

4. Чувиллин Е.М., Перлова Е.В., Дубиняк Д.В. Экспериментальное моделирование условий существования газовых гидратов в морских отложениях п-ова Ямал. В сб. Материалы Второй конференции геокриологов России, т. 1. М. 2001. с. 169-173.

5. Якушев В.С. Состав, строение и свойства мерзлых гидратонасыщенных отложений. Дисс. на соискание звания канд. г.-м. н. М. МГУ. 1991. 132 с.

6. Sergeev D., Khimenkov A., Tipenko G., Vlasov A., Cauquil E., Green E., Dauboin P., Stanilovskaya J., Mnushkin M. Yamal Craters: State of Knowledge and Wished In-situ Investigations. XI. International Conference on Permafrost 20 – 24 June 2016. Potsdam. Germany p. 997.

7. Vladislav Isaev, Andrey Koshurnikov, Andrey Pogorelov, Ruslan Amangurov, Oleg Podchasov, Dmytry Sergeev, Arata Kioka. Field investigation and laboratory analyses; Baydaratskaya bay. 2017.

РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛЬДА И МЁРЗЛОГО ГРУНТА

**Фролов Д.М.¹, Ржаницын Г.А.¹, Сократов С.А.¹, Кошурников А.В.¹,
Гагарин В.Е.¹, Колобова Е.А.**

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Россия; *denisfrolov@mail.ru*

В работе представлены результаты механических испытания на одноосное сжатие и шариковым штампом мёрзлого грунта и льда. Испытания производились в холодном помещении географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Материалом образцов для испытаний являлись лёд, водонасыщенный замороженный песок и каолиновая глина. Скорость деформации при испытаниях составляла около 2-4 мм/минуту. Полученная в результате испытаний моментальная прочность образцов согласовалась с приведёнными в литературе полученными ранее данными.

RESULTS OF THE MECHANICAL TESTS OF ICE AND FROZEN GROUND

Frolov D.M.¹, Rzhantsyn G.A.¹, Sokratov S.A.¹, Koshurnikov A.V.¹, Gagarin V.E.¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; *denisfrolov@mail.ru*

The paper presents the results of mechanical testing for uniaxial compression and ball stamp of ice and frozen ground. The tests were carried out in the cold room of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University. The test samples were ice, water-saturated frozen sand and kaolin clay. The strain rate during the tests was about 2-4 mm/minute. The instantaneous strength of the samples obtained as a result of the tests was consistent with the previously obtained data given in the literature.

Механические свойства грунта принципиально важны для его бурения, а также для обеспечения устойчивости конструкций и сооружений с фундаментом на нём. В работе представлены результаты испытания на одноосное сжатие мёрзлого грунта. Испытания производились в холодном помещении географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на оборудовании «АСИС» компании Геотек (Россия). Материалом образцов для испытаний являлись водонасыщенный замороженный песок и каолиновая глина массовой влажностью 120%. Вид образца замороженной каолиновой глины с массовой влажностью 120% после испытания на одноосное сжатие приведён на рисунке 1. Скорость деформации при испытаниях составляла 2-4 мм/минуту. Образец замороженной глины испытывал в результате пластическое разрушение (рисунок 1, 2).



Рис. 1. Вид образца замороженной каолиновой глины с массовой влажностью 120% после испытания на одноосное сжатие.

