

УДК 551.34  
ББК 26.361  
Х20

**Авторы:**

**Стюарт А. Харрис**

*Географический факультет Университета Калгари, Альберта, Канада*

**Анатолий Брушков**

*Кафедра геокриологии геологического факультета Московского  
государственного университета им. М. В. Ломоносова, Россия*

**Чэн Годун**

*Научно-исследовательский институт проблем строительства и окружающей среды  
холодных и сухих районов, Китайская Академия Наук, Ланьчжоу, Китай*

**Рецензенты:**

*Мельников В. П. — академик РАН, профессор, доктор геолого-минералогических наук,  
директор Института Кriosферы Земли СО РАН,*

*Трофимов В. Т. — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой  
инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова*

**Харрис, С. А.**

Х20 Геокриология. Характеристики и использование вечной мерзлоты. В 2  
т. Т. I / С. А. Харрис, А. В. Брушков, Чэн Годун ; под ред. А. В. Брушкова ;  
пер. В. А. Сантаевой и А. В. Брушкова. — Москва ; Берлин : Директ-  
Медиа, 2020. — 437 с.

ISBN 978-5-4499-1199-5

Настоящая работа предназначена для того, чтобы быть обзором молодой науки геокриологии, которая представляет собой исследование вечной мерзлоты, её характера, особенностей, процессов и распространения на Земле. Вечная мерзлота — результат особых климатических и геологических условий, в которых возникают мёрзлые горные породы и подземный лёд. Она оказывает огромное влияние на деятельность человека в холодных районах и окружающую среду в Арктике. Здесь встречается уникальная группа ландшафтных явлений и мерзлотных процессов, описанных в книге, которых нет в других местах. Человечество извлекает все больше ресурсов из этих регионов, и требуется знание геокриологии, чтобы проводить здесь инженерные изыскания, проектирование, строительство и успешно реализовать экономические проекты. Эта книга написана тремя специалистами, представляющими три страны с обширными областями вечной мерзлоты. Вместе авторы имеют более 120-летний опыт исследований и участия в проектах на вечной мерзлоте во всем мире, и в этой работе они попытались обобщить свои знания. Книга предназначена для студентов геологических, географических, инженерных специальностей, ученых и инженеров, работающих в области распространения вечной мерзлоты.

УДК 551.34  
ББК 26.361

ISBN 978-5-4499-1199-5

© Харрис С. А., Брушков А. В., Чэн Годун, текст, 2020  
© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2020

## Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	9
ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ ОТ РЕДАКТОРА .....	11
ОБ АВТОРАХ .....	13
БЛАГОДАРНОСТИ.....	15
ПОСВЯЩЕНИЕ .....	16
ЧАСТЬ I. ВВЕДЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	17
ГЛАВА 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОПИСАНИЕ .....	20
1.1. ВВЕДЕНИЕ .....	20
1.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ, ВОЗНИКШИЕ В РОССИИ.....	24
1.3. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	25
1.4. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРНЫХ ПОРОД .....	26
1.5. КОНДУКЦИЯ, КОНВЕКЦИЯ И АДВЕКЦИЯ.....	26
1.6. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ .....	27
1.7. ИНДЕКС КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ.....	32
1.8. ДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В АКТИВНОМ СЛОЕ ВО ВРЕМЯ ПРОМЕРЗАНИЯ И ОТТАИВАНИЯ.....	33
1.9. УСЛОВИЯ УВЛАЖНЕНИЯ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ.....	34
1.10. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ВЛАГИ.....	36
1.11. ПРОЧНОСТЬ ЛЬДА.....	38
1.12. КРИОСОЛИ, ГЕЛИСОЛИ И ЛЕПТОСОЛИ .....	39
1.13. ФРАГИПАНЫ .....	39
1.14. ЗАСОЛЕННОСТЬ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	41
1.15. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО .....	45
1.16. МИКРООРГАНИЗМЫ В ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ .....	47
1.16.1. Антарктическая вечная мерзлота.....	47
1.16.2. Вечная мерзлота высоких широт .....	48
1.16.3. Вечная мерзлота в горных областях Китая .....	50
1.16.4. Фенотипические черты .....	51
1.16.5. Связь с изменением климата на Тибетском плато .....	52
1.17. ГАЗ И ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ.....	53
1.18. ТЕРМОКАРСТ.....	55
1.19. ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА ПРИБРЕЖНЫХ ОБЛАСТЕЙ .....	56
ГЛАВА 2. КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ НИЖЕ 0 °С.....	59
2.1. ВВЕДЕНИЕ .....	59
2.2. ПРИРОДА ЛЬДА И ВОДЫ.....	59
2.3. ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРОМЕРЗАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД.....	65
2.4. ПРОМЕРЗАНИЕ И ОТТАИВАНИЕ АКТИВНОГО СЛОЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В РАВНОВЕСИИ С КЛИМАТОМ .....	66
2.5. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ МИНЕРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ И ПОЛОЖЕНИЕМ КРОВЛИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	68

