

## ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ (НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ХИМКИНСКОМ РАЙОНЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Е.С. Микляева, Ф.Н. Зепалов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т,  
119991, Москва, Воробьевы горы, Россия, gmiklayeva@mail.ru*

Сезонное промерзание загрязненных дизельным топливом грунтов изучалось в зимний период 2005/06 г. В октябре 2005 г. в Московской области были произведены опытные разливы дизельного топлива на специально подготовленных площадках, на которых оборудованы скважины для термометрических исследований. На одной из площадок 20 октября 2005 г. было разлито 20 л дизельного топлива. Вторая площадка оставалась “чистой”. Максимальной глубины (65 см от поверхности) сезонное промерзание достигло в последних числах февраля. Полученные термометрические данные показали, что скорость сезонного промерзания грунтов на загрязненной и “чистой” площадках отличалась незначительно. Однако обнаружены различия в криогенном строении и льдистости сезонномерзлого слоя. Зафиксировано поднятие поверхности (пучение) загрязненного участка. Загрязненные грунты в интервале 0–45 см от поверхности отличались большей льдистостью, изменился характер криогенной текстуры.

*Криолитология, сезонное промерзание, многолетнемерзлые породы, экология Севера, углеводородное загрязнение, миграция*

### FEATURES OF THE SEASONAL FREEZING OF SOILS POLLUTED BY DIESEL FUEL (FIELD EXPERIMENT IN MOSCOW REGION NEAR HIMKI TOWN)

E.S. Miklyaeva, F.N. Zepalov

*Lomonosov Moscow State University, Department of Geographical,  
119991, Moscow, Vorobyovy Gory, Russia, gmiklayeva@mail.ru*

The seasonal freezing of soils polluted by diesel fuel was studied during the winter of 2005/2006. The experimental fuel spills were carried out in Moscow Region (near Himki town) at two specially arranged sites. The thermal boreholes were installed there. At the first site the diesel fuel (10 litre) was spilled on the 20th of October. The second site remained “clean”. Freezing depth reached its maximum (65 cm) in late February. The temperature data demonstrated that freezing rates in polluted and “clean” ground were close. The surface of the polluted site in comparison with unpolluted one was raised by 2 cm. The cryogenic structure and iciness of the polluted and “clean” soils occurred to be different. The polluted soils in the range of 0 to 40 cm near the surface demonstrated higher iciness than the clean soils and their cryogenic structures changed.

*Cryolithology, seasonal freezing, permafrost, ecology of the North, hydrocarbon pollution, migration*

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение хозяйственно используемых территорий жидкими углеводородами становится одним из наиболее распространенных и опасных видов техногенного воздействия человека на окружающую среду. Исследования последних лет показывают, что, попадая в почвенно-грунтовый профиль, оно влияет не только на жизнедеятельность растений и организмов, но и на свойства и инженерные параметры. Достаточно ярко это влияние проявляется в условиях криогенеза – вечной мерзлоты и повсеместно распространенного на территории нашей страны сезонного промерзания. В частности, привнесение углеводородной не смешивающейся с водой жидкости воздействует на такие свойства грунтов, как прочность [Шешин и др.,

1992], влагопроводность [White, Williams, 1999; White, Coutard, 1999], теплопроводность и теплоемкость [Мотенко и др., 2000], на процессы промерзания–оттаивания [Aorinde et al., 1988; Neufeld, Bigger, 1996; Chuvilin et al., 2001] и т. д.

Данные о взаимодействии вечномерзлых и сезоннопромерзающих пород с углеводородным загрязнением пока не многочисленны, но уже ясно, что это взаимодействие очень сложное и неоднозначное. Неоднозначность определяется многофазным и многокомпонентным составом и реакцией на изменение температуры как самих мерзлых пород, так и загрязнителя – нефти и нефтепродуктов [Сюняев и др., 1990].

Согласно лабораторным исследованиям [Chuvilin, Miklyaeva, 2000; Chuvilin et al., 2001], промерзание грунтов в основном вызывает криогенное отжатие загрязнителя из промерзающей зоны в талую, при вымерзании поровой влаги вытесняется в первую очередь неполярная углеводородная жидкость, слабо связанная с минеральными частицами. При благоприятных условиях в экспериментах очищение промерзших пород достигало 70 % от первоначального содержания загрязнителя [Chuvilin et al., 2001]. Это важно, так как, по данным Ю.И. Пиковского [1993] и других исследователей, именно механическое рассеивание компонентов нефти и нефтепродуктов в северных регионах определяет самоочищение почв от углеводородного загрязнения. Интенсивность отжатия в большой степени определяется скоростью промерзания, при высоких скоростях вытеснения не происходит, загрязнитель захватывается образующимся льдом на месте.

