

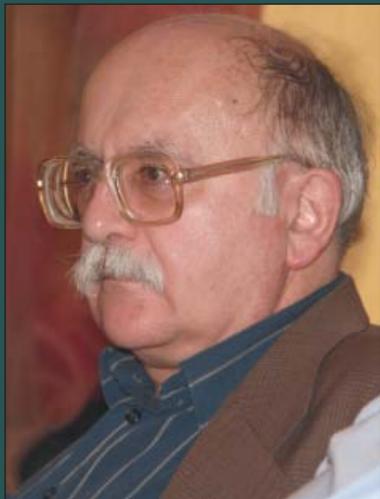


**Виктор Иванович АКСЕНОВ** родился в Ленинграде в 1937 г. Окончил Ленинградское Мореходное училище в 1959 г., где получил звание и диплом штурмана дальнего плавания.

Работал на судостроительном Балтийском заводе в качестве слесаря, техника-конструктора. В 1964 г. поступил в институт Ленморниипроект и уехал на работу в п. Амдерма Ненецкого национального округа, где проработал восемь лет в качестве инженера-испытателя, работал с перерывами до 1976 г.

В 1965 г. закончил вечернее отделение института Водного транспорта, присвоено звание инженера-механика. В 1971 г. поступил в заочную аспирантуру московского института Союзморниипроект. В 1976 г. переехал в Москву и поступил на работу в отраслевую лабораторию при кафедре основания и фундаменты МИСИ. Этот период работы был связан с командировками и обследованием состояния северных плотин Усть-Хантайской, Вилуйской, Колымской.

В 1980 г. в МИСИ защитил диссертацию с присуждением ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование механических свойств мерзлых засоленных грунтов как оснований сооружений». В период с 1986 по 2018 гг. работал в профильных организациях ПНИИИС, АО «Фундаментпроект» в качестве руководителя Сектора испытания мерзлых грунтов. Удостоен государственного знака «Жителю блокадного Ленинграда», награжден знаком ММФ «Почетный полярник». Виктором Ивановичем опубликовано около 80 научных трудов.



**Сергей Георгиевич ГЕВОРКЯН** родился в г. Тбилиси в 1953 г. В 1975 г. окончил Ереванский государственный университет, механико-математический факультет, получив звание механик. Защитил диссертацию на звание кандидата физ.-мат. наук (1988 г., Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР – на тему «Двумерная математическая модель морозобойного растрескивания»).

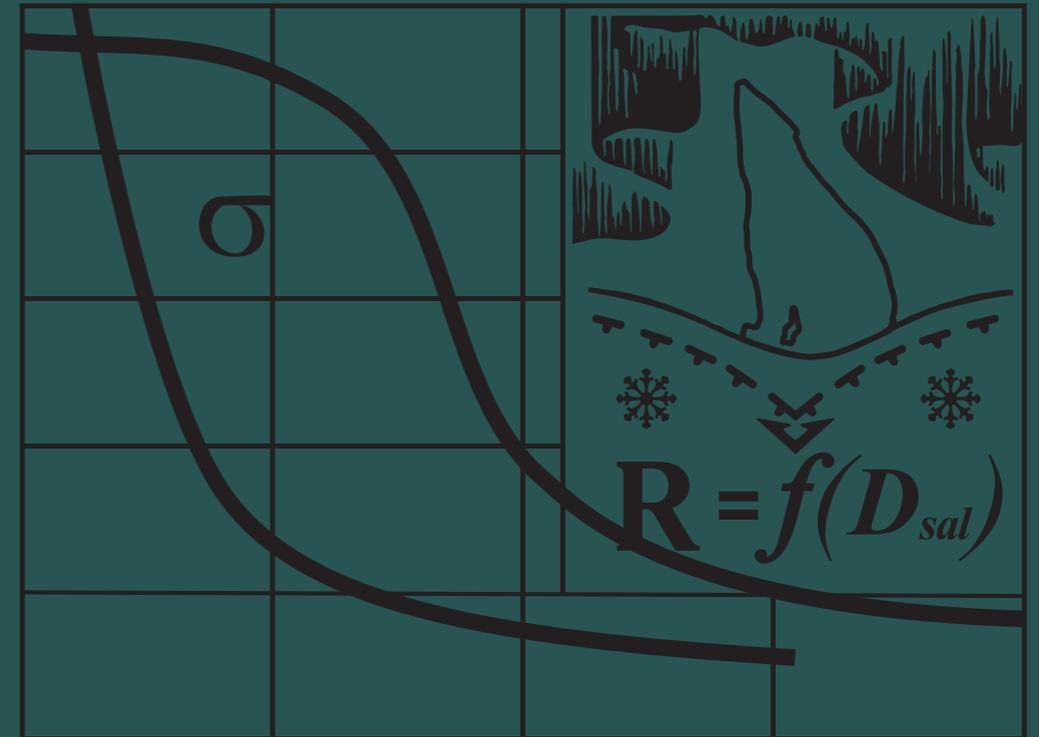
В последующие годы С.Г. Геворкян продолжал заниматься исследованием прочностных и деформационных свойств мерзлых грунтов в различных профильных организациях: в ПНИИИС Госстроя России он работал в Секторе испытаний мерзлых грунтов Отдела инженерно-геокриологического прогноза; в АО «Фундаментпроект» работал в должности ведущего инженера Сектора испытаний мерзлых грунтов Отдела инженерно-геокриологической съемки и ГИС-технологий 2005 по 2018 гг.; в НИИОСП им. Н.М. Герсеевича работал в должности старшего научного сотрудника с 2018 по 2022 гг.