2.6. ОГИБАЮЩИЕ ТЕМПЕРАТУР ГОРНЫХ ПОРОД .....	69
2.7. ИГОЛЬЧАТЫЙ ЛЕД .....	72
2.8. МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ .....	74
2.9. УПЛОТНЕНИЕ И ОСАДКА ПРИ ОТТАИВАНИИ .....	75
2.10. КРИОСТРАТИГРАФИЯ, КРИОСТРУКТУРЫ, КРИОТЕКСТУРЫ И КРИОФАЦИИ .....	76
2.11. МОРОЗОБОЙНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ .....	77
2.12. ДИЛАТАЦИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ .....	79
2.13. ПУЧИНИСТОСТЬ ГРУНТОВ .....	79
2.14. КРИОТУРБАЦИИ, ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИНЪЕКЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ .....	80
2.14.1. Криотурбации .....	80
2.14.2. Восходящие инъекции .....	84
2.14.3. Внедрения .....	84
2.15. ВЫПУЧИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ .....	86
2.16. ПОВОРАЧИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ .....	87
2.17. СОРТИРОВКА .....	88
2.18. ВЫВЕТРИВАНИЕ И МОРОЗНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ .....	89
2.19. КАРСТ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	94
2.20. ПЛОТНОСТЬ И СОЛЕНОСТЬ МОРСКОЙ ВОДЫ .....	96
ГЛАВА 3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД .....	100
3.1. ВВЕДЕНИЕ .....	100
3.2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ .....	100
3.2.1. Баланс тепла на поверхности Земли и его влияние на климат .....	100
3.2.2. Взаимосвязь между температурами воздуха и температурами горных пород .....	107
3.2.3. Температурная сдвигка .....	108
3.2.4. Связь с воздушными массами .....	112
3.2.5. Атмосферные осадки .....	114
3.2.6. Широта и долгота .....	118
3.2.7. Топография и высота .....	120
3.2.8. Сток холодного воздуха .....	122
3.2.9. Буферизация температуры в горных долинах .....	122
3.3. ЛАНДШАФТНЫЕ ФАКТОРЫ .....	123
3.3.1. Растительность .....	123
3.3.2. Гидрологические и гидрогеологические условия .....	126
3.3.3. Водоемы .....	128
3.3.4. Влияние дисперсных и скальных пород .....	131
3.3.5. Пожары .....	131
3.3.6. Ледники .....	133
3.3.7. Воздействие человека .....	136
ГЛАВА 4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ТОЛЩ .....	137
4.1. ВВЕДЕНИЕ .....	137
4.2. ЗОНАЛЬНОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД .....	139
4.3. КАРТИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД .....	142
4.4. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ .....	143
4.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ТОЛЩ .....	145
4.6. ПРОГРЕСС В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ .....	146
4.7. ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ, ВЛИЯЮЩЕЙ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ КАРТ .....	146
4.8. КАРТЫ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА ДАННЫХ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	150

