(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири



Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве

(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири

Москва Стройиздат 1988

УДК 624.139.21.3

Рекомендованы к изданию геокриологической секцией Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири /ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1988. – 72 с.

Предложены методы регулирования качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания, приемы количественной оценки изменения параметров среды, способствующих прекращению развития термокарста, а также вызывающих и стимулирующих протаивание грунтов.

Для инженеров-геологов, геокриологов, мелиораторов и специалистов по охране природной среды.

Табл. 10, ил. 22.

3202000000 – 265
Р ———————— Инструкт.-нормат., I вып. – 115 – 88
047(01) – 88

© Стройиздат, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Западная Сибирь – один из наиболее интенсивно осваиваемых в настоящее время регионов СССР. Огромные масштабы освоения и сложные инженерно-геологические и геокриологические условия этого региона требуют особого подхода к решению проблем рационального использования и охраны природной среды.

При инженерном освоении территории существенные изменения природной обстановки неизбежны, и задача состоит в том, чтобы исключить или хотя бы уменьшить их отрицательные последствия. Весьма чувствительны к нарушению естественной обстановки геокриологические условия региона. Это приводит к возникновению и активизации ряда криогенных процессов, отрицательно влияющих на инженерные сооружения. Важнейшими из них являются процессы сезонного промерзания и протаивания грунтов, повсеместные в Западной Сибири. С их проявлением связано развитие большей части криогенных процессов, осложняющих освоение территории: криогенного пучения и неравномерной осадки грунтов, солифлюкции, сплывов. термоэрозии, термокарста и т.д. С изменений сезонного промерзания и протаивания начинаются общие изменения геокриологической обстановки. Для того чтобы избежать или уменьшить отрицательные последствия изменений геокриологических условий требуется прежде всего уметь предвидеть и не допускать нежелательные изменения сезонного промерзания и протаивания грунтов. Особенно опасны их изменения на участках сильнольдистых вечномерзлых толщ. Если не принять своевременных мер, сезонное протаивание грунтов может перейти в многолетнее и обусловить на таких участках развитие термокарста.

В настоящих Рекомендациях рассматриваются некоторые методы регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и методы предотвращения или уменьшения развития термокарста, если не удалось исключить его проявление.

Рекомендации разработаны ПНИИИС Госстроя СССР (д-р геогр. наук *Е.А. Втюрина*, кандидаты геол.-минерал. наук *В.П. Чернядьев*, *С.Ю. Памузин*, канд. геогр. наук *И.И. Шаманова*).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Сезонным промерзанием (протаиванием) грунтов называется промерзание (протаивание), длящееся более одних суток, но менее одного года с сезонной ритмичностью проявления.

1.2. Многолетним протаиванием грунтов называется протаивание, длящееся более одного года.

1.3. Термокарстом называется процесс вытаивания подземных льдов, сопровождающийся осадками протаявшего грунта и возникновением отрицательных форм рельефа. Этот процесс развивается вследствие многолетнего протаивания льдистых вечномерзлых грунтов или увеличения глубины сезонного протаивания (при отрицательных среднегодовых температурах грунта) в результате естественной динамики климата и эволюции ландшафтов, а также при техногенных воздействиях.

1.4. Регулированием называется целенаправленное изменение качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов и интенсивности проявления термокарста. Цель регулирования – предотвращение или уменьшение отрицательного и усиление положительного прямого и косвенного влияния данных процессов на здания и инженерные сооружения, охрана природной среды.

1.5. Регулирование сезонного промерзания и протаивания грунтов и проявления термокарста всегда проводится локально, на участках, где естественные особенности данных процессов или их изменения после нарушения природных условий приводят к отрицательным последствиям.

1.6. В естественных и нарушенных условиях качественные и количественные показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов переменны во времени и пространстве. За репрезентативный период их изучения условно можно принять период, равный 30 годам, включающий природное многообразие зимних и летних погодных условий [9].

1.7. Разработке мероприятий по регулированию сезонного промерзания, протаивания грунтов и термокарста предшествуют·

исследование этих процессов в естественных условиях и районирование осваиваемой территории с учетом особенностей их проявления;

изучение льдистости верхней части вечномерзлых грунтов мощностью 10–15 м и температуры в зоне с нулевыми годовыми колебаниями, районирование территории с учетом этих показателей;

районирование территории по характеру предстоящих нарушений природной обстановки;

прогноз возможных изменений качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания и проявления термокарста при запланированных нарушениях природной обстановки и составление прогнозной карты;

выявление "опасных" участков, на которых изменения сезонного промерзания и протаивания грунтов приведут к нежелательной активизации литокриогенных процессов, включая термокарст, и для которых требуется разработать методы регулирования этих процессов;

определение критической величины теплового воздействия на грунты "опасных" участков, обусловливающей переход сезонного протаивания в многолетнее и развитие термокарста.

1.8. Сведения о природных качественных и количественных показателях сезонного промерзания и протаивания грунтов можно получить путем полевых исследований этих процессов [5], анализа данных агрометеостанций (АГМС) и гидрометеостанций (ГМС), по литературным источникам; о термокарсте — путем полевых исследований и по литературным данным.

1.9. При разработке методов регулирования процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов, проявления термокарста необходимо иметь в виду, что инженерно-геокриологические условия, формирующиеся к окончанию строительства, не соответствуют исходным, зафиксированным в момент производства инженерно-геологических изысканий. Поэтому теоретической основой регулирования процессов сезонного промерзания, протаивания и термокарста является прогноз изменения геокриологических условий при хозяйственном освоении территории [6, 8, 10, 17, 25, 26].