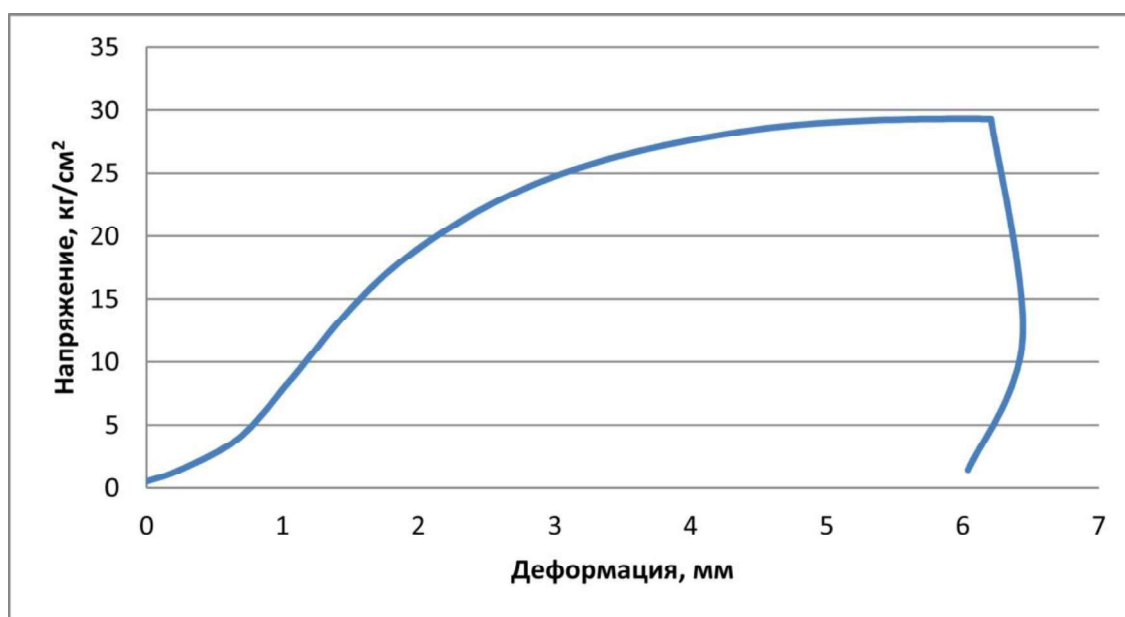


Рис. 2. Результат испытания на одноосное сжатие мёрзлой каолиновой глины массовой влажностью 120% со скоростью деформации 2 мм/мин.

Для образца замороженного песка происходила почти упругая деформация, так как для пластического разрушения не хватало предельно допустимой нагрузки прибора (рисунок 3).

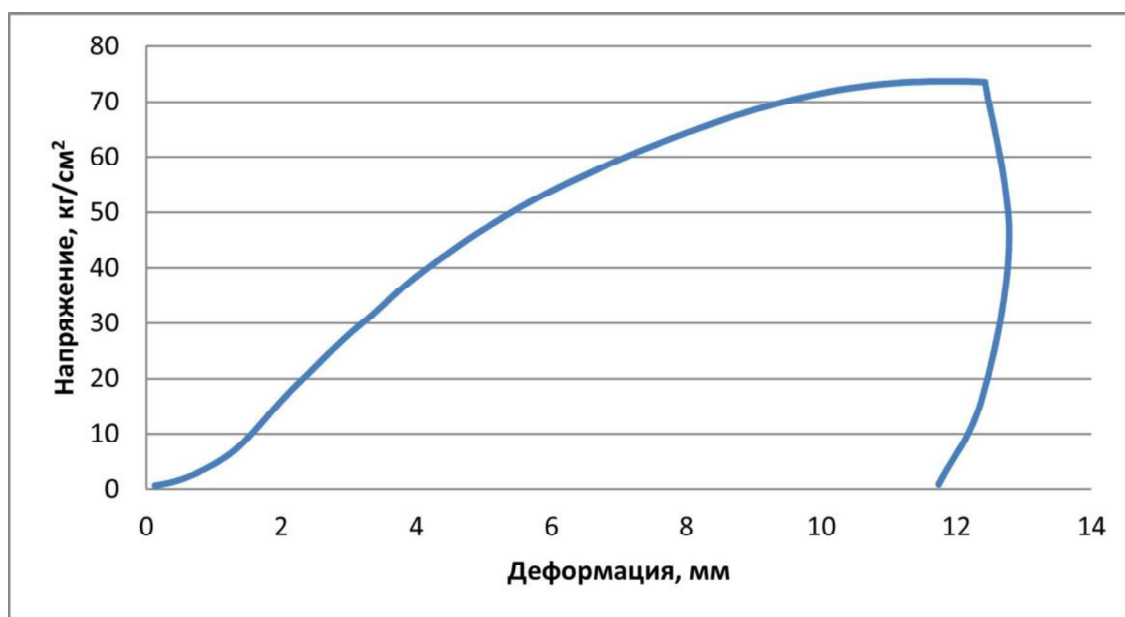


Рис. 3. Результат испытания на одноосное сжатие замороженного песка максимального водонасыщения со скоростью деформации 2 мм/мин.

