

3. Каталог данных по тепловому потоку Сибири. - Новоси-
бирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. - 82 с.
4. Мельников П.И., Балобанов В.Т., Кутасов И.М., Девяткин
А.А. Геотермические исследования в Центральной Якутии. - Геоло-
гия и геофизика. 1972, № 12. - С. 134-137.
5. Репин А.Г., Берковченко С.А. Изучение мерзлотно-геотер-
мических условий западной группы газоконденсатных месторожде-
ний Халчагайского мегабассейна // Методы изучения термического ре-
жима грунтов криолитозоны. - М.: ВСЕГИНТЕО, 1989. - С. 58-65.
6. Романовский Н.Н. О взаимодействии криолитозоны и при-
родных газов подземной гидросферы. - М.: Вестник МГУ. Сер. геол.,
№ 3. - С. 3-17.
7. Тепловое поле недр Сибири. - Новосибирск: Наука, 1987. -
14 с.
8. Теплофизические исследования криолитозоны Сибири. - Но-
сибирск: Наука, 1983. - 213 с.
9. Шарбатян А.А. Экстремальные оценки в геотермии и геокри-
ологии. - М.: Наука, 1974. - 122 с.

ИД 551.345.7

А.В.Брушков (ПНИИС)

МИГРАЦИЯ ВЛАГИ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ПРИ ПОСТОЯННОМ ГРАДИЕНТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Вопрос о миграции влаги в мерзлых грунтах, несмотря на ряд очевидных достижений последних лет, остается слабоизученным. В работах Э.Д.Бршова и его сотрудников [1] экспериментально установлен влагоперенос и льдообразование в мерзлых грунтах различного состава при градиентах температуры 0,0-3,0 °C/см в течение нескольких суток. Показано влияние "открытости" системы и сосредоточено внимание на том, что при стационарном температурном режиме миграция влаги из обезвоживающейся части мерзлого образца и льдонакопление носят затухающий характер. При этом в экспериментах в более теплой части образца изменения влажности дости-

гали нескольких процентов, а в узкой зоне вблизи холодной части - 20 % и более.

Термодинамически процесс переноса влаги и льдообразование в мерзлых грунтах в условиях постоянного температурного градиента регламентируются, вероятно, механическими и структурными условиями, а его причина заключается в изменении температуры и соответственном изменении термодинамических характеристик (потенциале и давлении) влаги в пленке, количественные значения которых определяют интенсивность процесса. Не рассматривая аналитически деталей этого сложного явления, можно отметить, что в дальнейшем необходимо продолжать экспериментальные работы для исследования условий его возникновения. Как известно, мерзлые толщи льдосодержащих пород в разной степени подвержены влиянию температурных градиентов, которые, исключая слой сезонного протаивания, малы (тысячные доли градуса на см), но отличаются значительной продолжительностью воздействия. Если в таких условиях возможны миграция влаги, льдовыделение и изменение криогенного строения пород, это имеет большое практическое значение и может рассматриваться как самостоятельная экспериментальная задача.

В описываемых экспериментах были использованы возможности подземной лаборатории Амдерминской мерзлотной станции, находящейся на глубине нулевых годовых амплитуд колебаний температуры. Подземная лаборатория разделена теплоизоляционными стенками на отсеки, где с помощью греющего кабеля температура поддерживается постоянной в течение многих лет и месяцев. Колебания температуры в течение года обычно не превышают $0,2^{\circ}\text{C}$. В одной из стенок из пенополистирола толщиной 10 см были проделаны цилиндрические отверстия, куда вставлены специальные контейнеры с образцами. Температура на "холодной" стенке равнялась в среднем -3°C , на "теплой" - $2,5^{\circ}\text{C}$, температурный градиент в грунте (постоянный по длине) составлял таким образом в среднем $0,05^{\circ}\text{C}/\text{см}$. В экспериментах был использован суглинок, который отбирался из морских плейстоценовых отложений вблизи пос. Амдерма. Некоторые его свойства приведены в табл. I.

