

ВЛАГОПРОВОДНОСТЬ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ

И.Ю. Видяпин, В.Г. Чеверев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический ф-т,
119991, Москва, Ленинские горы, Россия, water@geol.msu.ru

Излагаются результаты экспериментальных исследований механизма и определения параметров массопереноса в мерзлой и талой зонах промерзающих засоленных грунтов. Получены значения коэффициента влагопроводности засоленных грунтов в талом и мерзлом состоянии. Сделаны выводы о механизме переноса влаги и солей в грунтах.

Промерзающие грунты, засоленные грунты, влагопроводность

THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF FREEZING SALINE SOILS

I. Y. Vidyapin, V.G. Cheverev

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow,
Leninskiye Gory, Russia, water@geol.msu.ru

This paper presents the results of the experimental researches on the mechanisms and parameters of mass transfer in the frozen and the unfrozen zones of freezing saline soils. Values of the coefficient of hydraulic conductivity of saline soils in the frozen and unfrozen states have been estimated. Conclusions have been drawn about the mechanisms of moisture and salt transfer in soils.

Freezing soils, saline soils, hydraulic conductivity

Актуальность исследования влагопроводных свойств талой и мерзлой зон промерзающих грунтов обусловлена необходимостью получения достоверных характеристик, используемых при математическом моделировании процесса промерзания и морозного пучения грунтов.

МЕТОДИКА

Опыты проводились на образцах каолинитовой глины, засоленных хлоридом натрия (NaCl). Моделирование талой и мерзлой зон промерзающего грунта осуществлялось отдельно. Такой подход позволил точно определить количественные параметры массопереноса, которые в дальнейшем могут быть использованы при математическом моделировании промерзания засоленных грунтов.

При моделировании талой зоны промерзающего грунта в образцах создавался стационарный одномерный поток влаги. Для этого образцы высотой 12 см и диаметром 5 см с нижнего торца подпитывались солевым раствором, концентрация которого равнялась исходной концентрации порового раствора, с верхнего торца влага удалялась испарением. Регулирование потока влаги в образцах осуществлялось через изменение интенсивности испарения. Измерение потока влаги производилось на входе. После достижения стационарного режима влагообмена с помощью безинерционных тензиометров измерялось распределение порового давления по высоте испытываемых образцов. На основе этих данных

оценивались значения коэффициента влагопроводности грунтов.

При моделировании мерзлой зоны промерзающего грунта в мерзлых образцах с изначально массивной криогенной текстурой и равномерным распределением влаги и солей высотой 3,5 см и диаметром 5 см создавалось стационарное температурное поле с градиентом температуры 0,2–1,5 °С/см. Для этого на верхних торцах образцов задавалась постоянная температура от –2,5 до –4,0 °С, на нижних – от +0,2 до –0,5 °С. Образцы снизу подпитывались солевым раствором, концентрация которого равнялась исходной концентрации порового раствора. Распределение температуры в образцах измерялось с помощью термопар. Значения давления поровой влаги P_w в грунте определялись по зависимости

$$P_w = L(\Delta T/T)V_{ж}, \quad (1)$$

где T – температура замерзания свободной воды, равная 273 К; ΔT – понижение температуры начала замерзания порового раствора грунта относительно температуры замерзания свободной воды; L – скрытая теплота плавления льда; $V_{ж}$ – удельный объем незамерзшей воды [Эдлефсен, Андерсон, 1966]. Возможность применения формулы (1) в диапазоне температур 0...–6 °С в преобразованном виде

$$\mu_w = \Delta T \cdot 1,2 \text{ МПа/}^\circ\text{С} \quad (2)$$

(μ_w – потенциал влаги) была экспериментально обоснована в работе [Cheverev et al., 1998]. По ис-

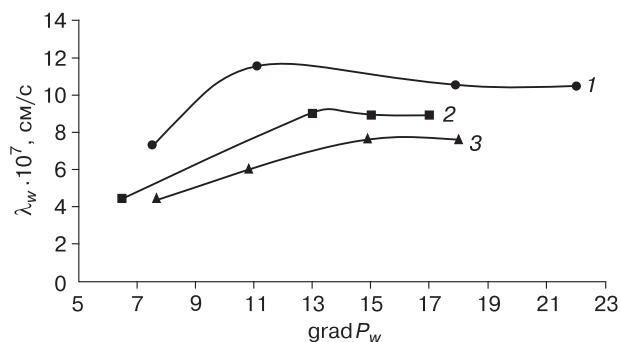


Рис. 1. Зависимость коэффициента влагопроводности (λ_w) талой каолинитовой глины различной засоленности от градиента порового давления ($\text{grad } P_w$, мвод. ст./м):

1 – природное засоление (менее 0,001 н); 2 – засоление NaCl 0,07 н; 3 – засоление NaCl 0,55 н.

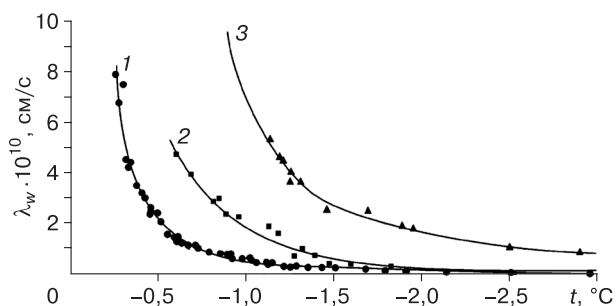


Рис. 2. Зависимость коэффициента влагопроводности (λ_w) мерзлой каолинитовой глины различной засоленности от ее температуры (t , °C):

1 – природное засоление (менее 0,001 н); 2 – засоление NaCl 0,07 н; 3 – засоление NaCl 0,30 н.