Несомненно, промораживание усиливает фракционные различия состава загрязнителя по разрезу, поскольку процесс криогенного отжатия должен быть связан с “криогенной метаморфизацией” углеводородной жидкости и выделением из ее состава наиболее подвижных фракций.

По данным многих исследователей [White, Williams, 1999; White, Coutard, 1999; Моменко и др., 2000], внесение в систему углеводородных жидкостей влияет крайне незначительно на состав незамерзшей влаги, однако в лабораторных условиях получены изменения в сегрегационном льдонакоплении в грунтах и их пучении. Эти изменения могут быть разнонаправленными в зависимости от состава вносимых веществ. Так, тяжелые углеводороды могут подавлять миграцию влаги, пучение и льдовыделение [Пчелинцев, 1969], фракции легкого состава, наоборот, будут усиливать эти процессы [White, Coutard, 1999; Гречищев и др., 2001а,б]. Основная масса данных получена в лабораторных условиях на модельных грунтах, полевых исследований мало и они разрозненны.

Цель настоящей работы – изучение переноса и накопления легкой и средней углеводородной фракции в сезоннопромерзающих грунтах и ее влияния на процесс промерзания в натуральных условиях. Полевой эксперимент проведен на территории Химкинского района Московской области вблизи д. Свистуха (район аэропорта Шереметьево), где в октябре 2005 г. были сделаны опытные разливы дизельного топлива. В течение зимы производились температурные замеры в оборудованных на опытных площадках скважинах, в марте 2006 г. при достижении максимальной глубины промерзания этот этап эксперимента был завершен.

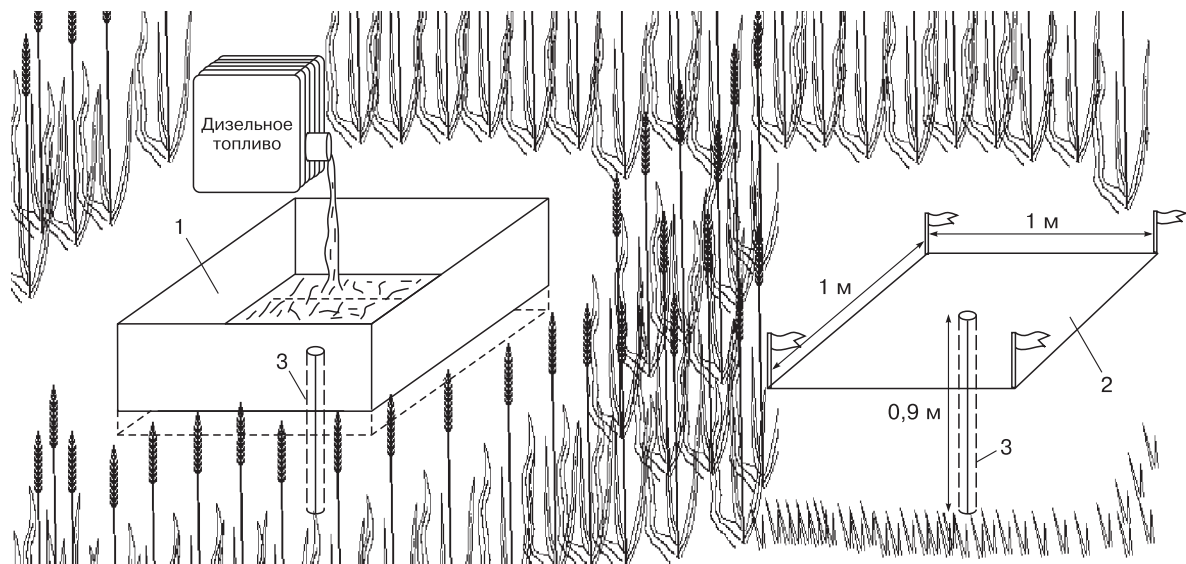
Зима 2005/06 г. была холодной на фоне относительно теплых зим последнего десятилетия.

Особенностью ее был длительный ряд дней с низкими отрицательными температурами. Так, в феврале по нашим наблюдениям температура воздуха опускалась до  $-36^{\circ}\text{C}$ , часто она составляла  $-28$ ,  $-29^{\circ}\text{C}$ . Поэтому глубина сезонного промерзания была больше ожидаемой, характерной для последнего относительно теплого десятилетия, что позволило нам получить некоторые интересные результаты.