Общая конечная деформация образца мёрзлого песка и каолиновой глины составила около 5% для песка и 20% для глины от исходного размера. Полученная в результате испытаний моментальная прочность образцов 29 кг/см^2 для глины и 75 кг/см^2 для песка согласуется с приведёнными в Таблице 1 полученными ранее данными [2].

Таблица 1. Прочность мерзлых грунтов при одноосном сжатии (из [2]).

Грунт	Вл.,%	σ, кг/см ² , при времени действия нагрузки						
		1 мин	10 мин	30 мин	1 час	8 час	24 час	50 лет
Песок	27	80,4	30,1	21,8	18,5	12,6	10,8	4,7
	22	88,2	37,6	27,8	23,8	16,5	14,2	6,3
Суглинок	26	38,8	23,6	19,1	17,0	12,6	11,1	5,7
	22	36,2	26,1	22,2	20,1	15,8	14,2	7,4

При скорости деформации 4 мм/минуту графики зависимости напряжения от деформации для глины с влажностью 120% и водонасыщенного песка были как на рисунках 4 и 5.

Механические свойства льда, такие как сопротивление сжатию, также существенно важны для технологии ледового бурения, а также для обеспечения устойчивости конструкций северных морских портов, платформ, судов и другой инфраструктуры, такой как маяки и т.д. (подробнее в книге Лосета и др. [1]). Подготовленные образцы пресноводного льда имели высоту около 8 см и ширину 7 см. Его готовили в холодильной камере методом однонаправленного замораживания. В ходе экспериментальных испытаний скорость деформации давлением была установлена от 0,01 до 0,06 мин⁻¹ для пластичного и хрупкого разрушения при сжатии. Пластичное разрушение образца льда при сжатии происходило во время экспериментальных испытаний при максимальном давлении около 2500 кПа. Общая конечная деформация образца льда составила около 33% от достигнутого начального размера. Хрупкое разрушение образца льда при сжатии происходило во время экспериментального исследования при максимальном давлении около 1100 и 300 кПа, приложенном вдоль вертикальных осей с и базальных линий соответственно. Также изменение долгосрочного эквивалентного сцепления пресноводного и рассольного льда

(Seq) было измерено с помощью теста шариковым штампом. Кристаллическая структура приготовленных образцов из пресноводного льда и рассольного льда исследовалась в поляризованном свете. Также производились испытания шариковым штампом образцов уплотнённого снега по определению его эквивалентного сцепления.