Вопрос о методах регулирования данных процессов индивидуально должен решаться для каждого "опасного" участка.

1.10. Сезонное промерзание и протаивание грунтов на любой территории проявляются сопряженно, сменяясь во времени в течение года. Направленно изменяя один из них, необходимо учитывать возможные изменения другого и их последствия, которые могут оказаться нежелательными.

Нередко опасно для зданий и сооружений изменение не самих процессов сезонного промерзания и протаивания, а какого-либо связанного с их особенностями литокриогенного процесса (пучения, солифлюкции, сплывов, осадки и т.д.). В этом случае также требуется регулирование прежде всего сезонного промерзания и протаивания грунтов.

1.11. В процессе и после окончания строительства необходимо проводить дополнительное обследование участков с наиболее сложными инженерно-геокриологическими условиями, где требовалось регулирование сезонного промерзания, протаивания грунтов и термокарста. Это позволяет уточнить представления об инженерно-геокриологической обстановке, сформировавшейся после техногенных нарушений, оценить эффективность мероприятий по регулированию названных процессов и внести соответствующие изменения при недостаточной эффективности таких мероприятий.

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

2.1. Сезонное промерзание и протаивание грунтов — сложные литокриогенные процессы, каждому из которых свойствен комплекс качественных и количественных показателей (рис. 1). Качественными называются показатели, выражающие основную специфику процессов, не поддающиеся прямому количественному измерению.

Качественные показатели этих процессов зональны. Особенности их изменений в Западной Сибири показаны на картах-схемах (рис. 2, 3). Приступая к раз-

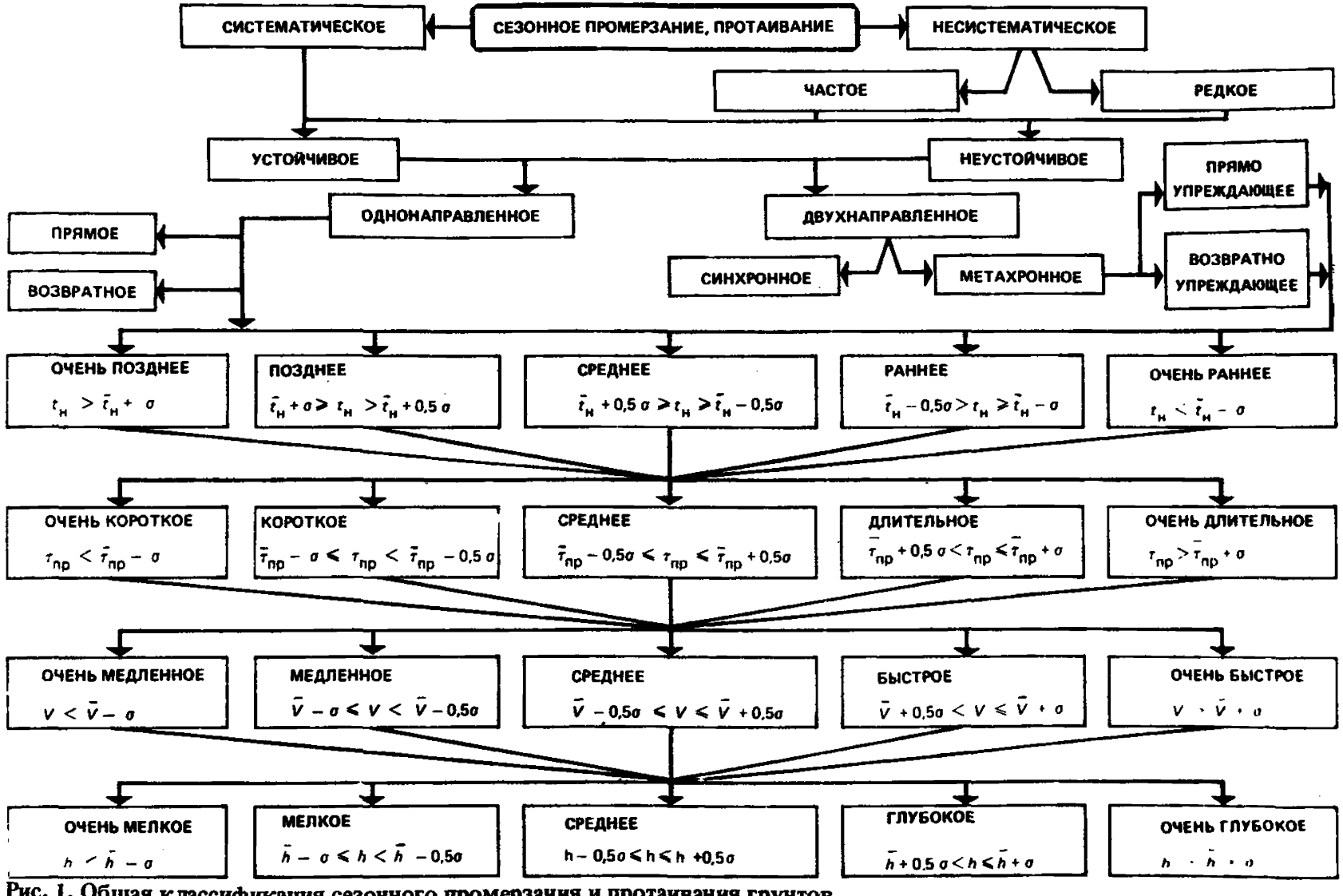


Рис. 1. Общая классификация сезонного промерзания и протаивания грунтов

$t_н$, $\tau_{пр}$, v, h – частные, а $\bar{t}_н$, $\bar{\tau}_{пр}$, $\bar{v}$, $\bar{h}$ – средние многолетние значения начала, продолжительности периода фактического проявления, скорости и глубины сезонного промерзания и протаивания; σ – среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего

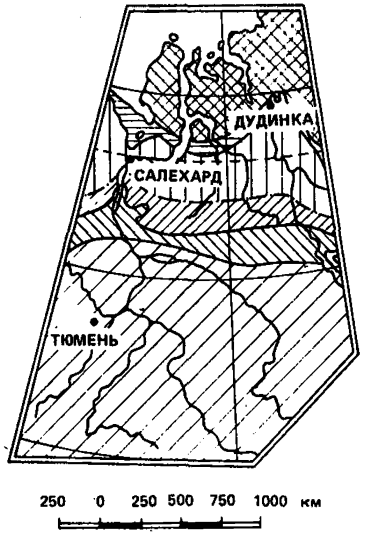


Рис. 2. Карта-схема качественных градаций сезонного промерзания грунта в Западной Сибири

Северная зона систематического двунаправленного сезонного промерзания: *1 – возвратноупреждающего; 2 – синхронного; 3 – прямоупреждающего*

Переходная зона несистематического одно- и двунаправленного сезонного промерзания: *4 – частого двунаправленного прямоупреждающего; 5 – частого однонаправленного прямого, реже двунаправленного прямоупреждающего*

Южная зона систематического однонаправленного прямого сезонного промерзания (*6*)

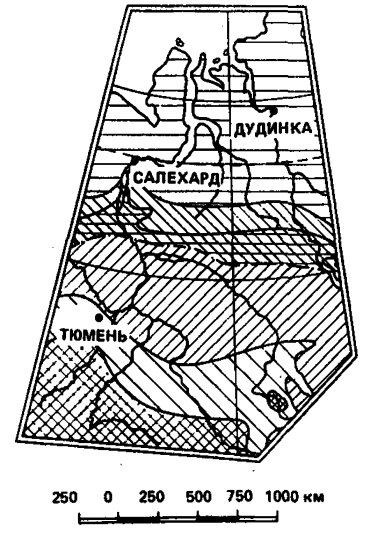


Рис. 3. Карта-схема качественных градаций сезонного протаивания грунтов в Западной Сибири

Северная зона: *1 – систематическое однонаправленное прямое сезонное протаивание*

Переходная зона несистематического однонаправленного прямого и двунаправленного прямоупреждающего: *2 – преимущественно прямого, реже двунаправленного прямоупреждающего; 3 – преимущественно двунаправленного прямоупреждающего, реже прямого*

Южная зона систематического двунаправленного сезонного протаивания: *4 – прямоупреждающего; 5 – синхронного; 6 – возвратноупреждающего с участками однонаправленного возвратного*

работке мероприятий по регулированию каких-либо показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов необходимо знать их особенности на исследуемой территории.

2.2. По характеру проявления в многолетнем периоде сезонное промерзание (протаивание) разделяется на:

систематическое, проявляющееся ежегодно в течение многолетнего репрезентативного (см. п. 1.6) или требуемого при освоении территории периода;

несистематическое, проявляющееся неежегодно. Оно делится на: частое, если средняя длительность перерывов в проявлении процесса за репрезентативный или требуемый период соизмерима или меньше средней длительности периодов

с его ежегодным проявлением, и редкое, если средняя длительность перерывов в проявлении процесса больше средней длительности периодов с ежегодным его проявлением за тот же период.

2.3. По устойчивости в течение холодного (теплого) периода года эти процессы бывают: устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) периода не сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунтов. Неустойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) периода года сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунтов.

2.4. По направленности относительно дневной поверхности выделяются две модификации сезонного промерзания и протаивания: прямое, направленное от дневной поверхности (или дна водоема, водотока) вглубь грунтов, и возвратное, направленное от поверхности грунтов, подстилающих сезонно-талые и сезонно-мерзлые, к дневной поверхности или дну водоема, водотока. В природе проявляется: однонаправленное сезонное промерзание (протаивание) — прямое или возвратное, и двунаправленное при совокупном проявлении прямого и возвратного промерзания (протаивания).

2.5. Двунаправленное сезонное промерзание (протаивание) бывает: синхронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются одновременно, и метахронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются неодновременно. Метахронное сезонное промерзание (протаивание) разделяется на:

прямоупреждающее, если прямое промерзание (протаивание) начинается раньше возвратного, и возвратноупреждающее, если раньше начинается возвратное сезонное промерзание (протаивание).

2.6. Регулируя качественные показатели этих процессов можно:

сделать их проявление несистематическим вместо систематического и наоборот;

изменить период проявления устойчивого и неустойчивого сезонного промерзания и протаивания;

исключить или обусловить возвратное промерзание или протаивание;

изменить соотношение дат начала прямого и возвратного промерзания или протаивания. На рис. 4 дана схема изменений качественных градаций сезонного промерзания грунтов и их реальная возможность.