## МЕТОДИКА

Методика проведения эксперимента основана на методических разработках Н.П. Солнцевой [1998] натурального моделирования летних разливов нефти или нефтепродуктов. Данная методика позволяет исследовать временную динамику поведения жидких загрязняющих веществ в различных условиях и, главное, сравнивать эти данные. Методика уже применялась в Западной Сибири и в Большеземельской тундре (устье р. Печора, мыс Болванский). На м. Болванский с 2001 г. по настоящее время ведутся исследования на площадке с искусственными разливами нефти, начатые совместно с Норвежским геотехническим институтом, геологическим и географическим факультетами МГУ [Ананьева и др., 2003]. Мы решили применить эти методические разработки для моделирования в натуральных условиях поведения дизельного топлива в сезонномерзлом слое (СМС). Опыт применения данной методики в криолитозоне, в условиях разнообразных мерзлотно-фациальных отложений показал, что площадки загрязнения лучше расширить (размеры их на м. Болванский составляли  $10 \times 90$  см).

В Химкинском районе Московской области, вблизи д. Свистуха, на водораздельной ровной поверхности мы выбрали достаточно большой участок с типичными и максимально однородными условиями, на котором были оборудованы две экспериментальные площадки, каждая площадью  $1 \text{ м}^2$  (рис. 1). Выбранная поверхность занята луговой растительностью – бывшая распахка, вокруг березово-еловый лес. Грунты здесь представлены супесчаными разностями достаточно однородного литологического состава. Экспериментальные площадки максимально удалены друг от друга, чтобы исключить попадание загрязнителя на “чистую” площадку. На площадке № 1 должно быть разлито дизельное топливо, а площадка № 2 останется контрольной. С поверхности площадок перед началом эксперимента был удален растительный покров. На площадке № 1 во время разлива (для более равномерного распределения топлива по поверхности) установлен лоток (заглублен на 15 см в грунт) размером  $1 \times 1$  м и высотой 20 см. На площадках оборудованы термометрические скважины для режимных температурных исследо-



**Рис. 1. Обустройство опытных площадок:**

1 – площадка № 1 с искусственным разливом дизельного топлива (загрязненная); 2 – “чистая” площадка № 2; 3 – термометрические скважины.

ваний. Скважина (диаметр 3 см, глубина 90 см) бурилась в центре площадки, в нее погружалась резиновая трубка с запаянным дном для уменьшения теплопоток из нижележащих горизонтов.

Перед началом опыта вблизи подготовленных площадок были вскрыты шурфом и описаны почвенно-грунтовые горизонты на глубину, заведомо превышающую глубину ожидаемого сезонного промерзания: 0–2 см – дерновая подстилка; 2–7 см – супесь темно-коричневая, с многочисленными корнями, содержит много неразложившейся органики, рыхлая, слабовлажная; 7–20 см – супесь темно-серого цвета, комковатой структуры, рыхлая, с корнями растений; 20–30 см – светлая супесь, слабовлажная, рыхлая (слой осложнен ходами кишечногополых, корнями растений); 30–45 см – серовато-рыжая супесь, пятна рыжего ожелезнения, плотная, влажная; 45–80 см – супесь светло-серо-коричневая, слоистая, слоистость субгоризонтальная, влажная, высокой плотности.

До начала заморозков (20 октября) на площадке № 1 был произведен разлив 20 л дизельного топлива (во второй половине дня при температуре воздуха +9 °С и относительной влажности 100 %). Для опыта использовалось дизельное топливо зимнего типа для умеренной климатической зоны с температурой застывания, близкой к –20 °С, это средняя фракция разгонки нефти 200–340 °С.

Топливо равномерно разливалось на поверхность грунта внутри контейнера, сразу фиксировалась скорость проникновения его в грунт. Продолжительность опыта составила пять месяцев. В это время два раза в сутки производились температур-

ные замеры в скважинах с помощью косы заленных термометров. Для того чтобы промерзание на исследуемых площадках было более глубоким, с площадок раз в три дня планировалось убирать снежный покров. В январе стало ясно, что сезонное промерзание будет глубоким из-за низких температур воздуха. Поэтому после 20 января, когда по температурным данным глубина промерзания достигла 45 см, снятие снежного покрова прекратили, чтобы глубина сезонного промерзания не превысила глубину термометрических скважин.