4.8.1. Мощность многолетнемерзлых толщ .....	150
4.8.2. Карты льдистости .....	150
4.8.3. Водные ресурсы вечной мерзлоты .....	151
4.8.4. Общее содержание углерода .....	154
4.9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И АЭРОСЪЕМКИ .....	155
4.10. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА: ЗОНА ОПАСНОСТИ .....	155
4.11. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОЙ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ .....	158
ЧАСТЬ II . КРИОГЕННЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА .....	160
ВВЕДЕНИЕ .....	160
ГЛАВА 5. МОРОЗОБОЙНЫЕ ТРЕЩИНЫ, ЛЕДЯНЫЕ ЖИЛЫ, ПЕСЧАНЫЕ, ЛЕССОВЫЕ И СКАЛЬНЫЕ ТЕССЕЛЛОНЫ .....	163
5.1. ВВЕДЕНИЕ .....	163
5.2. ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ ЖИЛЫ (ТЕССЕЛЛОНЫ) .....	167
5.2.1. Первичные жилы .....	167
5.2.1.1. Ледяные жилы .....	167
5.2.1.2. Песчаные тесселлоны .....	179
5.2.1.3. Лёссовые тесселлоны .....	181
5.2.1.4. Каменные тесселлоны .....	182
5.2.2. Вторичные жилы .....	182
5.2.2.1. Касты (псевдоморфозы) по ледяным жилам .....	183
5.2.2.2. Грунтовые жилы .....	183
ГЛАВА 6. ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИЕ ЛЬДЫ НА НИЗМЕННОСТЯХ .....	187
6.1. ВВЕДЕНИЕ .....	187
6.2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИХ ЛЬДОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ .....	189
6.3. ИСТОЧНИКИ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА .....	189
6.4. ДЕГЛЯЦИАЦИЯ ЛАВРЕНТИЙСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ЩИТА .....	191
6.5. МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИХ ЛЬДОВ .....	192
6.6. ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИЕ ЛЬДЫ, ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНО ОБРАЗОВАННЫЕ ЗА СЧЕТ МИГРАЦИИ ВОДЫ К ФРОНТУ ПРОМЕРЗАНИЯ .....	193
6.7. ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИЕ ЛЬДЫ, ПРЕДПОЛОЖИТЕЛЬНО ЯВЛЯЮЩИЕСЯ ПОГРЕБЕННЫМИ ЛЕДНИКОВЫМИ ЛЬДАМИ .....	194
6.8. ДРУГИЕ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИХ ЛЬДОВ .....	196
6.9. ЛЕДОВЫЙ КОМПЛЕКС, ВКЛЮЧАЯ ОТЛОЖЕНИЯ ЕДОМЫ .....	196
6.10. УСЛОВИЯ РОСТА МОЩНЫХ ЛЕДЯНЫХ ЖИЛ .....	197
6.11. МЕХАНИЧЕСКОЕ УСЛОВИЕ РОСТА ЛЕДЯНЫХ ЖИЛ И ЕГО СВЯЗЬ СО СВОЙСТВАМИ ВМЕЩАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ .....	200
6.12. ПЛАВУЧЕСТЬ ЗАЛЕЖЕОБРАЗУЮЩИХ ЛЬДОВ .....	201
6.13. РЕЗЮМЕ. ИДЕИ, ОБЪЯСНЯЮЩИЕ ЭВОЛЮЦИЮ ЕДОМЫ .....	202
6.14. НАЛЕДИ .....	203
6.15. МНОГОЛЕТНИЕ ЛЕДЯНЫЕ ПЕЩЕРЫ .....	206
6.16. ТИПЫ ЛЬДА, НАЙДЕННОГО В МНОГОЛЕТНИХ ЛЕДЯНЫХ ПЕЩЕРАХ .....	208
6.17. ПРОЦЕССЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ .....	210
6.18. ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ .....	211
6.18.1. Многолетние ледяные пещеры с глубокими отверстиями .....	211
6.18.2. Наклонные пещеры с двумя входами .....	213
6.18.3. Многолетние ледяные пещеры с одним входом и системой трещин в коренных породах, через которые поступает воздух .....	213