2.7. Изменение качественных показателей этих процессов позволяет:

наиболее существенно воздействовать на их количественные показатели, на льдистость и криогенные особенности среды их проявления;

стимулировать или исключать проявление ряда других литокриогенных процессов (солифлюкция, сплывы, термокарст, пучение и др.), изменять их динамику;

воздействовать на ход почвообразовательных процессов, замедлять или ускорять загрязнение грунтовых вод, заболачивание территории, способствовать сохранению природной среды и т.д.

В табл. 1 показано изменение льдистости тонкодисперсных сезонно-мерзлых грунтов и свойственного им комплекса литокриогенных процессов при изменении качественных градаций сезонного промерзания в области близко залегающих вечномерзлых грунтов.

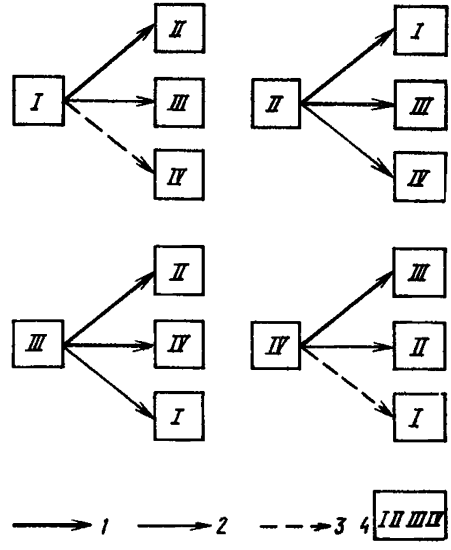


Рис. 4. Схема возможных изменений качественных градаций сезонного промерзания в области вечномерзлых грунтов
1 – частые изменения; 2 – редкие; 3 – очень редкие; 4 – номера качественных градаций сезонного промерзания (см. табл. 1)

2.8. Регулирование качественных показателей сезонного промерзания и протаивания сводится к направленному изменению естественного прогрева и охлаждения грунтов. Методы их регулирования до сих пор не предложены, поскольку названный комплекс качественных показателей (см. пп. 2.2–2.5) выделен недавно [2–4].

2.9. В зависимости от значений температуры грунтов t_o в зоне с нулевыми годовыми ее колебаниями проявляются следующие градации сезонного промерзания и протаивания грунтов [4], °С:

$t_o > 15$ – сезонное промерзание и протаивание грунтов несистематические за многолетний период и неустойчивые за год, промерзание однонаправленное прямое, протаивание двунаправленное возвратноупреждающее или однонаправленное возвратное;

$t_o \leqslant 15$ – сочетание систематического и несистематического, вследствие ежегодных колебаний глубины проявления, устойчивого и неустойчивого из-за различий погодных условий сезонного промерзания и протаивания грунтов;

$15 \geqslant t_o > 5$ – сезонное промерзание однонаправленное, прямое, сезонное протаивание двунаправленное возвратноупреждающее;

$5 \geqslant t_o > 4$ – промерзание прямое, протаивание двунаправленное синхронное;

$4 \geqslant t_o > 0{,}5$ – промерзание прямое, протаивание двунаправленное прямоупреждающее;

$+0{,}5 \geqslant t_o \geqslant -0{,}5$ – промерзание и протаивание однонаправленные прямые;

$-0{,}5 > t_o \geqslant -4$ – промерзание двунаправленное прямоупреждающее, протаивание однонаправленное прямое;

$-4 > t_o \geqslant -5$ – промерзание двунаправленное синхронное, протаивание прямое;

$t_o < -5$ – промерзание двунаправленное возвратноупреждающее, протаивание прямое.

Таблица 1

Качественные градации сезонного промерзания и протаивания		Льдистость сезонно-мерзлых грунтов (СМГ) и литокриогенные процессы при данной измененной качественной градации сезонного промерзания
исходная; льдистость СМГ и литокриогенные процессы при данной градации сезонного промерзания	измененная	
1. Двунаправленное, возвратноупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание СМГ сильнольдистые во всех горизонтах, особенно в нижнем; интенсивная солифлюкция, местами сплывы, термоэрозия; очень интенсивное морозное пучение весь период промерзания и морозное выпучивание; отсутствие сезонных бугров пучения; очень интенсивное глубокое морозобойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; термокарст в основном по берегам водоемов, водотоков и на нарушенных участках	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: возрастание скорости и глубины сезонного протаивания, усиление солифлюкции, сплывов, термоэрозии, термокарста *В последующие годы*: уменьшение льдистости СМГ, особенно в среднем и нижнем горизонтах; уменьшение интенсивности и изменение динамики солифлюкции и общего морозного пучения; уменьшение сплывов, морозного выпучивания; некоторое усиление термоэрозии; возрастание глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Двунаправленное прямоупреждающее, протаивание то же	*В первое лето*: резкое возрастание скорости и глубины протаивания, солифлюкции, сплывов, термоэрозии, термокарста *В последующие годы*: резкое уменьшение льдистости СМГ, особенно в среднем и нижнем горизонте, солифлюкции, прекращение сплывов; некоторое замедление термоэрозии и уменьшение интенсивности глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов; уменьшение интенсивности и динамики общего морозного пучения, выпучивания; резвое возрастание интенсивности термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	*В первое лето*: очень резкое возрастание скорости и глубины сезонного протаивания, интенсивности сплывов, термоэрозии, термокарста *В последующие годы*: очень резкое уменьшение льдистости, особенно в большей нижней части; слабое проявление солифлюкции (в начале периода протаивания); постепенное прекращение сплывов; уменьшение термоэрозии, морозного выпучивания; изменение динамики (проявляется в начале периода промерзания) и уменьшение интенсивности общего морозного пучения; формирование сезонных бугров пучения; прекращение глубокого морозобойного растрескивания и формирования повторно-жильных льдов; очень резкое возрастание термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
II. Двунаправленное синхронное промерзание и однонаправленное прямое протаивание СМГ льдистые в среднем горизонте, сильнольдистые в верхнем и нижнем горизонтах; скорость и глубина протаивания больше, чем при градации I; солифлюкция менее интенсивная, сплывы редки, более интенсивная термоэрозия, глубокое морозо-	Двунаправленное возвратноупреждающее промерзание, прямое протаивание	*В первое лето*: уменьшение скорости и глубины сезонного протаивания, интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии и термокарста *В последующие годы*: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижней и средней части, возрастание интенсивности и изменение динамики солифлюкции, сплывов, термоэрозии; уменьшение интенсивности термокарста; уменьшение скорости и глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Двунаправленное прямоупреждающее промерзание, прямое протаивание	*В первое лето*: увеличение скорости и глубины сезонного протаивания, возрастание интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии, особенно в конце периода протаивания. усиление термокарста