В 1993 г. получил звание старший научный сотрудник, а в 1994 г. стал член-корреспондентом Международной академии информатизации. Кроме того, являлся действительным членом Московского общества испытателей природы (МОИП), заведовал редакцией электронного альманаха «Пространство и время». Сергеем Георгиевичем опубликовано более 100 научных трудов.

В.И. Аксенов, Засоленные и льдистые мерзлые грунты Арктического побережья  
С.Г. Геворкян как основание сооружений

**В.И. Аксенов,  
С.Г. Геворкян**

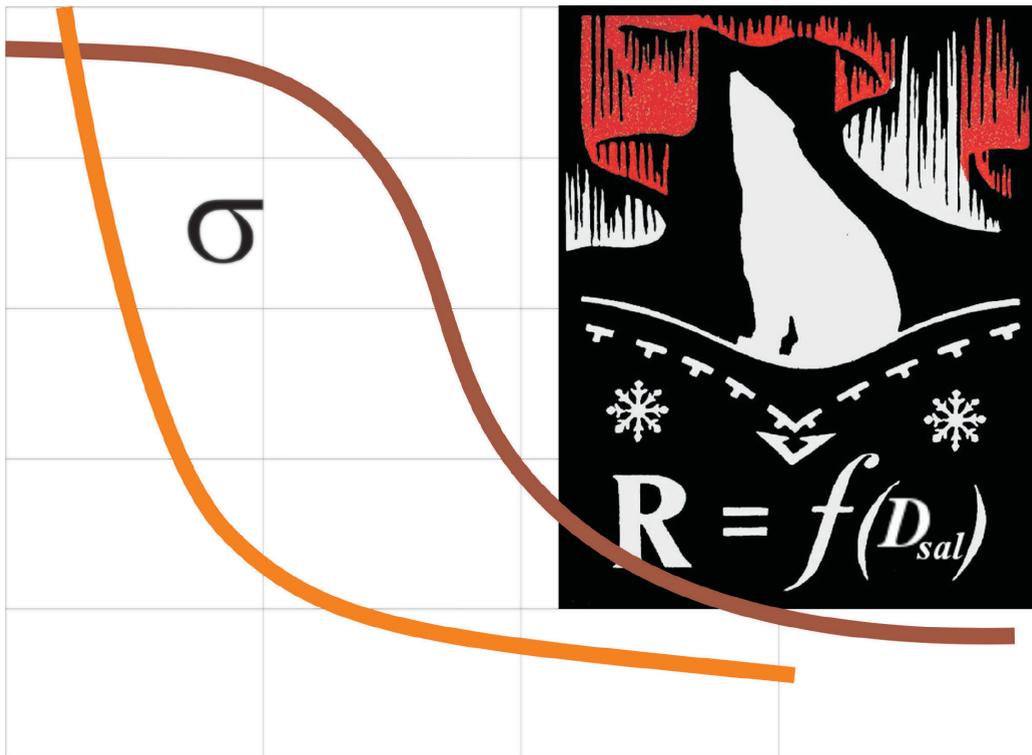
# ЗАСОЛЕННЫЕ И ЛЬДИСТЫЕ МЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАК ОСНОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ



МОСКВА  
2023

В.И. Аксенов,  
С.Г. Геворкян

# Засоленные и льдистые мерзлые грунты Арктического побережья как основание сооружений



МОСКВА  
2023

ББК 551.340  
УДК 26.3  
А89

Ответственный редактор:  
Кандидат геолого-минералогических наук *А.А. Попова*  
Рецензент:  
Доктор геолого-минералогических наук *Ф.М. Ривкин*

**А89** Аксенов В.И., Геворкян С.Г.

Засоленные и льдистые мерзлые грунты Арктического побережья как основание сооружений. М.: ООО «МАФ», 2023. – 280 с.; с илл. и табл.