Зависимость содержания незамерзшей воды в суглинке при отрицательных температурах может быть представлена в табл. 2 в ви-

Т а б л и ц а 1

Гранулометрический состав и пластичность суглинки

Содержание частиц, %, при размере	частиц, мм			Характеристика пластичности	
	0,25-0,5	0,1-0,25	0,05-0,01	менее 0,002	W_L W_P I_P
2-1	0,5-0,25	0,1-0,05	0,01	0,002	0,37 0,23 0,09
0,3	0,5	1,9	4,8	70,2	12,0 2,8 0,0

Т а б л и ц а 2

Температуры начала замерзания $\theta_{\text{н}}$ и оттаивания $\theta_{\text{от}}$
в зависимости от влажности образцов в повторных опытах

Засоленность, $Z = 0,0\%$		Засоленность, $Z = 0,5\%$	
$W_{\text{д.г}}$	$\theta_{\text{н}}$	$W_{\text{д.г}}$	$\theta_{\text{от}}$
0,442	-0,15	-0,2	-1,2
0,373	-0,1	-0,1	-1,9
0,253	-0,5	-0,2	-2,7
0,174	-2,5	-1,4	-3,3
0,156	-5,9	-	-4,8
			-0,3
			-1,0
			-0,8
			-1,5
			-1,7
			-1,8

де температур начала замерзания (оттаивания) при различной влажности (данные И.С.Петрухина).

При подготовке к эксперименту незасоленный грунт был высушен, измельчен в ступке и замешан одновременно в трех емкостях (с дистиллированной водой до влажности около 44, 40 % и с раствором морской соли до влажности около 40 %). Приготовленная грунтовая паста выдерживалась для равномерного распределения влаги по объему в течение 3 сут в закрытой посуде, а затем помещалась в специальные контейнеры из полиэтиленовой трубки диаметром около 2 см, толщиной стенок 1 мм и длиной 12 см. Трубки заваривались с обоих концов, закладывались в холодильник в горизонтальном положении и выдерживались при температуре -9-11 °C в холодильной камере в течение 3 сут. После промораживания трубки смазывались техническим вазелином в местах сварки (для предотвращения сублимации в возможных дефектах сварных швов) и закладывались в отверстия стенки между отсеками. В контрольных образцах из каждой серии ($W \approx 40\%$; $Z = 0\%$; $W \approx 44\%$, $W = 40\%$; $Z = 0,5\%$) было изучено распределение по длине влажности и засоленности и криогенное строение. Криогенная текстура была представлена хаотичными, извилистыми ледяными шпирями, вытянутыми в основном вдоль стенок контейнера и равномерно распределенными по длине, толщиной до 0,5-1,0 мм. В засоленном образце ледяные шпиря были тоньше - до 0,5 мм. Начальное распределение влажности и засоленности было следующим (табл.3).

Т а б л и ц а 3
Распределение влажности и засоленности по длине контрольных образцов после промораживания. Упробование через 2 см

Номера образцов	Характеристика	Распределения по длине образца				
1	$W, g.e$	0,382	0,330	0,394	0,378	0,410
2	$W, g.e$	0,440	0,337	0,427	0,443	0,450
3	$W, g.e$	0,419	0,399	0,395	0,386	0,389
	$Z, \%$	0,47	0,45	0,43	0,43	0,45

Регистре
еженедельно.
на "холодной"
лой" - 1,3-2
согласованно
цев. Образцы
первые

зец был раз
среднем). Р
ведены в та

Графич
и после 6 м
пытанных об
стости за

Через
полнена ещ
дый образе

ме того, г
шихся в "

снята поли
либо конц

можно упо
(пристено

конца ско
ца больше

ледяных
Для мене

рактерны
"теплого

нера), у
бы упоря
ных шпир
15.
риumenta,
делка ба
край об

Регистрация температур на торцах образцов в стенке велась непрерывно. В период с 02.09.80 г. по 11.05.90 г. температура на "холодной" стенке изменялась в пределах $2,4-3,0^{\circ}\text{C}$, на "теплой" - $1,8-2,0^{\circ}\text{C}$, понижения и повышения температур происходили согласованно в обоих отсеках, медленно, в течение многих месяцев. Образцы были помещены в стенку 15.07.80 г.

