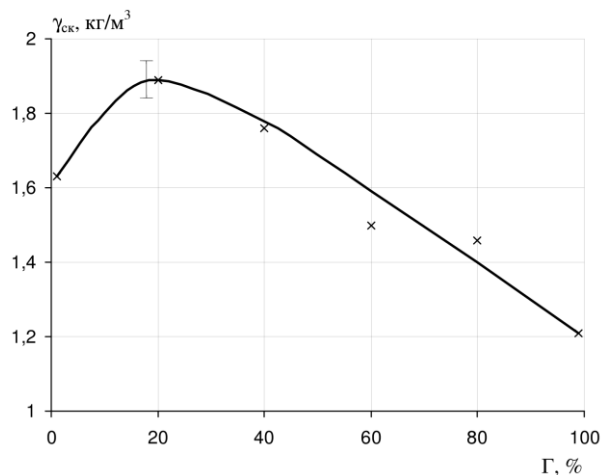


Рис. 1. Зависимость плотности смеси грунтов от содержания глинистой составляющей (Γ) замораживания-оттаивания на тепло-массообменные характеристики техногенных грунтов [18-20]

На рис. 1 показана зависимость плотности смеси песчаных и глинистых грунтов от содержания глинистой составляющей (Γ). Наибольшая для всех смесей грунтов плотность достигается при содержании глинистой составляющей, равной около 20% (рис. 1). Это хорошо согласуется с экспериментальными данными других исследователей, которые свидетельствуют о том, что экстремальные значения физических свойств зернистого материала наблюдаются в смесях из 70% крупных частиц и 30% мелкозернистого заполнителя. Так, например, экспериментально найденная зависимость теплопроводности λ_c сухой смеси уплотнением, от концентрации глинистой составляющей имеет ярко выраженный максимум при $\Gamma=20-40\%$ (рис. 2)

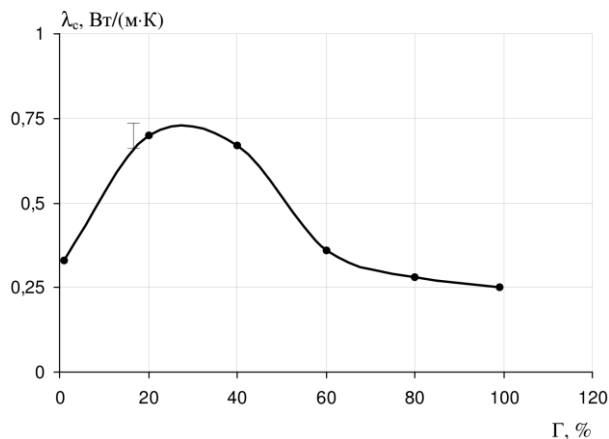


Рис. 2. Зависимость теплопроводности сухой смеси грунтов от содержания глинистой составляющей (Γ)

На рис. 3 показаны результаты исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на теплофизические свойства техногенных грунтов. Они показывают, что значения теплопроводности горных пород в талом состоянии после замораживания и оттаивания уменьшается по сравнению со значением до замораживания. Наибольшее уменьшение теплопроводности наблюдается после первого цикла замораживания-оттаивания. В последующих циклах замораживания-оттаивания существенного уменьшения теплопроводности не наблюдается, хотя тенденция к уменьшению сохраняется.

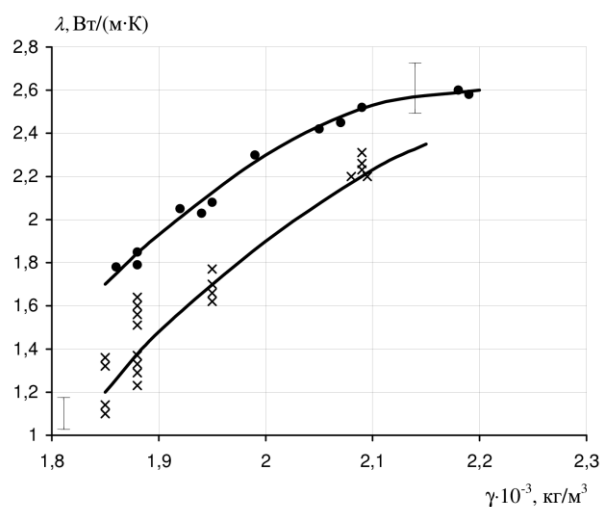


Рис. 3. Изменение теплопроводности естественного грунта в результате воздействия циклов замораживания-оттаивания: ● — λ до замораживания; × — λ после циклов замораживания