В переиздаваемой книге сохранены первые пять глав предыдущего издания (Аксенов В.И., 2008).

В монографии впервые сведены воедино и детально рассмотрены современные методы исследования свойств засоленных мерзлых грунтов Арктического побережья. Описываются основные виды лабораторных испытаний засоленных мерзлых грунтов, приводятся сведения об оборудовании и приемах его использования в морозильных камерах. Приводятся результаты экспериментальных исследований механических свойств засоленных мерзлых грунтов.

Рассмотрен опыт использования засоленных мерзлых грунтов в практике изысканий и строительства. В табличной форме предложены нормативные и расчетные характеристики (прочностные и деформационные) для проектирования. Приведены примеры эксплуатации зданий и сооружений на основаниях представленных засоленными мерзлыми грунтами.

Предложены некоторые мероприятия по повышению несущей способности фундаментов на засоленных мерзлых грунтах.

Переиздаваемая книга дополнена новыми главами, такими как антикоррозионные и противопучинные покрытия, применение винтовых свай в мерзлых основаниях. Исследованы характеристики льдов и сильнольдистых грунтов, даны предложения по их величинам прочности и деформируемости в табличной форме.

Книга рассчитана на специалистов, работающих в Арктике в области строительства, инженеров-проектировщиков, изыскателей, научных работников, студентов геологических вузов.

**ББК 551.340**  
**УДК 26.3**

ISBN 978-5-6049540-0-3



9 785604 954003

ISBN 978-5-6049540-0-3

© Аксенов В.И., Геворкян С.Г., 2023  
© ООО «КриоЛаб»  
© ООО «МАФ»

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>ОТ АВТОРОВ</b> .....	4
<b>РЕЦЕНЗИЯ</b> .....	6
<b>ГЛАВА 1. СОСТАВ СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЗАСОЛЕННЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ</b>	
1.1. Физические и физико-химические свойства грунтов. Критерии засоленности. ....	8
1.2. Фазовый состав. Температура начала замерзания засоленных мерзлых грунтов .....	12
1.3. Теплофизические свойства .....	21
1.4. Механические свойства .....	24
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАСОЛЕННЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ</b>	
2.1. Общие требования к испытаниям. ....	29
2.1.1. Методика изготовления и подготовки мерзлых образцов к испытаниям. ....	39
2.2. Испытания шариковым штампом .....	41
2.3. Испытания на одноосное сжатие .....	44
2.4. Испытания на срез .....	49
2.5. Испытания на сдвиг при смерзании с элементами фундамента .....	50
2.6. Испытания на разрыв .....	52
2.7. Трехосное сжатие .....	54
2.8. Испытания на компрессию и другие методы определения деформируемости .....	58
<b>ГЛАВА 3. ЗАСОЛЕННЫЕ МЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ КАК ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ФУНДАМЕНТАМИ</b>	
3.1. Некоторые представления о прочности и деформируемости мерзлых грунтов .....	61
3.2. Модели деформирования засоленных мерзлых грунтов .....	64
3.3. Напряженное состояние мерзлых грунтов под фундаментом (штампом) .....	67
<b>ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	
4.1. Основные виды лабораторных испытаний мерзлых грунтов .....	73
4.2. Прочность засоленных мерзлых грунтов при вдавливании шарикового штампа (эквивалентное сцепление) .....	74
4.2.1. Зависимость $C_{eq}$ от состава солей .....	76
4.2.2. Зависимость $C_{eq}$ от влажности-льдистости и текстуры образцов мерзлого грунта .....	79
4.2.3. Обоснование параметров длительной прочности и расчетных характеристик исследуемых засоленных мерзлых грунтов .....	82
4.3. Прочность засоленных мерзлых грунтов при одноосном сжатии. ....	88
4.3.1. Мгновенная прочность. Зависимость $R_{oc}$ от температуры и засоленности. ....	88
4.3.2. Длительная прочность при испытании образцов грунта постоянной и ступенчатой нагрузкой. ....	92
4.3.3. Прочность при испытании образцов переменной нагрузкой (динамометрический метод). ....	98
4.3.4. Зависимости параметров прочности мерзлых грунтов от температуры и засоленности, полученных в опытах на одноосное сжатие .....	101
4.4. Прочность смерзания элементов фундамента с засоленными мерзлыми грунтами .....	105
4.4.1. Физико-химическая природа смерзания .....	106
4.4.2. Лабораторное моделирование сил смерзания. ....	109
4.4.3. Критическая деформация при сдвиге засоленного грунта с поверхностью смерзания. ....	116
4.5. Прочность засоленных мерзлых грунтов на разрыв. ....	119
4.6. Прочность засоленных мерзлых грунтов на срез (сдвиг) .....	121
4.7. Влияние динамических нагрузок на прочностные характеристики пластичномерзлых грунтов .....	126