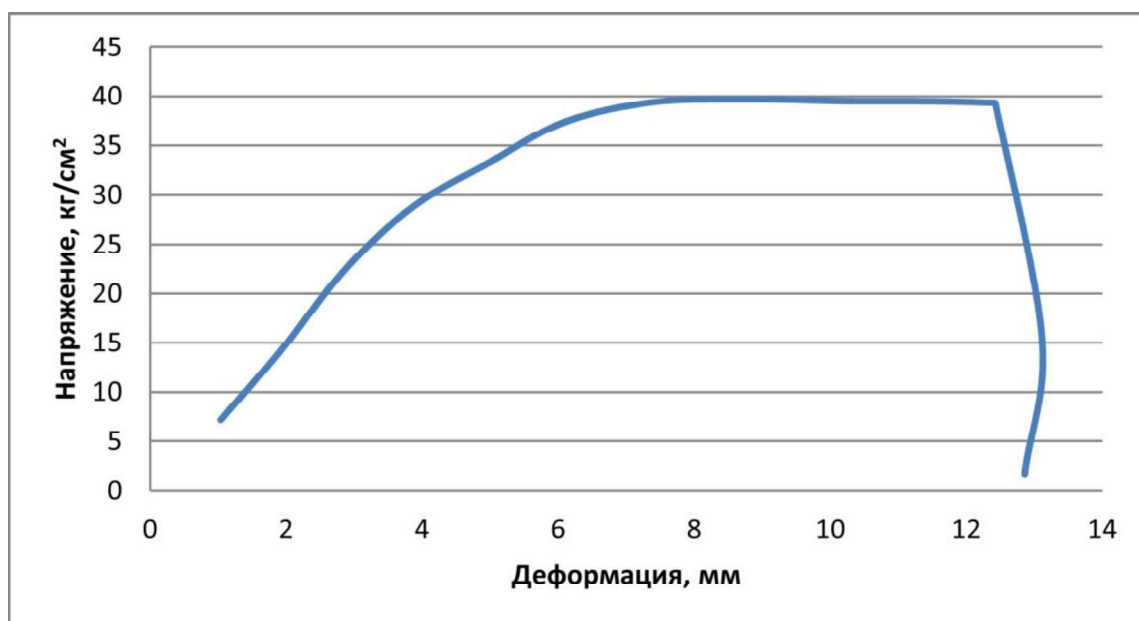


Рис. 4. Результат испытания на одноосное сжатие мёрзлой каолиновой глины массовой влажностью 120% со скоростью деформации 4 мм/мин.

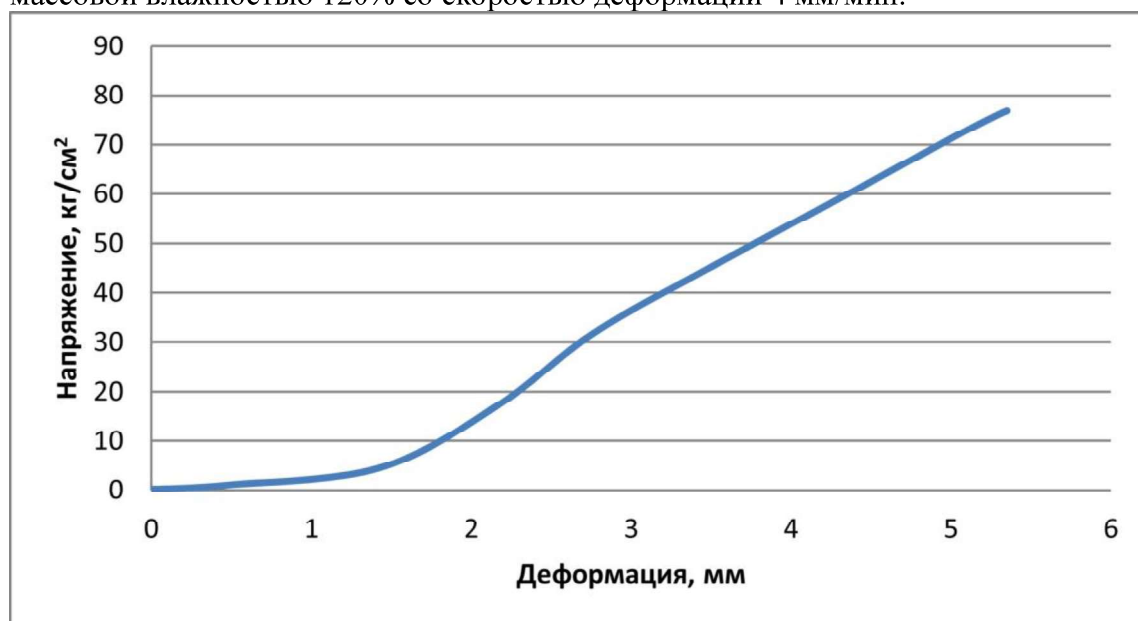


Рис. 5. Результат испытания на одноосное сжатие замороженного песка максимального водонасыщения со скоростью деформации 4 мм/мин.