В конце холодного сезона (17 марта), когда промерзание по термометрическим данным достигло максимума и глубина его стабилизировалась, на обеих площадках были выполнены криолитологические исследования. Пройдены шурфы на глубину, превышающую глубину сезонного промерзания, описано криолитологическое строение горизонтов, отобраны пробы грунта через каждые 10 см. Пробы помещались в металлические бюксы и дополнительно изолировались для предотвращения испарения загрязнителя. Определение содержания углеводов производилось на факультете почвоведения МГУ методом Крайко. Получено общее углеводородное содержание (УВ) в грунте и содержание неполярной углеводородной фракции – нефтепродуктов (НП).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате искусственного налива на площадке № 1 на почвенной поверхности внутри контейнера образовался жидкостный столб дизельно-

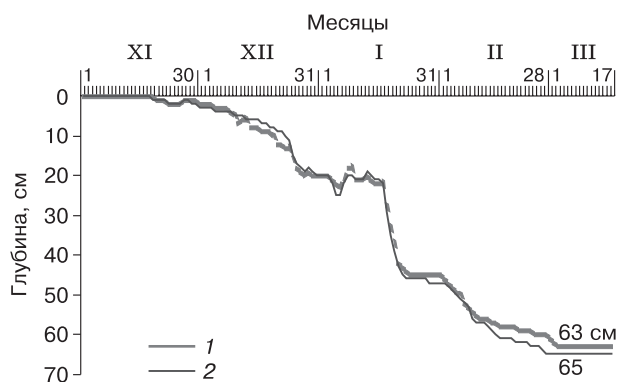
го топлива высотой 1 см, который очень быстро (за 30 с) полностью впитался в грунт. Скорость его впитывания значительно превышала скорость впитывания нефти, которую наблюдали при проведении эксперимента на м. Болванский [Ананьева и др., 2003]. Незначительная часть жидкости скопилась в виде пленок на оставшейся органике – стеблях и листьях. На поверхности грунта пленка нефтепродуктов оставалась длительное время на крупных грунтовых частичках и агрегатах.

Полученная кривая хода нулевой изотермы по глубине на загрязненной и “чистой” площадках четко показывает периоды начала и завершения промерзания, его скорость на различных глубинах (рис. 2). Это позволяет выделить временные отрезки и интервалы глубин по разрезу с разными скоростями промерзания, сравнить их с криолито-логическим строением СМС и с распределением углеродородного содержания по разрезу.

По данным термометрических наблюдений, промораживание грунта началось 18–19 ноября. В целом кривые нулевой изотермы на загрязненной и “чистой” площадках шли синхронно во время всего промерзания, и скорости промерзания были близкими. Максимальная глубина промерзания на “чистой” площадке на 2 см превысила таковую на загрязненном участке. Это в целом совпало и с данными шурфовки на завершающем этапе исследований.

В период 18–23 ноября промерзло 2 см почвы на обеих площадках, скорость промораживания составила 0,4 см/сут, затем фронт промерзания стоял на месте, даже произошло оттаивание снизу на 1 см, а с 29 ноября началось устойчивое промораживание грунта (см. рис. 2).

Мы наблюдаем ступенчатый ход фронта промерзания. Можно выделить три основные ступени в промерзании, состоящие из углубления фронта и полки – стабильной его части. Первая – примерно



**Рис. 2.** Ход нулевой изотермы в зимний период (ноябрь–март) 2005/06 г. на загрязненной (1) и “чистой” (2) площадках (по данным замеров в температурных скважинах).

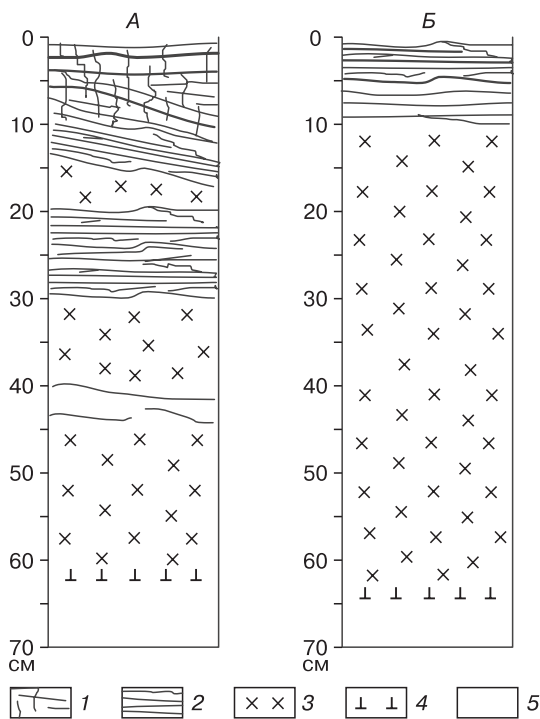
с 29 ноября по 17–18 января, вторая – с 18 января по 1–2 февраля, третья (завершающая стадия) – со 2–3 февраля по 17 марта, окончание эксперимента. Верхние 10 сантиметров грунта промерзали со скоростью 0,45 см/сут, затем до 1,8 см/сут, а на глубине 20 см промерзание резко замедлилось, его скорость составила 0,1 см/сут. С 17–18 января с наступлением сильных холодов шло резкое промораживание, со скоростью 4–6 см/сут промерзло еще 23–24 см грунта. В это время промораживание происходило без снежного покрова. Однако 18–20 января снег перестали убирать с площадок, и очень резкое замедление фронта промерзания 23–25 января связано, скорее всего, с этим фактором. Фронт остается стабильным с 23 по 1 февраля (см. рис. 2). Скорость промерзания в этом временном интервале практически равна нулю. Нижние 20 сантиметров грунта промерзали со скоростью 1,1 см/сут, затем 0,3 см/сут. На “чистой” площадке глубина промерзания стабилизировалась 28 февраля и составила 65 см, на загрязненной площадке максимальное значение 63 см достигнуто 3 марта. Это различие в целом несущественно для природной системы и может быть обусловлено неоднородностями почвенно-грунтовой массы.