**ГЛАВА 5. ДЕФОРМАЦИИ МЕРЗЛЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ  
ПОД МЕХАНИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ.**

**КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ.**

5.1. О природе деформирования мерзлых грунтов . . . . .	131
5.1.1. Затухающая ползучесть . . . . .	132
5.1.2. Деформации пластично-вязкого течения . . . . .	134
5.2. Деформирование в компрессионных условиях . . . . .	135
5.2.1. Зависимости модуля деформации мерзлых грунтов от температуры . . . . .	136
5.2.2. Другие методы определения модуля деформации. . . . .	140
5.3. Деформирование при одноосном сжатии. . . . .	142
5.3.1. Зависимости параметров деформирования от температуры и засоленности . . . . .	147
5.3.2. Другие методы определения параметров деформирования из опытов на одноосное сжатие (динамометрический метод) . . . . .	148
5.4. Сопоставление результатов определения модуля деформации засоленных мерзлых грунтов различными методами . . . . .	151
5.5. Значения некоторых корректировочных коэффициентов полученных в результате компрессионных и штамповых испытаний . . . . .	154
5.5.1. Приборы применяемые для испытания на компрессию . . . . .	154
5.5.2. Сжимаемость талых грунтов . . . . .	156
5.5.3. Сжимаемость мерзлых грунтов . . . . .	156
5.5.4. Сопоставление величин модулей деформации мерзлых грунтов (полевых и лабораторных) . . . . .	161
5.5.5. Корректировочные коэффициенты для некоторых видов мерзлых грунтов . . . . .	161
5.6. Критерии пластично-мерзлого и твердомерзлого состояния засоленных мерзлых грунтов . . . . .	162

**ГЛАВА 6. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОТИВОПУЧИННЫХ  
И АНТИКОРРОЗИОННЫ ПOKРЫТИЙ (ЛКП) ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФУНДАМЕНТОВ,  
ВОЗВОДИМЫХ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ**

6.1. Морозное пучение и коррозия металлических свай . . . . .	168
6.2. Определение удельных касательных сил пучения . . . . .	170
6.3. Способы погружения свай и характеристика грунтов . . . . .	171
6.4. Приборы и оборудование для испытаний мерзлых грунтов на срез по поверхности смерзании . . . . .	172
6.5. Методика проведения экспериментов . . . . .	173
6.6. Характеристика покрытий . . . . .	174
6.7. Анализ результатов испытаний . . . . .	179
6.8. Варианты покрытий . . . . .	182
6.9. А теперь об ООО «KrioLab» . . . . .	183

**ГЛАВА 7. РАБОТА ВИНТОВЫХ СВАЙ В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ**

7.1. Преимущества и недостатки применения винтовых свай в строительстве на мерзлых грунтах . . . . .	185
7.2. Конструкция испытательного оборудования . . . . .	186
7.3. Параметры модель винтовой сваи и технология завинчивания . . . . .	187
7.4. Методика испытаний модели винтовой сваи. . . . .	188
7.4.1. Определение напряжений в грунтовой толще . . . . .	189
7.4.2. Расчет величины крутящего момента . . . . .	190
7.5. Результаты испытаний модели винтовой сваи. . . . .	191
7.6. Образование уплотненного ядра в грунте при вдавлении штампа . . . . .	192
7.7. Некоторые результаты натурных испытаний винтовых свай в мерзлых грунтах . . . . .	195