Для исследования сопротивления льда давлению проводились эксперименты в холодной комнате географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова на оборудовании НПП "Геотек" (Россия) (рис. 6).

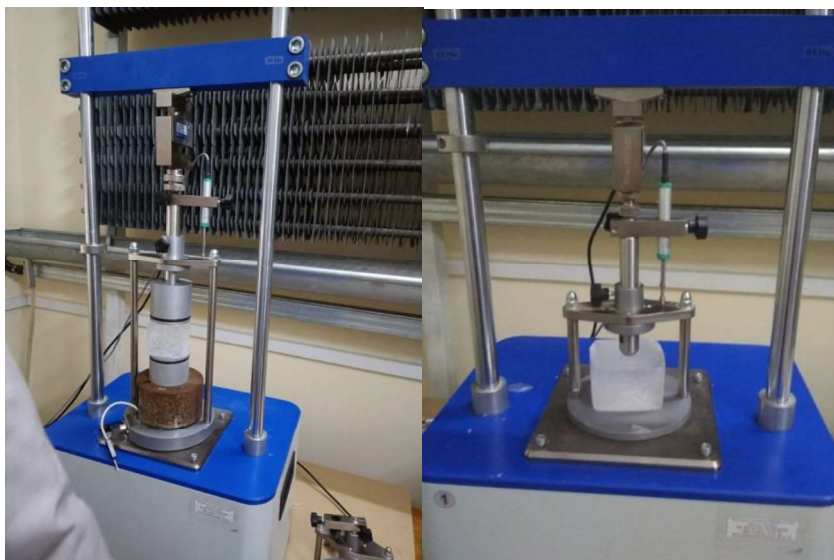


Рис 6. Экспериментальная установка в холодильной камере для испытаний по давлению льда и шарикового штампа.

Испытания механических свойств льда проводились на пластичное и хрупкое разрушение при сжатии в соответствии с [3, 4], который предлагает следующую диаграмму, иллюстрирующую переход от пластичного разрушения к хрупкому (рис. 7).

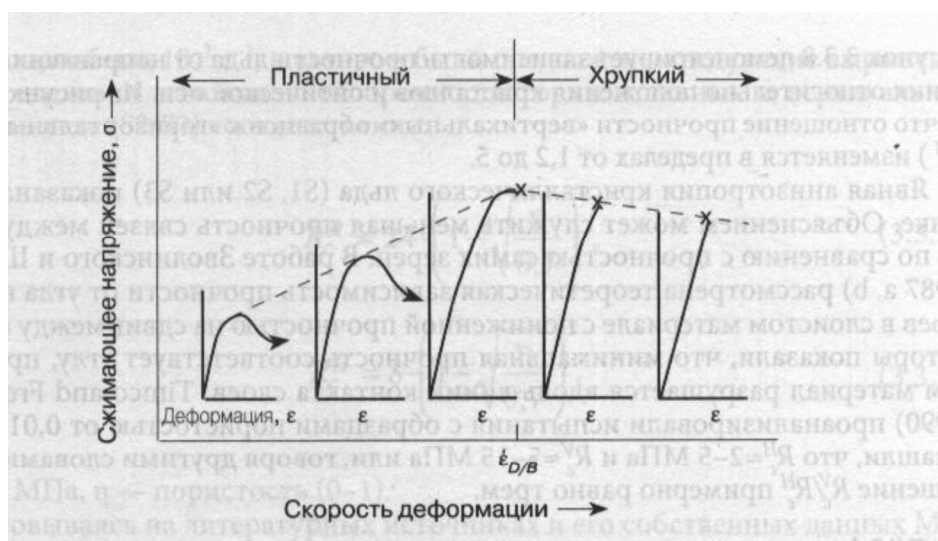


Рис. 7. Диаграмма для иллюстрации перехода от пластичного разрушения к хрупкому при сжатии. Эти кривые показывают гипотетические компрессионные кривые напряженно-деформированного состояния при прогрессивно возрастающих скоростях деформации, перепечатанные из работ [3, 4].