6.18.4. Многолетние ледяные пещеры с единственным входом без дополнительных источников охлаждения .....	214
6.19. ЛЕДЯНЫЕ ПЕЩЕРЫ В СУБТРОПИЧЕСКОМ КЛИМАТЕ .....	215
6.20. МАССИВНЫЕ ГЛЫБЫ ЛЬДА В СКАЛЬНЫХ ИЛИ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОДАХ .....	217
ГЛАВА 7. МНОГОЛЕТНИЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ .....	219
7.1. ВВЕДЕНИЕ .....	219
7.2. БУГРЫ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 2,5 м .....	220
7.2.1. Бугры, сформированные преимущественно из инъекционного льда .....	222
7.2.1.1. Бугры пинго .....	222
7.2.1.2. Гидростатические пинго .....	223
7.2.1.3. Гидравлические пинго .....	224
7.2.1.4. Пинго с плоской поверхностью .....	228
7.2.1.5. Сезонные (осциллирующие) бугры пучения .....	231
7.2.1.6. Наледные бугры .....	232
7.2.1.7. Многолетние бугры неопределённого происхождения .....	233
7.2.1.8. «Псевдоинъекционные» бугры .....	233
7.2.2. Бугры, образовавшиеся преимущественно в результате сегрегационного льдовыделения .....	234
7.2.2.1. Пальсы .....	235
7.2.2.2. Пальсы в морском климате .....	236
7.2.2.3. Пальсы в холодном континентальном климате .....	239
7.2.2.4. Литальсы .....	243
7.2.2.5. Похожие на пальсы и литальсы формы рельефа .....	247
7.2.3. Бугры, образованные скоплением льда в торфяных плато .....	248
7.3. КРИОГЕННЫЕ БУГРЫ МЕНЕЕ 2,5 м В ДИАМЕТРЕ .....	253
7.3.1. Осциллирующие кочки .....	256
7.3.2. Туфуры .....	260
7.3.3. Циклические пылеватые кочки .....	263
7.3.4. Нивально-золотые кочки .....	264
7.3.5. Кочки неясного происхождения .....	266
7.3.6. Шнурковые болота .....	266
7.3.7. Пуны .....	267
ГЛАВА 8. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА .....	269
8.1. ВВЕДЕНИЕ .....	269
8.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ .....	269
8.3. МЕДЛЕННЫЕ ПОТОКИ .....	271
8.3.1. Криогенный крип .....	271
8.3.1.1. Крип за счёт игольчатого льда .....	272
8.3.1.2. Морозное пучение и морозный крип .....	274
8.3.1.3. Гелифлюкция .....	277
8.3.1.4. Вклад других, похожих на крип процессов в перемещение отложений вниз по склону .....	280
8.3.2. Формы рельефа, образующиеся криогенными медленными потоками в гумидных областях .....	282
8.3.3. Формы рельефа, формирующиеся криогенным крипом в аридных регионах .....	286
8.4. БЫСТРЫЕ КРИОГЕННЫЕ ПОТОКИ .....	288
8.4.1. Криогенные обломочные потоки (сели) .....	289
8.4.2. Криогенные оползни и оплывины .....	297
8.4.3. Сложные криогенные склоновые явления .....	299
8.4.3.1. Сплывы активного слоя .....	300
8.4.3.2. Ретрогрессивные оплывины при оттаивании .....	301
8.4.3.3. Снежные и слякотные лавины .....	306
8.4.3.4. Снежные лавины .....	306
8.4.3.5. Слякотные лавины .....	310