Максимальная скорость промерзания достигала 4 см/сут и наблюдалась в период с 18 по 23 января. За это время промерзло более 20 см грунта в интервале глубин 22–46 см. Наименьшие скорости 0,3–0,4 см/сут характерны для начального и конечного этапов промерзания.

17 марта на площадках производились криолито-логические исследования. На загрязненной площадке нижние горизонты (0–15 см) накопившегося с середины января снега были жирными на ощупь и имели резкий запах солянки. Это указывает на интенсивное испарение топлива из уже промерзшего грунта, так как снежный покров перестали снимать, когда слой сезонного промерзания составлял уже 45 см (по термометрическим данным).

В то же время замечено, что загрязненная площадка явно приподнята над окружающим грунтом на 3–4 см, и контуры приподнятой поверхности достаточно четко совпадают с границами площадки. Таким образом, произошло более интенсивное криогенное распухивание загрязненной дизельным топливом площадки по сравнению с незагрязненными участками, причем в месте наиболее интенсивного загрязнения, т. е. непосредственно в месте разлива.

При криолито-логическом описании были выявлены различия в криогенном строении и льдистости промерзших горизонтов на загрязненном и “чистом” участках (рис. 3). Различными были льдистость и тип криогенной текстуры. Так, на загрязненной площадке (шурф А) льдистость горизонтов заметно выше, преобладали шпиревые



**Рис. 3. Криогенное строение грунтов сезонно-мерзлого слоя на исследуемых площадках:**

А – площадка № 1, Б – площадка № 2; криогенная текстура: 1 – сетчатая, 2 – слоистая, 3 – массивная; 4 – подошва сезонномерзлого слоя; 5 – грунты с положительной температурой.

текстуры, в то время как на “чистой” площадке (шурф Б) доминировала массивная криогенная текстура. Глубина сезонного промерзания по данным шурфовки на загрязненной площадке составляла 62 см, на “чистой” – 64,5 см. На загрязненной площадке шлировые криогенные текстуры наблюдались до глубины 45 см.

В верхнем горизонте (от 0 до 7–10 см), представленном темно-коричневой супесью с многочисленными корнями, растительными остатками и неразложившейся органикой, развита мелкосетчатая микрошлировая криогенная текстура. Толщина горизонтальных шлиров 1–2 мм, расстояние между шлирами 1–2 см, толщина вертикальных шлиров 1 мм, расстояние между ними 2 мм; с глубины 5 см толщина горизонтальных шлиров 0,1–1,0 мм, вертикальные шлиры наклонены на 10–15°, их толщина 0,5 мм. Ниже по профилю (в интервале от 7–10 до 20 см) в темно-серой комковатой супеси с корнями растений развита (до 15 см) слоистая микрошлировая криотекстура. Шлиры толщиной 0,7–1,0 мм наклонены под углом 10°, расстояние между шлирами 1 мм. С глубины 15 см горизонт характеризуется массивной криотекстурой.

Ниже лежащий горизонт (интервал 20–30 см) характеризуется тонкошлировой субгоризонтальной слоистой текстурой, размер шлиров в интервале 20–25 см не превышает 0,1 мм, а ниже увеличивается до 1 мм, расстояние между шлирами составляет 1–2 мм. В горизонте плотной, влажной серовато-рыжей супеси (интервал 30–45 см) развита массивная криогенная текстура, в интервале 40–45 см снова появляются субгоризонтальные тонкие (до 0,3 мм) шлиры льда, расстояние между ними 5–7 мм. Ниже по профилю, до подошвы слоя сезонного промерзания, в горизонте высокой плотности наблюдалась массивная криогенная текстура.