Продолжение табл. 1

Качественные градации сезонного промерзания и протаивания		Льдистость сезонно-мерзлых грунтов (СМГ) и литокриогенные процессы при данной измененной качественной градации сезонного промерзания
исходная; льдистость СМГ и литокриогенные процессы при данной градации сезонного промерзания	измененная	
бойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; общее морозное пучение очень интенсивное в первую половину периода промерзания и затухает во второй его половине; интенсивное морозное выпучивание, сезонные бугры пучения не образуются		*В последующие годы*: уменьшение льдистости СМГ в нижней и средней части, уменьшение интенсивности солифлюкции, термоэрозии, особенно сплывов, глубокого морозобойного растрескивания, общего морозного пучения, выпучивания; усиление термокарста, увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	*В первое лето*: те же изменения криогенных процессов, что и в предшествующем случае, но большее увеличение периода их проявления *В последующие годы*: резкое уменьшение льдистости нижней и средней части СМГ; изменение динамики и уменьшение интенсивности солифлюкции, общего морозного пучения, уменьшение морозного выпучивания, термоэрозии; прекращение глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов, сплывов; развитие сезонных бугров пучения: усиление термокарста, увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
III. Двунаправленное прямоупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание	Двунаправленное возвратноупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: очень резкое сокращение скорости и глубины сезонного протаивания, замедление солифлюкции, термоэрозии, термокарста
СМГ сильнольдистые в верхнем и небольшом нижнем горизонте и льдистые в преобладающем по мощности среднем горизонте; солифлюкция проявляется слабо; сплывы не развиты; интенсивная термоэрозия на обнаженных склонах, термокарст; неинтенсивное глубокое морозобойное растрескивание и слабый рост повторно-жильных льдов; морозное пучение интенсивное в первую половину периода промерзания; морозное выпучивание		*В последующие годы*: очень резкое увеличение льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, возрастание интенсивности и изменение динамики солифлюкции, общего морозного пучения; усиление сплывов, морозного выпучивания, глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов, замедление термокарста и термоэрозии; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: небольшое сокращение глубины сезонного протаивания, уменьшение интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии, термокарста *В последующие годы*: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, интенсивности солифлюкции; проявление сплывов, усиление термоэрозии, глубокого морозобойного растрескивания и роста повторно-жильных льдов; изменение динамики и увеличение интенсивности общего сезонного морозного пучения, выпучивания; уменьшение термокарста; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям
	Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание	*В первое лето*: увеличение глубины сезонного протаивания, термокарста и термоэрозии *В последующие годы*: уменьшение льдистости СМГ, особенно в большей нижней части, практическое прекращение солифлюкции, ослабление термоэрозии; прекращение солифлюкции, уменьшение интенсивности и изменение динамики общего морозного пучения (проявляется в начале периода промерзания), уменьшение морозного выпучивания; образование сезонных бугров пучения; прекращение глубокого морозобойного растрескивания; возрастание интенсивности термокарста; увеличение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям

Продолжение табл. 1

Качественные градации сезонного промерзания и протаивания		Льдистость сезонно-мерзлых грунтов (СМГ) и литокриогенные процессы при данной измененной качественной градации сезонного промерзания
исходная; льдистость СМГ и литокриогенные процессы при данной градации сезонного промерзания	измененная	
1У. Однонаправленное прямое промерзание и такое же протаивание СМГ льдистые в меньшей верхней части и слабольдистые в большей нижней части; солифлюкция проявляется слабо, в начале периода протаивания; сплывы не развиты; термоэрозия и термокарст слабо развиты; глубокое морозобойное растрескивание не проявляется; общее морозное пучение неинтенсивное, проявляется в начале периода промерзания, морозное выпучивание неинтенсивное	Двунаправленное возвратноупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: очень резкое уменьшение глубины сезонного протаивания, прекращение термокарста *В последующие годы*: очень резкое возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем и среднем горизонтах, интенсивности солифлюкции, сплывов, общего морозного пучения и выпучивания; прекращение термокарста; уменьшение термоэрозии; интенсивное глубокое морозобойное растрескивание и рост повторно-жильных льдов; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; сильное возрастание заболоченности, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению, поверхностного стока вод
	Двунаправленное синхронное промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: резкое уменьшение глубины сезонного протаивания, прекращение термокарста *В последующие годы*: возрастание льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте, интенсивности солифлюкции, сплывов, термоэрозии, общего морозного пучения и выпучивания, изменение динамики пучения: очень интенсивное в первую половину периода промерзания и прекращается во вторую; уменьшением термокарста; проявление глубокого морозобойного растрескивания и рост повторно-жильных льдов; сокращение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; повышение заболоченности, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению вредными примесями, поверхностного стока вод
	Двунаправленное прямоупреждающее промерзание, однонаправленное прямое протаивание	*В первое лето*: некоторое уменьшение глубины сезонного протаивания, замедление термокарста *В последующие годы*: небольшое увеличение льдистости СМГ, особенно в нижнем горизонте; изменение динамики и повышение интенсивности общего морозного пучения и выпучивания; образование сезонных бугров пучения; местами развитие глубокого морозобойного растрескивания и рост повторно-жильных льдов; некоторое увеличение термоэрозии; уменьшение глубины сезонного протаивания до значений, соответствующих новым условиям; возрастание заболоченности пониженных участков, чувствительности почвенно-грунтовых вод к загрязнению

Косвенным показателем качественной градации сезонного промерзания в области вечномерзлых грунтов является криогенная текстура тонкодисперсных, неторфованных в нижней половине сезонно-мерзлых грунтов. При однонаправленном прямом промерзании криогенная текстура в нижней части сезонно-мерзлых пород массивная. При двунаправленном прямоупреждающем и синхронном промерзании она шлировая: слоистая или сетчато-слоистая. Различить эти две градации позволяет мощность нижнего шлирового горизонта сезонномерзлых грунтов: менее 10 см при прямоупреждающем промерзании и более 10 см при синхронном. При возвратноупреждающем промерзании грунтов в их нижнем горизонте формируется шлировая сетчатая, реже слоистая криогенная текстура и атакситовая ниже горизонта со шлировой криогенной текстурой.

2.10. Регулирование качественных показателей этих процессов сводится к требуемому изменению температуры грунтов (см. п. 2.9).

Для обеспечения устойчивого проявления качественной градации сезонного промерзания или протаивания, наиболее благоприятной для данного вида освоения территории, нужно учитывать не среднее многолетнее, а экстремальные значения температуры грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями за репрезентативный или требуемый многолетний период. Данная градация процесса устойчива, если экстремальные за этот период значения температуры грунтов не выходят за пределы, критические для ее проявления.

2.11. Имеются следующие методы регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов:

изменение характера снегонакопления и термосопротивления снега;

изменение растительного покрова: вырубка леса, кустарников, создание парков, лесозащитных полос, изменение и уничтожение напочвенного покрова, зачернение поверхности и др.;

применение искусственных теплоизоляционных покрытий;

осушение или увлажнение грунтов верхнего горизонта литосферы с проявлением сезонных циклов промерзания – протаивания;

изменение состава грунтов;

повышение или понижение относительной отметки поверхности опасного участка.

2.12. Влияние естественных покровов и искусственных покрытий на качественные показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов оценивается по их термосопротивлению, которое нужно изменить так, чтобы температура грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями за требуемый многолетний период не выходила за пределы значений, критических для той или иной качественной градации данных процессов.

2.13. Указанные в п. 2.11 методы применимы как раздельно, так и в комплексе. Взаимосвязь разных составляющих природной среды нередко предопределяет комплексное их воздействие на особенности сезонного промерзания и протаивания даже в случае применения одного из них. Так, изменение мощности снега может привести к изменению напочвенного покрова, влажности грунтов и т.д. Вырубка леса на локальном участке – к возрастанию мощности и изменению режима накопления снега, увеличению влажности грунтов и т.д. Применяя любой из методов, следует учитывать также вызванное его применением измене-

ние комплекса природных факторов, влияющих на температуру грунтов и на сезонное промерзание и протаивание.

2.14. Прежде чем использовать тот или иной метод или комплекс методов, надо оценить реальность изменения требуемых качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов при их применении.

В крайних северных районах, где температура грунтов с учетом ее колебаний за многолетний период не бывает выше минус 4 – минус 5°С, никакие локальные изменения термосопротивления снежного и напочвенного покровов, изменения состава и влажности грунтов, рельефа поверхности, применение искусственных покрытий не могут изменить однонаправленное прямое сезонное протаивание грунтов на двунаправленное. Образование многолетних снежников, наледей и применение искусственных покрытий может привести к переходу систематического сезонного протаивания грунтов в несистематическое или полностью прекратить его проявление на определенный период. Но в этих районах можно изменить качественную градацию сезонного промерзания грунтов.

В крайних южных районах с температурой грунтов выше 4–5°С столь же невозможно изменить однонаправленное прямое сезонное промерзание на двунаправленное, хотя можно изменить качественную градацию сезонного протаивания.