На рис.4 показано влияние циклов замораживания-оттаивания на коэффициент фильтрации техногенных грунтов. Для определения коэффициента фильтрации использовался фильтрационный прибор Ф-1М. Основные детали прибора — пьезометр и одометр. При вырезании образцов грунта обоймой с режущим краем из монолита, а так же в результате воздействия циклов замораживания-оттаивания глинистого грунта в обойме одометра, между стенкой обоймы и образцом грунта может образоваться зазор. Просачивание части воды через него приводит к ошибке определения коэффициента фильтрации. Чтобы исключить ее были изготовлены специальные перфорированные диски с режущим кольцом, диаметр которого меньше внутреннего диаметра обоймы. При сборке одометра, кольцо вдавливалось в образец и изолировало приконтактную зону. В глине и ее смесях с песком в результате замораживания-оттаивания коэффициент фильтрации возрастает до

10^{-7} - 10^{-6} м/с, т.е. изменяется на 2-3 порядка по сравнению с таковым непромороженного материала.

Определяющее влияние на изменение величины коэффициента фильтрации оказывает первый цикл замораживания-оттаивания. После него происходит кардинальная перестройка структуры глинистого материала, появляются широкие плоские капилляры, которые и становятся основными проходами для воды. Последующие три цикла увеличивают коэффициент еще в 3-4 раза, т.е. перестройка структуры глинистого дисперсного материала продолжается при последующих циклах замораживания-оттаивания. На величину изменения коэффициента фильтрации воздействует начальная влажность глинистого грунта. Влияние состава песчано-глинистой смеси на величину коэффициента фильтрации видно на рис. 4.

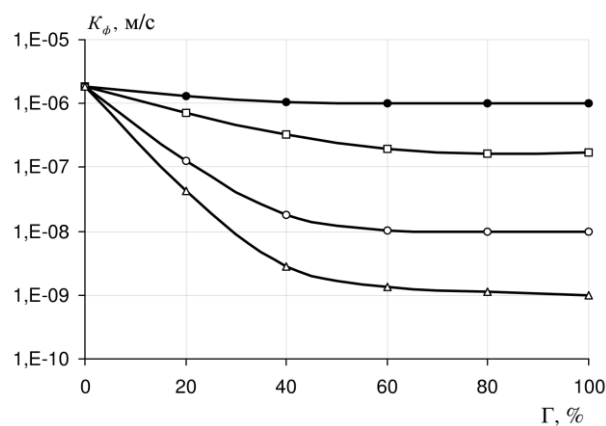


Рис. 4. Влияние воздействия циклов замораживания-оттаивания на коэффициенты фильтрации:

Δ — без замораживания при нижнем пределе пластичности; О — без замораживания при верхнем пределе пластичности; □ — после циклов замораживания-оттаивания при нижнем пределе пластичности; ● — после циклов замораживания-оттаивания при верхнем пределе пластичности

Две нижние линии графика соответствуют зависимости коэффициента фильтрации от содержания глинистой составляющей смеси при влажностях, соответствующих нижнему и верхнему пределам пластичности дисперсного материала. Две верхние линии показывают величину коэффициента фильтрации песчано-глинистых смесей, подвергнутых циклам замораживания-оттаивания при влажностях, близких к верхнему и нижнему пределам пластичности. Подробно о влиянии циклов замораживания-оттаивания на тепломассообменные свойства техногенных грунтов изложено в [19].