Первые три образца были разделаны 28.01.87 г. Каждый образец был разрезан на 8 равных частей по длине (по $1,25\text{ см}$ в среднем). Результаты определения влажности и засоленности приведены в табл. 4.

Графически распределение влажности в контрольных образцах после 6 мес эксперимента приведено на рис. 1. Визуально в испытанных образцах было едва заметно некоторое увеличение льдистости за счет шлиров вблизи "холодного" края образцов.

Через год после начала эксперимента, 15.07.87 г., была выполнена еще одна, более тщательная разделка двух образцов. Каждый образец был равномерно по длине разрезан на 10 частей. Кроме того, грунт был взят на анализ и из торцов образца, находящихся в "холодном" и "теплом" отсеках. С каждого образца была снята полимерная реплика. В образце с $W = 0,44$ и $Z = 0\%$ какой-либо концентрации шлиров или общей льдистости не отмечается. Можно упомянуть лишь, что у "холодного" конца ледяные шлиры (пристеночные) несколько толще и, кроме того, если у "теплого" конца скорее неполносетчатая криотекстура, то у "холодного" конца больше горизонтальных (т.е. параллельных стенкам контейнера) ледяных шлиров, поэтому именно они и кажутся толще остальных. Для менее влажного ($W = 40\%$) незасоленного образца были характерны шлиры толщиной до 1 мм , длиной $3-7\text{ мм}$, извилистые, у "теплого" края субвертикальные (перпендикулярные стенкам контейнера), у "холодного" - субгоризонтальные, причем текстура как бы упорядочивается к "холодному" краю, в "теплой" части хаотичных шлиров больше. Распределение влажности представлено в табл. 5.

15.03.88 г., т.е. спустя год и 8 мес после начала эксперимента, был снят еще один образец ($W \approx 40\%$, $Z = 0\%$). Разделка была проведена аналогично предыдущей (табл. 6). "Теплый" край образца при разделке немного выкрошился.

Т а б л и ц а 4
Распределение влажности и засолености в образцах после
6 мес воздействия температурного градиента

Номера образ- цов	Характеристика	Распределение по длине образца					
		"Теплый" край			"Холодный" край		
1	W, %	39,4	40,4	41,2	40,1	40,2	40,1
2	W, %	43,6	42,4	40,9	41,1	40,2	40,7
3	W, %	40,3	39,5	39,5	39,1	38,6	38,8
	Z, %	0,47	0,52	0,46	0,45	0,47	0,52
							0,46
							0,50

Т а б л и ц а 5
Распределение влажности по длине образцов после года
воздействия температурного градиента

Номера образ- цов	Характеристика	Распределение по длине образца					
		"Теплый" край			"Холодный" край		
1	W, %	41,4	41,2	41,0	40,3	40,9	40,4
2	W, %	45,8	44,9	43,2	43,6	42,8	42,3
							41,9
							42,9
							42,6
							42,1
							41,4
							43,2
							43,0

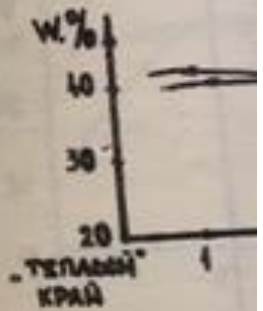
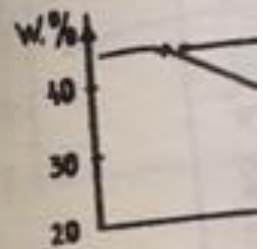
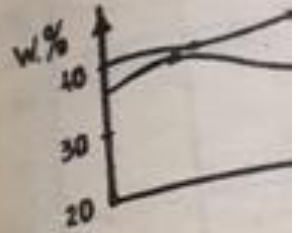