2.15. Для выбора эффективных методов регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов на том или ином опасном участке наряду с общей природной обстановкой осваиваемой территории требуется знать:

естественные качественные градации промерзания и протаивания при ненарушенных природных условиях и их устойчивость за требуемый многолетний период, определить которые можно путем многолетних натурных наблюдений за ходом этих процессов или по экстремальным за требуемый многолетний период значениям средней годовой температуры грунта, фактическим или расчетным (см. п. 2.9);

качественные градации этих процессов после нарушения и стабилизации условий на данном участке, судить о которых можно по прогнозным экстремальным значениям средней годовой температуры грунтов;

качественные градации этих процессов, требуемые при данном виде освоения в целях повышения устойчивости сооружений;

термическое сопротивление разных естественных покровов и искусственных покрытий и их влияние на температуру грунтов разного гранулометрического состава и влажности.

2.16. Термическое сопротивление снежного покрова $R_{сн}$ рассчитывается по формуле: $R_{сн} = H_{сн}/\lambda_{сн}$, где $H_{сн}$ – мощность, а $\lambda_{сн}$ – теплопроводность снежного покрова. Зависимость $R_{сн}$ от $H_{сн}$ для Западной Сибири дана на рис. 5. Обобщенные значения коэффициентов теплопроводности и термосопротивление наиболее характерных напочвенных покровов приведены в табл. 2. Более детально их значения даны в литературе [21].

2.17. В настоящее время разработаны методы прогноза изменений среднегодовой температуры грунта на подошве слоя сезонного промерзания или протаивания [25, 21, 17].

При отсутствии сведений о температуре грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями t_0 можно пользоваться этими данными. Средняя годовая темпера-

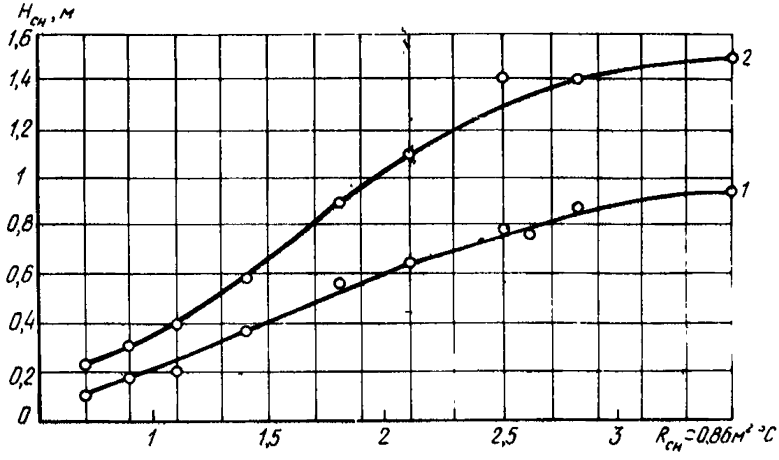


Рис. 5. Зависимость термического сопротивления снежного покрова от мощности снежной толщи
1 – при среднем значении мощности; 2 – при максимальном значении мощности

тура на подошве сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов в любой год в основном мало отличается от t_0. Об этом свидетельствуют данные АГМС и ГМС. Поэтому для ориентировочной оценки качественных градаций сезонного промерзания и протаивания можно считать, что каждая из них проявляется при тех же значениях средней годовой температуры на подошве сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов, что и в зоне нулевых годовых ее колебаний (см. п. 2.9). Применимы для этого сведения АГМС и ГМС о средней годовой температуре грунтов на 3,2 м и даже 1,6 м. Зная влияние различных природных факторов и искусственных покрытий на температуру грунтов, можно определить, как изменить природную обстановку, чтобы обеспечить определенную среднюю годовую температуру грунтов, а значит и качественную градацию их сезонного промерзания и протаивания.

2.18. Влияние естественных покровов и искусственных покрытий на качественные градации сезонного промерзания и протаивания зависит от их термического сопротивления, климатических условий исследуемого района, состава и влажности грунтов, периода существования (наличия) покровов и покрытий (холодный, теплый период года, весь год), а применительно к снежному покрову также от режима снегонакопления.

Влияние покровов и покрытий на температуру грунтов оценивается по величине их термического сопротивления (см. табл. 2). Поэтому не имеет принципиального значения, что применить в качестве теплоизоляционного слоя, если не оговариваются дополнительных ограничений, касающихся не сезонного промерзания и протаивания грунтов, а воздействия данного покрова или покрытия на особенности грунтов или сооружений. Важно лишь, чтобы покров или покрытие имели термическое сопротивление, обеспечивающее изменение температуры грунта, требуемое для определенных качественных изменений сезонного промерзания и протаивания.

Таблица 2

Характеристика напочвенного покрова	Степень увлажнения	Коэффициент теплопроводности, 1,16 Вт/(м · °С), для периода		Термическое сопротивление, 0,86 м² · °С/Вт, для периода	
		холодного	теплого	холодного	теплого
Зона лесотундры и северной тайги					
Мощный моховой покров с очесом, преимущественно сфагнум	Слабоувлажненный	0,38	0,20	0,6	1,0
	Увлажненный	0,66	0,23	0,3	0,6
	Переувлажненный	1,0	0,5	0,1	0,2
То же, при отсыпке песчаным грунтом; маломощный моховой покров, преимущественно зеленые мхи	Слабоувлажненный	0,6	0,3	0,25	0,5
	Увлажненный	0,8	0,4	0,15	0,3
	Слабоувлажненный	0,2	0,17	0,5	0,6
То же, при отсыпке сверху песчаным грунтом	Слабоувлажненный	0,3	0,22	0,3	0,4
Ягель	Сухой	0,15	0,15	0,45	0,45
Дерновый покров	Слабоувлажненный	0,5	0,4	0,3	0,4
Зона тундры					
Сфагнум	Увлажненный	0,2	0,21	0,75	0,71
	Слабоувлажненный	0,18	0,16	0,83	0,94
Зеленые мхи, сфагнум, ягель	Сухой	0,17	0,14	0,41	0,50
Сфагнум и зеленые мхи	Слабоувлажненный	0,19	0,16	0,53	0,62