Для эксперимента были приготовлены образцы пресноводного льда примерно 8 см высотой и 7 см шириной. Его готовили в холодном помещении методом однонаправленного замораживания. В ходе экспериментов задавалась скорость деформирования от 0,01 до 0,06 мин⁻¹ для пластического и хрупкого разрушения при сжатии.

В ходе эксперимента при максимальном давлении около 2500 кПа происходило пластическое сжатие образца льда. Общая конечная деформация образца льда составила около 33% от достигнутого исходного размера.

Прочность при испытании пластичным давлением в эксперименте сначала поднималась до 2500 кПа, затем падала и шла под давлением около 1200 кПа.

Хрупкое разрушение образца льда при сжатии происходило во время экспериментальных испытаний при максимальном давлении около 1100 и 300 кПа, приложенном соответственно вдоль вертикальных осей с и базальных линий (рис. 8).

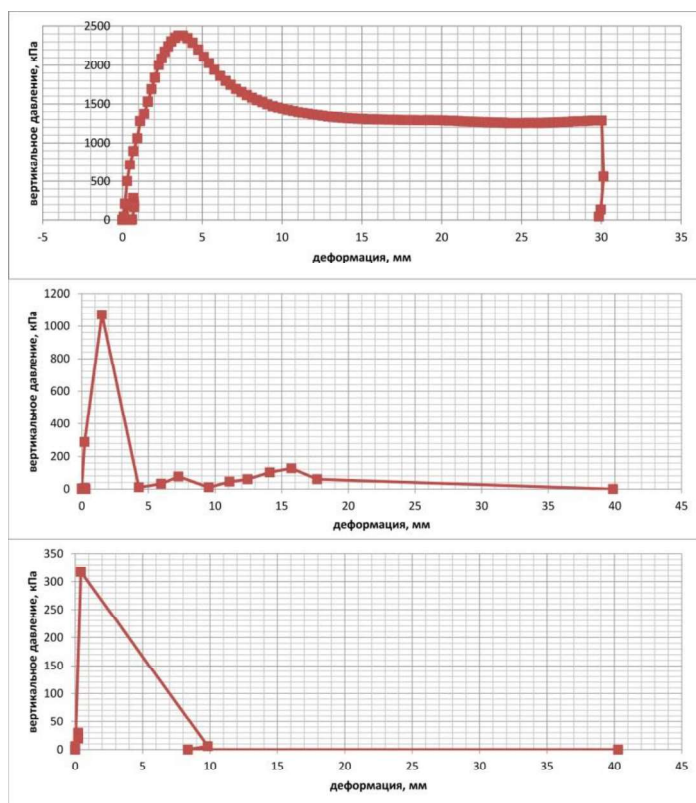


Рис. 8. Графики зависимости вертикального давления от деформации в экспериментах по пластичному и хрупкому разрушению при сжатии

Кроме того, изменение долговременного эквивалентного сцепления пресноводного и рассольного льда (σ_{eq}) было измерено с помощью теста шарикового штампа (проиллюстрировано на рис. 9).

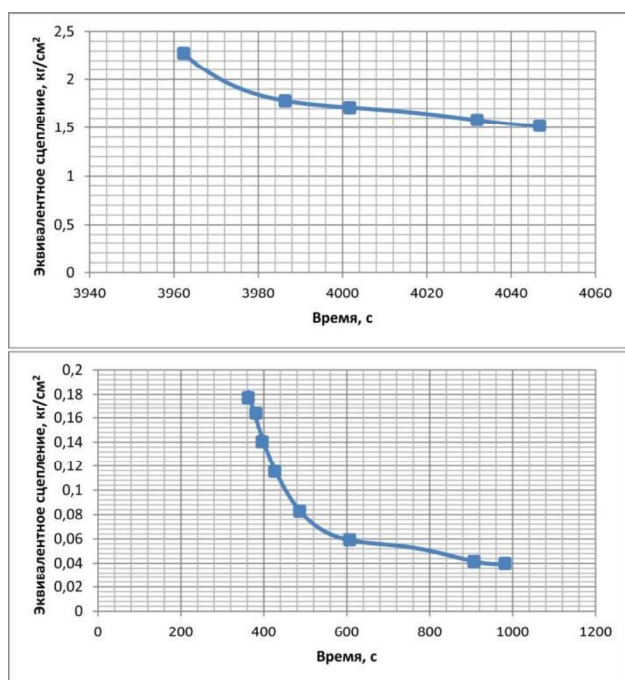


Рис. 9. Изменение долговременного эквивалентного сцепления пресноводного и рассольного льда (Seq).