Рис. 1. Распределение влажности и засолености

После
спустя 3 го
чен один н
Один из за
ности, дру
(2 см) пре
ния влажно
ным надлеж
аналитичес
таты пред

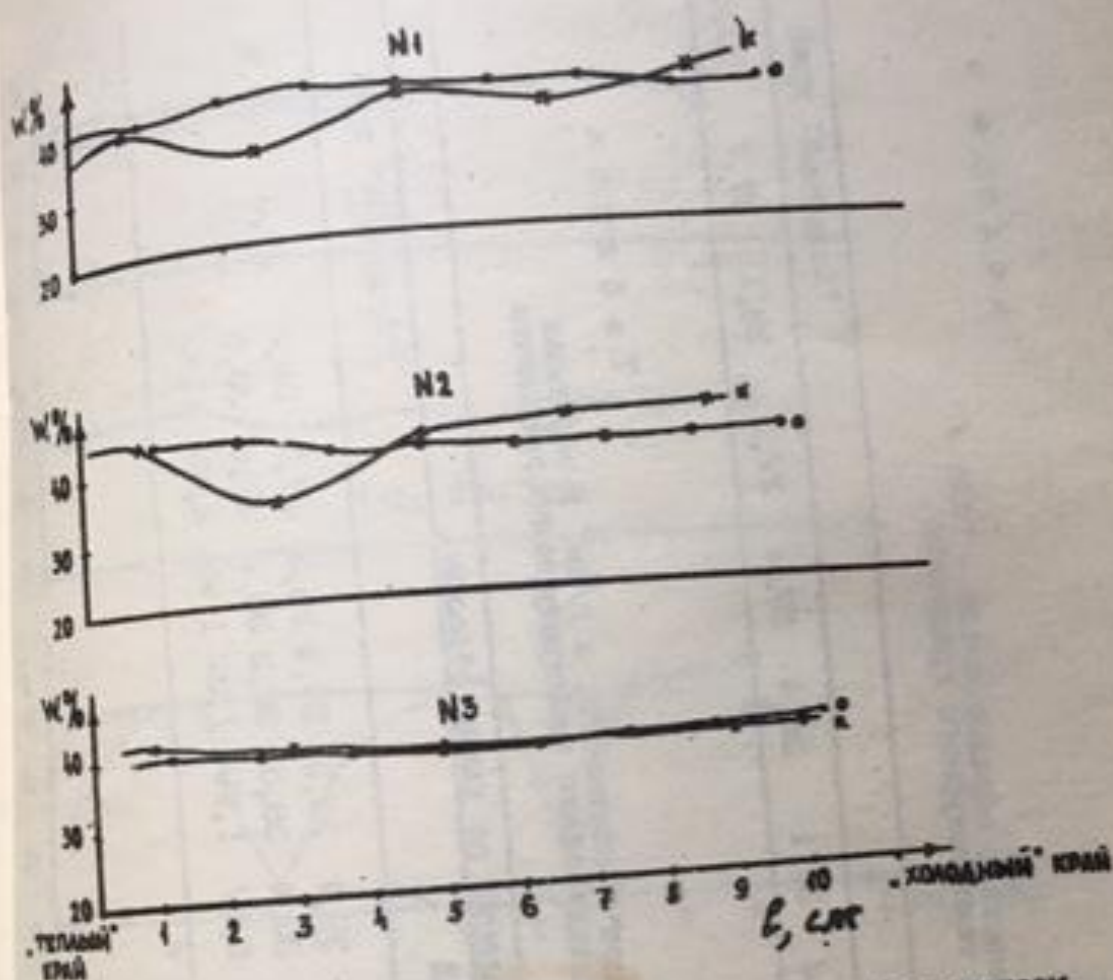


Рис. 1. Распределение влажности в контрольных (с индексом "к") и опытных образцах после 6 мес эксперимента ("о")