Выводы: установлены определяющие зависимости теплофизических свойств песчано-глинистых техногенных грунтов от их влажности, температуры и содержания глинистой составляющей. Изучено влияние циклов замораживания-оттаивания на тепломассообменные свойства песчано-глинистых техногенных грунтов в зависимости от влажности и глинистой составляющей. Установлено уменьшение теплопроводности песчано-глинистых техногенных грунтов до 30%, увеличение коэффициента фильтрации до значений 10^{-6} м/с, а также коэффициента диффузии – на 2-3 порядка в результате влияния циклов замораживания-оттаивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чудновский, А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах. – М.: Гостехиздат, 1954. 444 с.
2. Лыков, А.В. Тепло- массообмен. – М.: Энергия, 1972. 560 с.
3. Лыков, А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
4. Чудновский, А.Ф. Теплофизические свойства дисперсных материалов. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. 456 с.
5. Иванов, Н.С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах. – М.: Наука, 1969. 240 с.
6. Иванов, Н.С. Теплофизические свойства мерзлых горных пород / Н.С. Иванов, Р.И. Гаврильев. – М.: Наука, 1965. 74 с.
7. Иванов, Н.С. Теплообмен в криолитозоне. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. 142 с.
8. Еришов, Е.Д. Фазовый состав влаги в мерзлых породах / Е.Д. Еришов, Ю.П. Акимов, В.Г. Чевеверев, Э.З. Кучуков. – М.: Изд-во МГУ, 1979. 190 с.
9. Еришов, Э.Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах. – М.: Изд-во МГУ, 1979. 216 с.
10. Порхаев, Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечно-мерзлыми грунтами. – М.: Наука, 1970. 208 с.
11. Павлов, А.В. Теплофизика ландшафтов. – Новосибирск: Наука, 1979. 284 с.
12. Чевеверев, В.Г. Физико-химическая теория формирования массообменных и тепловых свойств криогенных грунтов: Автореф. дисс... докт. геол.-минерал. наук. – М., 1999. 40 с.
13. Комаров, И.А. Термодинамика промерзающих и мерзлых дисперсных пород: Автореф. дисс... докт. геол.-минерал. наук. – М., 1999. 52 с.
14. Гаврильев, Р.И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. – Новосибирск, изд. СО РАН, 1998. 281 с.
15. Тимофеев, А.М. Методы и результаты исследования тепломассообменных свойств и температурно-влажностного режима многокомпонентных систем с фазовыми переходами: Автореф. дисс... докт. техн. наук. – Якутск, 2007. 38 с.
16. Старостин, Е.Г. Фазовое равновесие воды в горных породах при отрицательных температурах: Автореф. дисс... докт. техн. наук. – Якутск, 2009. 38 с.
17. Гречищев, С.Е. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов / С.Е. Гречищев, Л.В. Чистотинов, Ю.Л. Шур. – М.: Наука, 1984. 230 с.
18. Степанов, А.В. Влияние циклов замерзания-оттаивания на тепломассообменные свойства криогенных грунтов / А.В. Степанов, А.М. Тимофеев, О.Н. Кравцова // Сборник материалов I Международной конференции «Криопедология» (Криогенные почвы: Влияние криогенеза на процессы и особенности почвообразования). – Пушкино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1992. С.103-106.
19. Степанов, А.В. Тепломассообменные свойства техногенных грунтов криолитозоны. – Новосибирск: Наука, 2011. 151 с.
20. Stepanov, A.V. The effect of freezing-thawing cycles on soil mass transfer and thermal characteristics / A.V. Stepanov, A.S. Kurilko, A.M. Timofeev, O.N. Kravsova // Frost in geotechnical engineering. VTT Symposium Espoo, 1989. P. 311-321.

INFLUENCE OF FREEZING-THAWING CYCLES ON THE HEAT-MASS TRANSFER PROPERTIES OF TECHNOGENIC CRYOGENIC SOILS

© 2012 A.V. Stepanov, E.K. Dalbayeva

Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov
SB RAS, Yakutsk

Results of experimental researches of heat-mass transfer properties of technogenic soils, subjected to cycles of freezing-thawing are given in article.

Key words: frozen soil, sandy-argillaceous mix, density, humidity, temperature, heat conductivity, filtration

Anatoliy Stepanov, Doctor of Technical Sciences, Main Research
Fellow at the Heat and Mass Transfer Department. E-mail:
a.v.stepanov@iptpn.ysn.ru
Evdokiya Dolbaeva, Research Fellow at the Heat and Mass
Transfer Department