

УДК 551.34

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ГРУНТОВЫХ ВОД ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

© 2012 Е.Г. Старостин, А.М. Тимофеев, А.В. Малышев, О.Н. Кравцова

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

Поступила в редакцию 11.04.2012

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований влияния загрязнения нефтепродуктами на фазовый состав грунтовых вод при отрицательных температурах. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что в загрязненных нефтепродуктами грунтах на фазовый состав воды влияет сценарий загрязнения и увлажнения.

Ключевые слова: *загрязнение, нефтепродукты, мерзлые грунты*

Загрязнение нефтепродуктами окружающей среды при авариях на месторождениях, утечках при их транспортировке и хранении представляет собой серьезную экологическую проблему для северных регионов. Загрязнение нефтепродуктами отличается не только пагубным воздействием на всю живую природу, но и характеризуется очень большими затратами на его устранение [1, 2, 4]. Усиление техногенного давления на окружающую среду предопределяет необходимость проведения целого комплекса научных исследований, направленных на обеспечение устойчивого и безопасного функционирования природных и природно-технических систем. Исследование процессов, происходящих в дисперсных средах, коими являются и горные породы, при наличии нефтепродуктов является актуальной задачей в плане совершенствования и разработки мероприятий по профилактике, ликвидации, оценке негативных последствий загрязнения нефтепродуктами.

При техногенном загрязнении грунтов нефтепродуктами происходит значительное

изменение тепло- и массопереносных свойств [3, 5, 7]. Экспериментальное исследование тепло- и массообменных свойств позволит создать базу данных для математического моделирования процессов тепло- и массопереноса в дисперсных средах загрязненных нефтепродуктами. Хотя в последнее время появилось значительное количество работ, посвященных исследованиям физико-химических свойств загрязненных нефтепродуктами грунтов, многие вопросы остаются недостаточно изученными. Трудности в исследованиях загрязненных грунтов возникают также в связи со сложным составом нефтепродуктов [8].

Нами экспериментально исследовано влияние загрязнения грунтов дизельным топливом на фазовый состав воды в мерзлых песчано-глинистых грунтах. Грунты являются сложными многокомпонентными, гетерогенными, полидисперсными системами, одним из компонентов которых является вода. Фазовый состав воды при отрицательных температурах влияет на формирование всех основных свойств грунта, на протекание процессов тепло-массообмена в них. Знание закономерностей изменения фазового состава воды в грунтах позволяет прогнозировать их свойства при отрицательных температурах. Зависимости содержания незамерзшей воды от различных факторов используются при моделировании тепло-массообмена в грунтах.

Для исследования температурной зависимости содержания незамерзшей воды и теплопроводности использовался метод непрерывного ввода тепла [6]. Метод непрерывного ввода тепла, основываясь, так же как и калориметрический метод, на измерениях баланса

Старостин Егор Гаврильевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела тепло-массообменных процессов. E-mail: e.g.starostin@iptpn.ysn.ru

Тимофеев Анатолий Михайлович, доктор технических наук, заведующий отделом тепло-массообменных процессов. E-mail: a.m.timofeev@iptpn.ysn.ru

Кравцова Ольга Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела тепло-массообменных процессов. E-mail: o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru

Малышев Алексей Владимирович, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела тепло-массообменных процессов. E-mail: a.v.malyshov@iptpn.ysn.ru

тепла, имеет ряд преимуществ по сравнению с ним. С его помощью можно получить температурную зависимость теплофизических свойств и содержания незамерзшей воды в широком диапазоне температуры. Сущность метода заключается в следующем. Образец замораживают, охлаждая его до начальной температуры эксперимента. Темп охлаждения обеспечивает сведение к минимуму перераспределение влаги. После выстойки при начальной температуре образец постепенно нагревают, вводя в него определенное количество теплоты в адиабатических условиях. Конечная температура нагрева определяется условием полного оттаивания поровой воды в образце. Количество вводимой в образец теплоты измеряется в течение всего процесса нагрева. В процессе нагрева непрерывно измеряют температуры образца в центре и на поверхности. Содержание незамерзшей воды рассчитывается из теплового баланса оттаивания поровой воды при повышении температуры образца.