Последняя разделка образцов была проведена 10.04.90 г., спустя 3 года и 9 месяцев после начала эксперимента. Был изучен один незасоленный и два засоленных образца при $W \approx 40\%$. Один из засоленных образцов был разделан для определения влажности, другой - плотности. Ввиду малого диаметра образцов (2 см) предпринимаемые ранее попытки одновременного определения влажности и плотности привели к результатам, не обеспечившим надлежащей точности определения, несмотря на использование аналитических весов, стеклянных биксов и другой техники. Результаты представлены на рис. 2 и в табл. 7.

Т а б л и ц а 6

Распределение влажности в образце после 1 года и 3 мес воздействия температурного градиента

"Теплый" край										"Холодный" край									
39,4	38,1	39,8	39,9	37,2	37,1	38,4	37,0	39,1	38,1	37,7	38,0								

Т а б л и ц а 7

Распределение влажности и плотности, в г/см³ в образцах после 3 лет и 9 мес воздействия температурного градиента

Номер образцов	Характеристика	Распределение по длине образца										"Холодный" край									
		"Теплый" край																			
1	W, %	37,5	38,2	39,2	40,3	39,7	39,5	39,9	39,3	17,7	39,2	39,3	39,9								
3	W, %	26,5	37,5	40,5	10,1	30,4	38,5	38,3	38,2	37,0	30,5	22,7	-								
3	ρ , г/см ³	1,80	1,81	2,15	1,86	1,87	1,99	1,82	1,95	2,05	1,90	-	-								

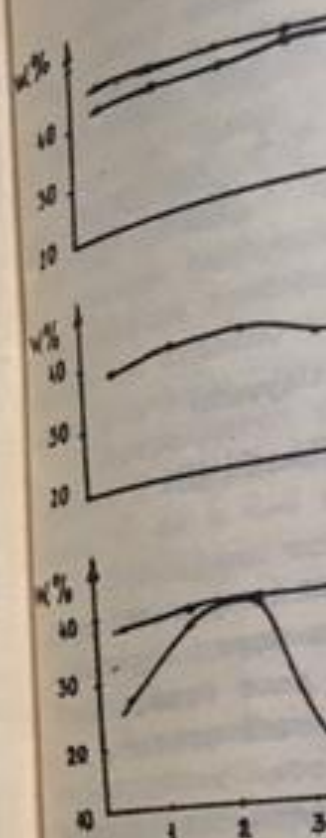


Рис. 2. Распределение

Результаты
взгляд, на возм
ния мерзлых гру
чение длительнос
положения о су
лагопереноса
ние.