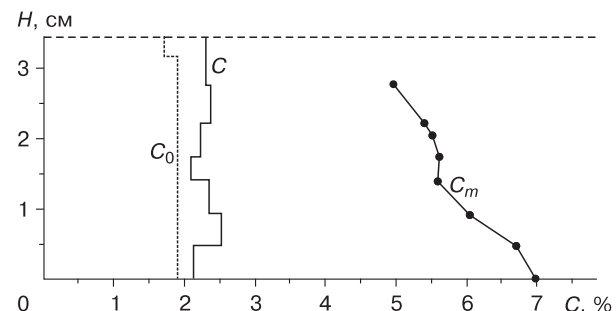


Рис. 3. Распределение концентрации порового раствора до (C) и после (C_0) опыта и концентрации переносимого солевого раствора (C_m) по высоте образца мерзлой каолинитовой глины (18 ч).

течении срока эксперимента (от 10 ч до 2 недель) производилось изучение распределения влажности и засоления по высоте образцов. На основе этих данных оценивались значения потоков влаги и солей и коэффициента влагопроводности грунтов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эксперименты показали, что влагопроводность грунтов в талом состоянии с повышением их засоленности падает (рис. 1). На рис. 1 также видно, что коэффициент влагопроводности талого грунта существенно зависит от градиента порового давления влаги. При величинах градиента ниже определенного (порогового) значения наблюдается отклонение от линейного закона фильтрации Дарси, что ранее было установлено для незасоленных грунтов [Cheverev *et al.*, 1998].

В мерзлом грунте с концентрацией порового раствора 0,07 н значения коэффициента влагопроводности получились выше по сравнению с аналогичным незасоленным грунтом при температуре выше -3°C (рис. 2). При более низкой температуре коэффициент влагопроводности не превышал $5 \cdot 10^{-12}$ см/с, как и во всех незасоленных грунтах, опробованных нами ранее. Увеличение концентрации порового раствора до 0,3 н привело к росту влагопроводности во всем рассматриваемом диапазоне температуры, в том числе при температуре ниже -3°C . Для незасоленных грунтов температура -3°C была ранее определена как граничная, ниже которой перенос незамерзшей воды практически отсутствует [Cheverev, Vidyapin, 2001].

Проведенные опыты показали, что вместе с влагой в сторону более низкой температуры движется и соль. Концентрация переносимого раствора рассчитывалась путем деления значения потока соли на значение потока влаги. Во всех случаях она оказывалась в несколько раз выше концентрации исходного раствора (рис. 3), т. е. соленакопление опережало влагонакопление в образце грунта. Это говорит о том, адвективный механизм переноса соли (совместный поток соли и влаги) не являлся единственным, что согласуется с материалами других авторов, изучавших процесс переноса химических элементов в мерзлых породах [Остроумов, 2001; Cary, Mailand, 1972]. С этой точки зрения проблема массопереноса в мерзлых грунтах нуждается в дальнейшем исследовании.

ВЫВОДЫ

1. Влагопроводность талой зоны промерзающих грунтов падает с увеличением их засоленности. Отклонение от линейного закона фильтрации Дарси при малых значениях градиента порового

давления в засоленных грунтах имеет место так же, как и в незасоленных.

2. Влагопроводность мерзлой зоны промерзающих грунтов растет с увеличением их засоленности. При небольших значениях концентрации порового раствора (ниже 0,1 н) этот эффект проявляется только при высокой отрицательной температуре (до -3°C). При увеличении концентрации порового раствора до 0,3 н начинается рост влагопроводности и при температуре ниже -3°C .

3. Концентрация переносимого солевого раствора в мерзлой зоне глинистого грунта значительно выше концентрации исходного раствора и превышает возможное соленакопление в условиях существования только одного адвективного механизма переноса соли.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-81003).

Литература

Остроумов В.Е. Энергия адсорбции и направление переноса ионов в мерзлых дисперсных грунтах при температурном градиенте // *Материалы Второй конф. геокриологов России*. Т. 1, ч. 1. Физико-химия и механика мерзлых пород. М., МГУ, 2001, с. 126–133.

Эдлефсен Н.Е., Андерсон А.Б.С. Термодинамика почвенной влаги // *Термодинамика почвенной влаги*. Л., Гидрометеоздат, 1966, с. 5–273.

Cary J.W., Mailand H.S. Salt and water movement in unsaturated frozen soil // *Soil Sci. of America Proc.*, 1972, vol. 36, p. 549–555.

Cheverev V.G., Ershov E.D., Magomedgadzhieva M.A., Vidyapin I.Y. Results of physical simulation of frost heaving in soils // *Proc. of the 7th Intern. Conf. on Permafrost*. Yellowknife, Canada, 1998, p. 145–149.

Cheverev V.G., Vidyapin I.Y. The hydraulic conductivity of freezing soils // *Proc. of the 7th Intern. Symp. on Thermal Engineering and Science for Cold Regions*. Seoul, Korea, 2001, p. 317–320.

*Поступила в редакцию
26 марта 2008 г.*