Принципиальная схема установки для исследования зависимости содержания незамерзшей воды от температуры и теплофизических свойств горных пород приведена на рис. 1. Установка состоит из измерительной ячейки, источников питания, усилителей мощности и компьютерной измерительной системы (КИС) «АКСАМИТ 6.25», работающей в комплекте с персональным компьютером. КИС «АКСАМИТ 6.25» разработана во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) специально для проведения теплофизических измерений. Основу измерительной ячейки составляют один основной и три охранных нагревателя. Нагреватели выполнены на четырех коаксиально расположенных цилиндрах из медной фольги и представляют собой обмотку из провода в один слой. Основной нагреватель предназначен для нагрева исследуемого образца определенной мощностью, контролируемой в течение всего периода нагрева. Основной нагреватель намотан из манганинового провода с малым температурным коэффициентом электрического сопротивления, что позволяет поддерживать мощность нагрева на постоянном уровне. Охранные нагреватели предназначены для поддержания адиабатических условий нагрева исследуемого образца. Охранные нагреватели выполнены из медного провода. Мощности охранных нагревателей регулируются таким образом, что между ними и основным нагревателем поддерживается нулевой перепад температуры. Внутренний охранный нагреватель

регулируется непосредственно от КИС «АКСАМИТ 6.25», а два внешних нагревателя, потребляющие большую мощность, регулируются КИС «АКСАМИТ 6.25» через усилители мощности.

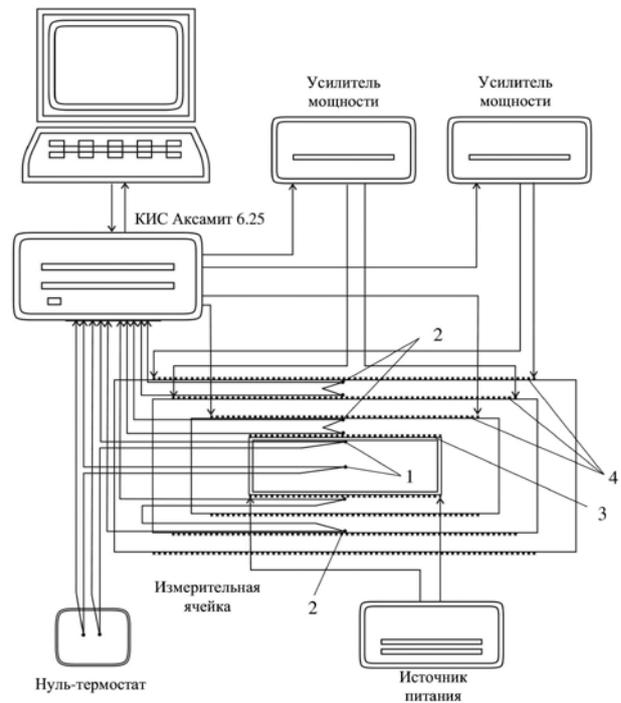


Рис. 1. Принципиальная схема установки для определения теплоты кристаллизации связанной воды и содержания незамерзшей воды: 1 – термопары для измерения температуры центра и поверхности образца; 2 – термопары для контроля адиабатического условия нагрева; 3 – основной нагреватель; 4 – охранные нагреватели

Для измерения температуры в образце и перепада температуры между основным и охранными нагревателями применялись хромель-алюмелевые и медь-константановые термопары диаметром 0,12 мм. Все спаи для предотвращения окисления и предупреждения возникновения паразитных токов тщательно гидроизолировались. Для проверки идентичности термопар, изготовленных из одних и тех же катушек проводов, была проведена серия измерений десятью одинаковыми термопарами. Разброс показаний термопар не превышает 1% от измеряемой разности температур.

В ходе эксперимента измерение, запись и хранение значений температуры поверхности и центра исследуемого образца, мощности нагрева в зависимости от времени производится КИС «АКСАМИТ 6.25».

Экспериментальные исследования показали, что содержание незамерзшей воды в исследованных грунтах зависит от последовательности загрязнения и увлажнения. Поэтому подготовка образцов грунта к исследованию