На “чистой” площадке шурфом Б вскрыты горизонты, близкие по литологии к шурфу А, так как литологическое строение выбранного участка в целом однородно. Однако криогенное строение Б резко отличалось от А. Шлировая криогенная текстура здесь развита только в верхнем 10-сантиметровом слое с большим содержанием органики – микрошлировая криотекстура с размером шлиров от 0,1 до 1,0 мм и расстоянием между шлирами 1–2 мм в интервале 0–5 см. Ниже расстояние увеличивается до 2–4 мм. Начиная с 10 см криогенное строение фоновой площадки характеризуется массивной криотекстурой.

Отсутствие шлировых текстур в супесчаных разностях на незагрязненной площадке связано с высокими темпами промерзания этой зимой и с невысокой влажностью, характерной для водораздельного участка.

Таким образом, преобладание шлировых текстур в разрезе и повышенное криогенное пучение площадки № 1 связаны с загрязнением дизельным топливом. Присутствие дизельного топлива в минеральной массе привело не только к увеличению льдистости, но и к изменению характера криогенной текстуры.

Химические анализы показали, что содержание нефтепродуктов неравномерное, в целом снижается по разрезу (рис. 4). В распределении можно выделить три максимума. Близкие по значениям (1,06–1,02 % от массы сухого грунта) верхний и средний максимумы соответствуют органогенному горизонту (8 см от поверхности) и, возможно, границе с более плотным горизонтом (на 30 см). Нижний и наибольший максимум достигает 3,5 % и сопряжен с границей высокоплотного горизонта. В высокоплотном горизонте, который начинается на глубине 45 см, содержания нефтепродуктов резко снижаются и составляют до 0,01 %, т. е. этот горизонт практически не загрязнен. Под слоем сезонного промерзания в 15-сантиметровом слое немерзлого грунта мы не зафиксировали повышения концентрации загрязнителя. Возможно, опробования следовало производить на большую глубину.