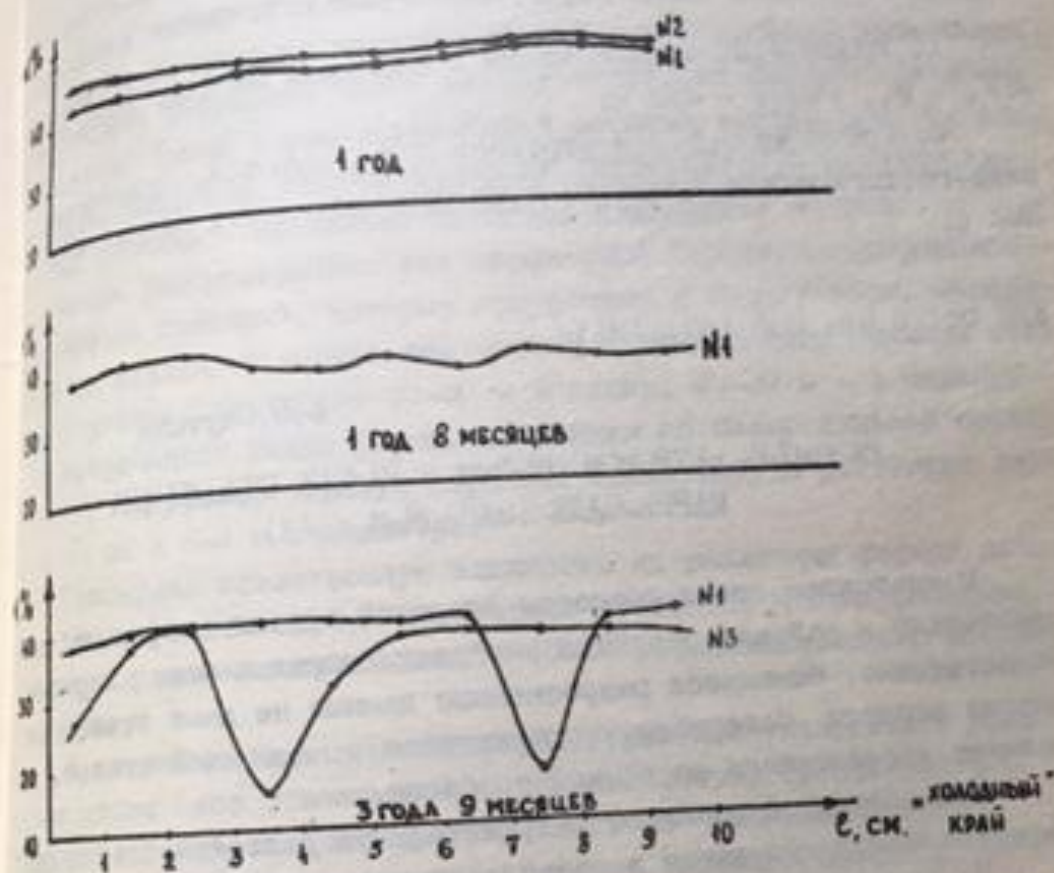


Рис.2. Распределение влажности (весовой) в образцах суглинка при разной длительности эксперимента.

Результаты проведенных исследований указывают, на наш взгляд, на возможность некоторого изменения криогенного строения мерзлых грунтов в малоградиентных температурных полях в течение длительного времени и одновременно не подтверждают предположения о существовании значительных объемов направленного влагопереноса из относительно теплых мерзлых зон в более холодные.

Список использованных источников

1. Брзов Э.Д. Физико-химия и механика мерзлых пород. Изд-во МГУ. - М., 1980. - 333 с.
2. Гречищев С.Б., Чистотинов Л.В., Мур М.А. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. - М.: Недра, 1980. - 382 с.

УДК 551.3.051.053 (571.121)

Е.В. Сауткин

РАЗВИТИЕ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ В РАЙОНЕ СТАЦИОНАРА
MARPE-SALE (ЗАПАДНЫЙ ЯМАЛ)

В настоящее время процессы ветровой эрозии (дефляции) применительно к районам развития многолетнемерзлых пород изучены недостаточно. Имеющиеся разрозненные данные не дают ответа на многие вопросы. Материалы, содержащиеся в настоящей статье, дополняют исследования по данной проблеме.

Под дефляцией понимают разрушительную деятельность ветра, выражающуюся в выдувании и развевании рыхлого материала ^{х)}.

Исследования проводились на участке площадью 15 км², прилегающей к теплобалансовому стационару ВСЬГИНГЕО, на территории, расположенной в краевой части III и частично II морских террас. На рассматриваемой площади процессу дефляции подвержено 20 % территории. Область развевания песков приурочена в основном к возвышенным частям останцовой поверхности и наиболее ярко выражена в районе берегового обрыва. Дефляции подвержен аллювий каргинско-сартанского и голоценового времени.

Интенсивность дефляции определяется, главным образом, климатическими условиями (ветровым режимом, распределением осадков) и свойствами грунтов, вследствие чего образуются различные эоловые отрицательные формы рельефа.

^{х)} Геологический словарь. - М.: Недра, 1973. - С. 219.