**ГЛАВА 8. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСТВОРЕНИЯ ЛЬДА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КРИОПЕГОВ  
В МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПУЧИНИСТОСТИ ГРУНТОВ**

8.1. Что такое криопэг, условия его формирования и распространения . . . . .	203
8.2. Влияние криопэггов на грунтовое основание . . . . .	207
8.3. Закономерности растворения льда в мерзлых грунтах под воздействием криопэггов. . . . .	210

8.4. Практические примеры .....	212
8.5. Предложения для будущих исследований .....	215
8.6. Влияние фазовых превращений воды в мерзлых грунтах на проявление их пучинистости .....	216
8.6.1. Инженерно-геологическая характеристика грунтов площадок строительства .....	216
8.6.2. Результаты испытания мерзлых грунтов на прочность .....	217
8.6.3. Степень пучинистости грунтов .....	218
8.6.3.1. Природа фазовых превращений воды .....	218
8.6.3.2. Методика и установка для испытаний .....	221
8.6.3.3. Результаты определения значений степени пучинистости .....	223
8.6.4. Компьютерное моделирование температурного поля .....	224

#### **ГЛАВА 9. ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕРЗЛЫХ ПЕСКОВ ОТ ВЛАЖНОСТИ (ЛЬДИСТОСТИ)**

9.1. Природа разрушения льдистых образцов грунта .....	227
9.2. Методы изготовления и испытания песчаных льдистых образцов .....	228
9.3. Результаты экспериментов .....	230
9.4. Практический пример, котельная в пос. Собетта .....	234
9.5. Рекомендуемые расчетные давления на мерзлые незасоленные льдистые пески .....	237

#### **ГЛАВА 10. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДОВ, ЛЬДИСТЫХ И СИЛЬНОЛЬДИСТЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

10.1. Изученность механических свойств льда российскими учеными .....	239
10.2. Реологическая кривая льда .....	240
10.3. Образцы льда природного сложения .....	241
10.3.1. Методика подготовки и изготовления образцов льда природного сложения .....	241
10.3.2. Результаты испытания на ползучесть образцов льда природного сложения .....	242
10.4. Образцы льда изготовленные искусственным методом .....	243
10.4.1. Изготовление образцов льда методом намораживания .....	243
10.4.2. Методика испытания образцов льда на одноосное сжатие .....	244
10.4.3. Прочность образцов льда при длительном действии нагрузки .....	244
10.4.4. Зависимость коэффициента вязкости льда от температуры и нагрузки .....	246
10.5. Особенности проектирования оснований и фундаментов на подземных льдах и на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах .....	247
10.6. Распространение и изученность льдистых и сильнольдистых грунтов .....	248
10.7. Методика изготовления льдистых и сильно льдистых мерзлых образцов .....	249
10.8. Методика проведения испытаний .....	251
10.9. Особенности деформирования сильно льдистых грунтов .....	252
10.10. Комплексная оценка суммарной льдистости глинистых грунтов .....	253
10.11. Рекомендуемые нормативные давления на льдистые и сильно льдистые грунты .....	259

<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	260
-------------------------	-----

<b>ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН</b> .....	263
---	-----

<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	265
--------------------------------	-----

В.И. Аксенов, С.Г. Геворкян

## **Засоленные и льдистые мерзлые грунты Арктического побережья как основание сооружений**

Ответственный редактор:  
Кандидат геолого-минералогических наук  
*А.А. Попова*

Рецензент:  
Доктор геолого-минералогических наук  
*Ф.М. Ривкин*

Подписано в печать 03.02.2023 г.  
Формат 70×100/16. Гарнитура «Times New Roman»  
Печ. л. 17,5. Тираж 300 экз.

ООО «КриоЛаб»  
ИНН7713691392 ОГРН1097746516757  
127247, г. Москва, ул. Восемисотлетия Москвы, д. 22, корп. 2

ООО «МАФ»  
ОГРН: 1127746501673 ИНН: 7715925543 КПП: 771501001  
Адрес издательства:  
Россия, 127299, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 5 стр. 1, оф. 300  
Юридический адрес:  
Россия, 127566, г. Москва, ул. Северный Бульвар, д. 7

ISBN 978-5-6049540-0-3



9 785604 954003

ISBN 978-5-6049540-0-3

© Аксенов В.И., Геворкян С.Г., 2023  
© ООО «КриоЛаб»  
© ООО «МАФ»