Кристаллическая структура подготовленных образцов из пресноводного и рассольного льда изучалась в поляризованном свете (рис. 10).



Рис . 10. Кристаллическая структура подготовленных образцов из пресноводного льда и рассольного льда

Изменение эквивалентного сцепления для образца снега во времени с начальной плотностью 280 кг/м^3 после уплотнения давлением в $0,5 \text{ атм.}$ в течение 20 мин можно видеть на рис. 11.

Обобщая представленные на рисунках 3-6 результаты экспериментов можно сделать выводы, что напряжение пластичного разрушения льда выше, чем хрупкого. Кроме того, напряжение хрупкого разрушения образца льда, приложенное вдоль вертикальных осей с, выше, чем приложенное вдоль базальных линий. Эквивалентное сцепление пресноводного льда выше, чем для рассольного льда из-за разницы в структуре. У снега же эквивалентное сцепление ещё меньше, чем у рассольного льда.

Полученные результаты совпадают с полученными ранее результатами и разработками [1] и [3, 4].

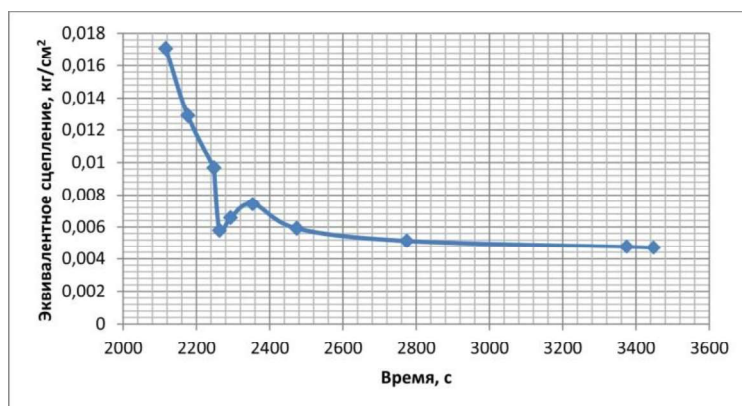


Рис. 11. Изменение эквивалентного сцепления образца снега во времени с начальной плотностью 280 кг/м^3 после уплотнения давлением в 0,5 атм. в течение 20 мин.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Литература

1. Лосет С., Шхинек К.Н., Гудмestad О.Т., Хойланд К. Воздействие льда на морские и береговые сооружения, СПб.: Изд-во «Лань», 2010, 272 с.
2. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / А. В. Брушков, С. Н. Булдович, С. С. Волохов и др. — Геоинфо Москва, 2016. — 512.
3. Schulson E.M. The brittle failure of ice under compression. J. Phys. Chem. — 1997. - В, 101, pp. 6254-6258.
4. Schulson, E.M., The brittle compressive fracture of ice. Acta Metall. Mater. — 1990. - 38, 1963.

ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ ПРИ ГЛОБАЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Царапов М.Н.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
геологический факультет,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия
E-mail: tsarapov@geol.msu.ru

Показана возрастающая актуальность роли исследований оттаивающих грунтов в связи с глобальным изменением климата. Приведены новые разработки методик по определению прочностных, деформационных и фильтрационных свойств оттаивающих грунтов, которые могут стать основой для разработки новых национальных стандартов. Выделены современные проблемы в исследованиях оттаивающих грунтов.

ACHIEVEMENTS AND RESEARCH PROBLEMS PROPERTIES OF THAWING SOILS UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE

Tsarapov M.N.