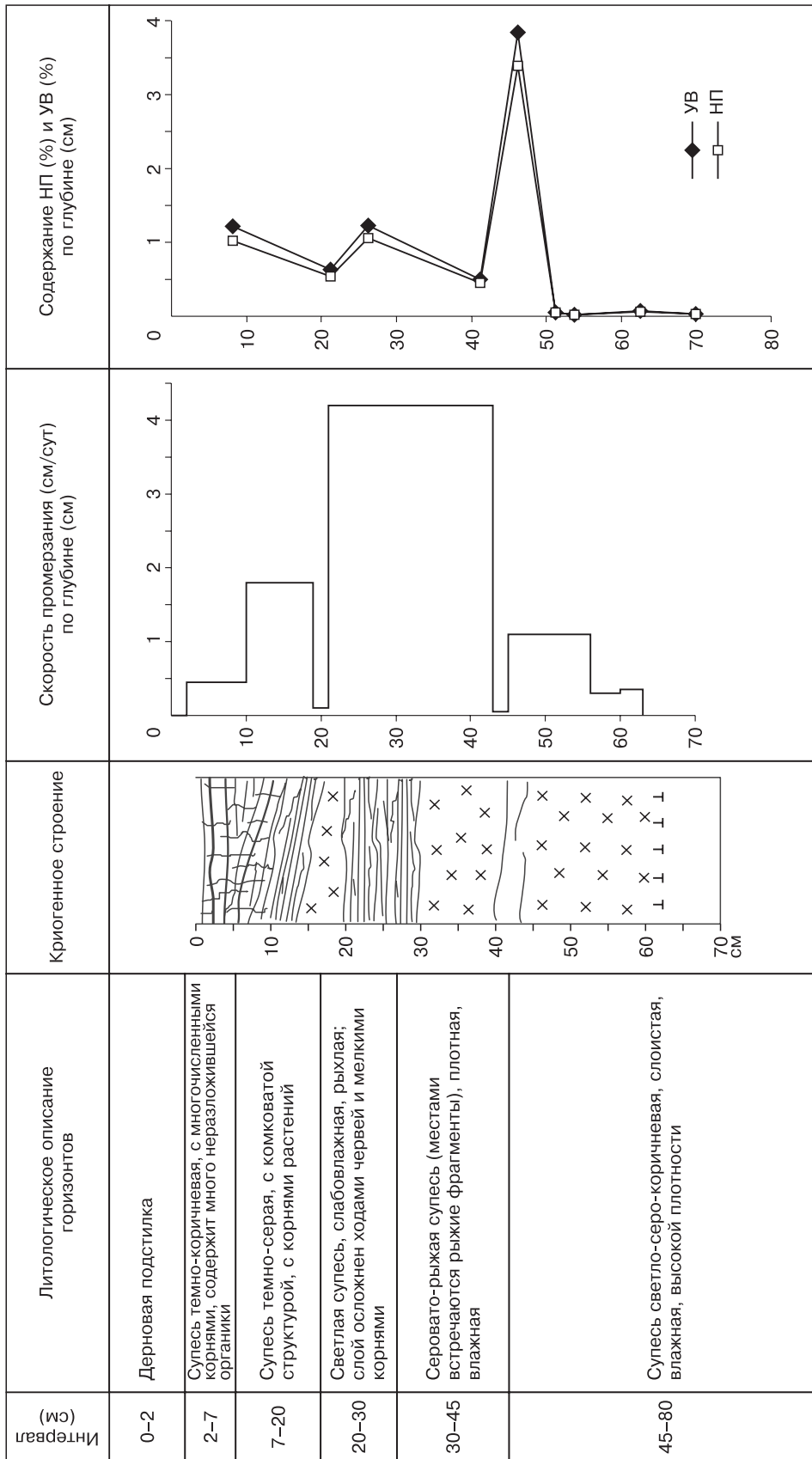


Рис. 4. Криогенное строение, скорость промерзания и распределение общего содержания углеводов и нефтепродуктов в супесчаных почвенно-грунтовых горизонтах на площадке № 2 (с ноября 2005 г. по март 2006 г.).

Условные обозн. см. на рис. 3.

На рис. 4 дано сопоставление литологического и криогенного строения, скорости промерзания, с которой промораживались горизонты на различных глубинах, распределений содержания нефтепродуктов по глубине. Из рис. 4 следует, что в целом шлировые криогенные текстуры формировались при скоростях промерзания до 2 см/сут. Пока полученные данные не позволяют судить о влиянии непосредственно промерзания и его скорости на характер распределения углеводородов по профилю. Можно только отметить, что наибольшее содержание нефтепродуктов соответствует как участку с низкой скоростью промораживания (вышележащие горизонты при этом промерзали с максимальной скоростью), так и появлению шлировых криогенных текстур в интервале глубин 40–45 см.

Вообще, все участки с наибольшими содержаниями углеводородов имеют сопряженный характер с горизонтами повышенной льдистости (см. рис. 4). Это наблюдается на глубинах 5–10, 25–30, 40–50 см. В незагрязненных грунтах, как указано выше, глубже 10 см от поверхности криогенная текстура массивная.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Проведен полевой эксперимент на искусственном разливе дизельного топлива в сезоннопромерзающих грунтах супесчаного состава. Получены первые результаты. Эксперимент показал, что в природных условиях в промерзающих грунтах, загрязненных дизельным топливом, может усиливаться криогенное пучение, так как поверхность загрязненной площадки была приподнята на 3–4 см по сравнению с окружающей почвенной поверхностью и “чистой” площадкой.

На загрязненной площадке наблюдалась большая видимая льдистость верхних и средних горизонтов СМС, чем на “чистой” площадке. Изменился характер криогенной текстуры. Так, в случае загрязнения в верхнем 10-сантиметровом слое сформировалась сетчатая криогенная текстура, ниже – слоистая. В случае отсутствия загрязнения в верхнем 10-сантиметровом слое формировались слоистые текстуры, ниже по разрезу криогенная текстура массивная.

Наблюдается сопряженность в распределении нефтепродуктов по разрезу и криогенном строении горизонтов. Можно предположить, что загрязнение грунтов дизельным топливом привело к увеличению льдистости, стимулировало формирование шлиров. Это явилось причиной повышенного криогенного пучения загрязненных горизонтов по сравнению с незагрязненными.

С.Е. Гречищевым, Ю.Б. Шешиним, А.В. Павловым с соавт. [2001а,б] были получены схожие результаты, но в лабораторных условиях. Загрязнение легкой нефтью с низкой отрицательной тем-

пературой ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) увеличивало сегрегационное льдовыделение и криогенное пучение замораживаемых образцов (пылеватая супесь с п-ова Ямал) почти в два раза. Причем авторы отмечают, что характер криогенной текстуры в загрязненных и чистых образцах был схожим. В нашем же случае не только увеличилась льдистость горизонтов, но и сменился характер криогенной текстуры.

С чем связано усиление пучения и сегрегации льда в загрязненных легкими нефтями и нефтепродуктами грунтах, пока не совсем ясно. По данным разных исследователей, загрязнение нефтью и нефтепродуктами не приводит к значимому изменению температуры фазовых переходов влаги и содержания незамерзшей воды, поскольку в составе загрязнителя преобладает не смешивающаяся с водой неполярная жидкость. Углеводородная жидкость, отнесенная влагой от минеральных частиц, должна занимать положение в центре пор. Такое представление о формировании фазовых контактов в системе справедливо для приготовленных образцов, когда загрязнитель добавляется во влажный грунт. В природных условиях формируется более сложная картина. Возможно, происходит частичная гидрофобизация частиц.