проводилась двумя способами. В первом способе исследуемые образцы грунта, нарушенного сложения – супесь ($\gamma_{ск}=1569 \text{ кг/м}^3$), суглинок ($\gamma_{ск}=1497 \text{ кг/м}^3$) в воздушно-сухом состоянии увлажнялись дистиллированной водой до заданных значений влажности и после суточной выдержки в эксикаторах, искусственно загрязнялись дизельным топливом. Для образцов супеси задавались значения влажности 5, 10, 15, 20%, для суглинка – 10, 20%. В качестве загрязнителя использовалось дизельное топливо марки Л-0,2-40 с кинематической вязкостью 3,0-6,0 мм²/с при температуре 20⁰С, плотностью 859 кг/м³. Загрязнение дизельным топливом задавалось для супеси 5 и 10%, а для суглинка 5% отношением массы нефтепродуктов к сухой массе образца. Во втором способе грунт в сухом состоянии загрязнялся определенным количеством нефтепродукта. После этого увлажнение проводилось аналогично первому способу. Экспериментально получены зависимости содержания незамерзшей воды от температуры для грунтов различного гранулометрического и минерального состава загрязненных дизельным топливом (рис. 1 и 2). При этом содержание незамерзшей воды в исследованных грунтах зависит от последовательности загрязнения и увлажнения. При загрязнении влажного грунта содержание незамерзшей воды практически не зависит от степени загрязнения.

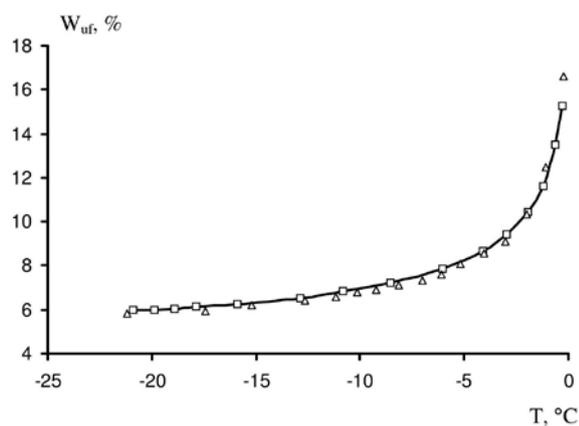


Рис. 2. Зависимость содержания незамерзшей воды в образцах суглинка с влажностью 18,6%.
□ – $z=0$; при загрязнении влажного образца:
△ – $z=10\%$

Содержание незамерзшей воды в загрязненных дизельным топливом грунтах при температуре ниже –10° около 1,7% для образца супеси, а для суглинка – 6%, что приблизительно соответствует содержанию незамерзшей воды для грунтов аналогичного гранулометрического состава не загрязненных нефтепродуктами. Это можно объяснить тем, что

нефтепродукты присутствуют в порах в виде эмульсии или отдельных включений окруженных водой, или могут быть включены в лед. В этом случае нефтепродукты практически не растворяются в воде и не связаны с минеральными частицами.

Проведены исследования температурной зависимости содержания незамерзшей воды в грунтах в случае, когда в сухой образец вводится дизельное топливо, потом образец увлажняется (рис. 2). В этом случае содержание незамерзшей воды уменьшается при увеличении концентрации нефтепродукта. Такое понижение содержания незамерзшей воды, объясняется тем, что активные центры на поверхности частиц грунта занимают частицами нефтепродукта, и количество прочносвязанной воды уменьшается. Таким образом, загрязнение нефтепродуктами не повышает содержание незамерзшей воды в грунтах. Это открывает возможность использования массива мерзлых грунтов, как водонепроницаемого экрана против распространения загрязнения нефтепродуктами.

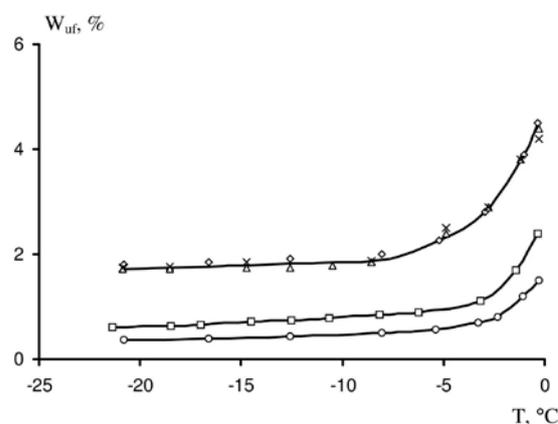


Рис. 3. Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры в образцах супеси с влажностью 21,5% при разной концентрации загрязнения z : ◇ – $z=0$; при загрязнении влажного образца: △ – $z=5\%$; × – $z=10\%$; при загрязнении сухого образца с последующим увлажнением: □ – $z=5\%$; ○ – $z=10\%$

При очистке горных массивов широко применяется гидродинамическое воздействие, суть которого заключается в удалении загрязнения с фильтрующим потоком жидкости. В настоящее время оно является основным методом очистки подземных вод [4]. Результаты настоящего исследования обосновывают возможность использования мерзлых грунтов, при их наличии, в качестве водонепроницаемого направляющего экрана в таком способе очистки загрязненных грунтов. Уменьшение содержания