8.5. ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЛОМКОВ ВНИЗ ПО СКЛОНУ В ГОРНЫХ ОБЛАСТЯХ.....	313
ГЛАВА 9. ФОРМЫ РЕЛЬЕФА, СОСТОЯЩИЕ ИЗ КРУПНООБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА.....	314
9.1. ВВЕДЕНИЕ .....	314
9.2. ИСТОЧНИК МАТЕРИАЛА .....	314
9.3. ВЛИЯНИЕ ТИПА ГОРНОЙ ПОРОДЫ .....	316
9.4. ПРОДУКТЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ .....	317
9.5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ .....	318
9.6. СУДЬБА РАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО ВЫВЕТРИВАНИЯ.....	319
9.7. СКОРОСТЬ ОТСТУПАНИЯ СКАЛЬНЫХ ОБРЫВОВ .....	320
9.8. ФОРМЫ РЕЛЬЕФА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ АККУМУЛЯЦИИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ХОЛОДНОМ КЛИМАТЕ .....	320
9.8.1. Криогенные блоковые (каменные) поля.....	321
9.8.1.1. Измерение скорости движения обломков на склонах.....	323
9.8.2. Криогенные осыпные склоны и конуса выноса .....	324
9.8.3. Классификация криогенных осыпных склонов.....	327
9.8.3.1. Глыбовые осыпи .....	328
9.8.4. Защита инфраструктуры .....	330
9.9. СМЕШАННЫЕ ОСЫПИ .....	330
9.9.1. Каменные глетчеры .....	331
9.9.1.1. Состав отложений и строение активных каменных глетчеров .....	334
9.9.1.2. Происхождение льда в активных каменных глетчерах.....	335
9.9.1.3. Соотношение с растительностью.....	336
9.9.2. Движение активных каменных глетчеров .....	337
9.9.2.1. Горизонтальное перемещение .....	337
9.9.2.2. Движение фронта .....	338
9.9.3. Распространение активных каменных глетчеров .....	341
9.9.4. Неактивные и реликтовые каменные глетчеры .....	342
9.9.5. Потоки, протекающие под каменными глетчерами .....	343
9.10. КУРУМЫ.....	345
9.10.1. Характеристика курумов.....	346
9.10.2. Классификация курумов .....	349
9.10.2.1. Сибирские активные динамические курумы .....	350
9.10.2.2. Тибетские активные динамические курумы .....	352
9.10.2.3. Активные запаздывающие курумы .....	354
9.10.2.4. Неактивные и реликтовые курумы .....	355
9.11. ВНЕШНИЙ ВИД ПОВЕРХНОСТИ БЛОКОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА И ИХ ЗНАЧЕНИЕ .....	359
ГЛАВА 10. КРИОГЕННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ГРУНТЫ.....	361
10.1. ВВЕДЕНИЕ .....	361
10.2. ФОРМЫ КРИОГЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ГРУНТОВ .....	362
10.3. ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ КРИОГЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ГРУНТОВ .....	363
10.4. МАКРОФОРМЫ КРИОГЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ГРУНТОВ.....	367
10.4.1. Криогенные несортированные кольца .....	368
10.4.1.1. Криогенные грязевые фурункулы (пятна-медальоны).....	369
10.4.1.2. Арктические грязевые фурункулы (пятна-медальоны).....	369
10.4.1.3. Субарктические грязевые фурункулы (пятна-медальоны) .....	373
10.4.1.4. Ксерические несортированные кольца .....	375
10.4.1.5. Несортированные кольца в морских климатических условиях.....	377
10.4.1.6. Морозные фурункулы (пятна-медальоны) .....	379
10.4.1.7. Круги-пробки .....	379
10.5. КРИОГЕННЫЕ СОРТИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ГРУНТЫ .....	381
10.5.1. Криогенные сортированные кольца .....	381

---

10.5.2. Криогенные сортированные полигоны и сети.....	384
10.5.2.1. Сортированные полосы.....	384
10.5.2.2. Каменные ямы.....	385
10.6. ИДЕНТИФИКАЦИЯ АКТИВНЫХ И НЕАКТИВНЫХ МАКРОФОРМ СОРТИРОВАННЫХ ГРУНТОВ .....	386
10.7. МИКРОФОРМЫ КРИОГЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ ГРУНТОВ .....	387
ГЛАВА 11. ТЕРМОКАРСТ И ТЕРМОЭРОЗИЯ.....	389
11.1. ВВЕДЕНИЕ .....	389
11.2. ПРИЧИНЫ ТЕРМОКАРСТА.....	392
11.3. ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОСТЕЙ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ.....	395
11.4. ВЛИЯНИЕ ТЕРМОКАРСТА НА ОТЛОЖЕНИЯ .....	395
11.5. ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА.....	398
11.5.1. Термокарстовые ямы .....	398
11.5.2. Термокарстовые бугры.....	399
11.5.3. Шрамы пинго, пальс и литальс .....	401
11.5.4. Бисерные потоки (чётковидные русла).....	403
11.5.5. Термокарстовые озера.....	404
11.5.6. Ориентированные озера .....	407
11.5.7. Аласы.....	409
11.5.8. Цикл образования аласа.....	410
11.6. ТЕРМОКАРСТ И ТЕРМОЭРОЗИЯ ВДОЛЬ РЕК .....	416
11.6.1. Ледяные заторы .....	417
11.7. ТЕРМОАБРАЗИЯ И ТЕРМОКАРСТ ВДОЛЬ БЕРЕГОВ МОРЕЙ.....	421
11.7.1. Влияние сезонного морского льда .....	421
11.7.2. Влияние геологических условий .....	424
11.7.3. Влияние рельефа .....	425
11.7.4. Морские условия .....	426
11.7.5. Осадконакопление .....	426
11.8. ПРОЦЕССЫ, ВОВЛЕЧЕННЫЕ В ТЕРМОАБРАЗИЮ ЛЬДИСТЫХ АРКТИЧЕСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ .....	427
11.9. ЗНАЧЕНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЭРОЗИИ И АБРАЗИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	430
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....	431