Формирование криогенных текстур может быть связано с затруднением оттока влаги из промерзающих горизонтов в результате загрязнения. Могут быть и другие причины. Так, по некоторым данным [White, Williams, 1999; White, Coutard, 1999], при добавлении нефти может увеличиваться влагоперенос в грунтах из-за изменения их микроструктуры, что может способствовать формированию шлиров льда при промерзании.

Следует еще раз отметить, что высокомолекулярные органические соединения, такие как битумы, смолы, тяжелые нефти, имеют обратный характер воздействия на процессы промерзания. При их добавлении пучение и влагоперенос снижаются. Битумы и смолы давно применяются в борьбе с морозным выпучиванием в промерзающих грунтах.

Планируется продолжать натурные опыты по изучению влияния органического загрязнения на процессы промерзания–оттаивания, исследовать в природных условиях особенности распределения и изменения состава загрязнителя в грунтах под влиянием промерзания.

Исследования проводятся при финансовой поддержке программы “Ведущие научные школы России” (проект НШ-4861.2006.5) и РФФИ (гранты № 07-05-01138, 06-05-64408).

#### Литература

Ананьева Г.В., Дроздов Д.С., Инстанес А., Чувилин Е.М. Нефтяное загрязнение слоя сезонного оттаивания и верхних горизонтов многолетнемерзлых пород на опытной площадке “мыс Болванский” в устье р. Печора // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 1, с. 49–59.

- Гречищев С.Е., Инстанес А., Шешин Ю.Б. и др.** Лабораторные исследования замерзания нефтезагрязненных дисперсных грунтов и модель их структуры при отрицательной температуре // Криосфера Земли, 2001а, т. V, № 2, с. 48–53.
- Гречищев С.Е., Инстанес А., Шешин Ю.Б. и др.** Лабораторные исследования замерзания нефтегрунтов // Проектирование, строительство, эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов: Тр. СоюздорНИИ. М., 2001б, вып. 200, с. 129–137.
- Мотенко Р.Г., Чеверев В.Г., Журавлев И.И.** Влияние нефтяного загрязнения на теплофизические свойства мерзлых дисперсных пород // Геофизические исследования криолитозоны. М., 2000, вып. 3, с. 132–138.
- Пиковский Ю.И.** Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 202 с.
- Пчелинцев А.И.** Рекомендации по применению высокомолекулярных соединений в борьбе с морозным выпучиванием фундаментов. М., Наука, 1969, 212 с.
- Солнцева Н.П.** Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1998, 256 с.
- Сюняев З.И., Сюняев Р.З., Сафиева Р.З.** Нефтяные дисперсные системы. М., Химия, 1990, 226 с.
- Шешин Ю.Б., Горбунов В.П., Кулагин Б.А.** Влияние нефтепродуктов на прочностные свойства мерзлых грунтов // Методы изучения криогенных физико-геологических процессов. М., ВСЕГИНГЕО, 1992, с. 30–34.
- Aorinde O.A., Perry L.B., Pidgeon D., Iskandar I.K.** Experimental methods for decontaminating soils by freezing. N.Y., 1988. (Rep. / USA Cold Regions Res. and Eng. Lab.; No. MP 2513).
- Chuvilin E.M., Miklyaeva E.S.** Experimental study of transportation and accumulation of oil pollutants into freezing and frozen soils // The Second AMAP Intern. Symp. on Environmental Pollution of the Arctic. Rovaniemi, Finland, Oct., 1–4, 2000, P-X12.
- Chuvilin E.M., Miklyaeva E.S., Kozlova E.V. et al.** Influence of freezing on accumulation and redistribution of hydrocarbon in soils // Assessment and Remediation of Contaminated Sites in Arctic and Cold Climates. Edmonton, Delta Edmonton South, 2001, p. 267–272.
- Neufeld J.C.R., Bigger K.W.** Vertical migration of diesel into silty sand subject to cyclic freez-thaw // Proc. of the 8th Intern. Conf. on Cold Regions Eng. Fairbanks, USA, 1996, p. 116–127.
- White T.L., Coutard J.P.** Modification of silt microstructure by hydrocarbon contamination in freezing ground // Polar Record, 1999, vol. 35, No. 192, p. 41–50.
- White T.L., Williams P.J.** The influence of soil microstructure on hydraulic properties of hydrocarbon-contaminated freezing ground // Ibid., p. 25–32.

*Поступила в редакцию  
20 декабря 2007 г.*