незамерзшей воды при втором сценарии загрязнения предполагает увеличение льдистости грунта. Это в свою очередь при определенных условиях может приводить к повышению прочности грунта. Но, тут надо помнить, что загрязнение нефтепродуктами вызывает уменьшение сцепления между твердыми частицами грунта, а это является фактором, ухудшающим прочностные свойства грунта. При техногенном загрязнении грунтов нефтепродуктами происходит миграция углеводородов и их сорбция породами, в результате чего могут измениться свойства грунтов. Миграция нефтепродуктов в грунтах зависит от плотности, вязкости, температуры, растворимости в воде и сорбции в породе, что во многом определяется компонентным составом нефтепродуктов. Поэтому исследования фазового состава воды должны проводиться в комплексе с изучением массопереносных свойств загрязненных грунтов.

Вывод: в загрязненных нефтепродуктами грунтах на фазовый состав воды влияет сценарий загрязнения и увлажнения. При загрязнении нефтепродуктами влажного грунта содержание незамерзшей воды практически не зависит от степени загрязнения. В случае, когда в сухой образец вводится дизельное топливо, потом образец увлажняется, содержание незамерзшей воды уменьшается с увеличением концентрации нефтепродукта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 09-05-98504).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ананьева, Г.В.* Нефтяное загрязнение слоя сезонного оттаивания и верхних горизонтов многолетнемерзлых пород на опытной площадке «мыс Болванский» в устье р. Печора / *Г.В. Ананьева, Д.С. Дроздов, А. Инстанес, Е.М. Чувиллин* // Криосфера Земли. 2003. Том VII, № 1. С. 49-59.
2. *Гречищев, С.Е.* Вечная мерзлота и загрязнение территорий // Криосфера Земли. 2003. Том VII, № 1. С. 89-90.
3. *Журавлев, И.И.* Теплофизические свойства загрязненных нефтью и нефтепродуктами мерзлых дисперсных пород. Авторефер. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: МГУ, 2003. 24 с.
4. *Королев, В.А.* Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 365 с.
5. *Кравцова, О.Н.* Экспериментальное исследование фильтрации в дисперсных средах, загрязненных нефтепродуктами / *О.Н. Кравцова, А.В. Мальшев, Е.Г. Старостин, А.М. Тимофеев* // Труды I Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Часть IV. – Якутск, 2002. С. 98-101.
6. *Степанов, А.В.* Теплофизические свойства дисперсных материалов / *А.В. Степанов, А.М. Тимофеев.* – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. 124 с.
7. *Motenko, R.G.* Heat and mass transfer in freezing soils contaminated by oil / *R.G. Motenko, E.D. Ershov, E.M. Chuvilin et al.* // Permafrost. Proceedings of the Eighth International Conference on the Permafrost. Vol. 2. – Zurich. Balkema Publishers, 2003. P. 795-799.
8. *Starling, K.E.* Fluid thermodynamic properties for light petroleum system. – Gulf Publishing Co., 1973. 270 p.

INFLUENCE OF POLLUTION BY OIL PRODUCTS ON PHASE COMPOSITION OF GROUND SOILS AT BELOW ZERO TEMPERATURES

© 2012 E.G. Starostin, A.M. Timofeev, A.V. Malyshev, O.N. Kravtsova

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

Results of experimental researches the influence of pollution by oil products on phase composition of ground soils at below zero temperatures are given in article. The carried-out researches allow to make a conclusion that in soils polluted by oil products the phase composition of water is influenced by pollution and humidification scenario.

Key words: *pollution, oil products, frozen soils*

Egor Starostin, Doctor of Technical Sciences, Leading Research Fellow at the Heat and Mass Transfer Processes Department. E-mail: e.g.starostin@iptpn.ysn.ru

Anatoliy Timofeev, Doctor of Technical Sciences, Chief of the Heat and Mass Transfer Processes Department. E-mail: a.m.timofeev@iptpn.ysn.ru

Aleksey Malyshev, Candidate of Technical Sciences, Research Fellow at the Heat and Mass Transfer Processes Department. E-mail: a.v.malyshev@iptpn.ysn.ru

Olga Kravtsova, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow at the Heat and Mass Transfer Processes Department. E-mail: o.n.kravtsova@iptpn.ysn.ru