2.19. Имеющиеся данные позволяют оценить влияние снежного покрова с разным термическим сопротивлением на температуру грунта в зоне с нулевыми годовыми колебаниями, а значит и искусственных теплоизоляционных покрытий при наличии их на исследуемом участке в течение холодного периода года. В.П. Чернядьевым на рис. 6 представлена карта среднезимних значений термического сопротивления снежного покрова для открытых (минимальное снегонакопление) и защищенных (максимальное снегонакопление) участков в естественных условиях [17]. В Западной Сибири на защищенных участках оно колеблется от 1,72 до 2,25 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$, на открытых – от 0,43 до 1,72 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$. Это указывает на возможность изменения термического сопротивления снега в широком диапазоне (от 0 до 3 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ и более), а вместе с ним и температуры грунтов.

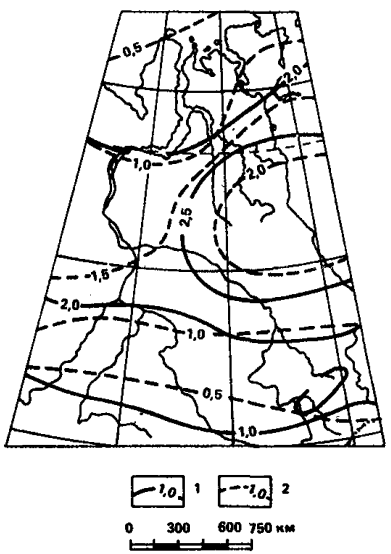


Рис. 6. Карта термического сопротивления ($\cdot 0{,}86$ $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$) снежного покрова в естественных условиях снегонакопления
1 – минимального (открытые участки);
2 – максимального (защищенные участки)

2.20. Прогнозные значения среднегодовой температуры грунта при изменении термического сопротивления снежного покрова, рассчитанные для Уренгойского района [17], позволяют определить, насколько изменить термосопротивление снежного покрова или каким должно быть термическое сопротивление искусственного покрытия, применяемого в холодный период, чтобы обусловить качественное изменение сезонного промерзания или протаивания на разных по природным условиям участках северной части Западной Сибири. В табл. 3 даны расчетные значения средней годовой температуры грунтов t, $^{o}С$, в разных естественных и измененных условиях в районе Уренгойского стационара.

2.21. На безлесных торфяниках при среднезимнем термическом сопротивлении естественного снежного покрова 0,6 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ любое его уменьшение или увеличение менее, чем до 0,94 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$, не приводит к качественным изменениям ни сезонного протаивания, ни сезонного промерзания. Протаивание остается систематическим однонаправленным прямым, а промерзание систематическим двунаправленным возвратноупреждающим, но с уменьшением термического сопротивления снежного покрова увеличивается роль возвратного промерзания.

Таблица 3

Грунт	Влажность грунта, W, % к сухой навеске	$R_{сн} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$	t, °C	Нарушения естественных условий			t, °C в нарушенных условиях
				$R_{сн} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$	$R_{нп} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$	W, %	
Безлесные участки без кустарничкового покрова, микрорельеф мелкокочковатый, моховой покров слабоувлажненный; $R_м = 0{,}6 \cdot 0{,}86$; $R_т = 1 \cdot 0{,}86$							
Торф	200	0,7	−5,35	1,4	0	400	−3,9
"	200	0,7	−5,35	0,3	0	–	−5,6
"	200	0,7	−5,35	0	0	400	−8,6
Суглинок	30	1,1	−3,9	2,5	0	25	+1,2
Те же растительность и микрорельеф, моховой покров увлажненный; $R_м = 0{,}3 \cdot 0{,}86$; $R_т = 0{,}6 \cdot 0{,}86$							
Торф	400	0,7	−5,05	2	0	200	−0,8
"	400	0,7	−5,05	2,5	0	200	+0,3
"	400	0,7	−5,05	3,5	0	200	+1,3
Та же растительность, западина, моховой покров увлажненный; $R_м = 0{,}3 \cdot 0{,}86$; $R_т = 0{,}6 \cdot 0{,}86$							
Торф	400	0,9	−5,2	2,5	0	200	+0,3
Суглинок	35	1,7	−2	3,5	0	25	+2
То же	35	1,7	−2	2,5	0	25	+1,1
"	35	1,7	−2	0,5	0	25	−3,7
Залесенные участки без кустарничкового покрова, микрорельеф мелкокочковатый, моховой покров слабоувлажненный; $R_м = 0{,}6 \cdot 0{,}86$; $R_т = 1 \cdot 0{,}86$							
Торф	200	1,8	−2,35	3,5	0	400	+0,7
"	200	1,8	−2,35	0,3	0	400	−5,6
"	200	2,5	−1,45	0,5	0	400	−5,1
"	200	2,5	−1,45	3,5	0	400	+0,3

Грунт	Влажность грунта, W, % к сухой навеске	$R_{сн} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$	t, °C	Нарушения естественных условий			t, °C в нарушенных условиях
				$R_{сн} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$	$R_{нп} \cdot 0{,}86$, $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$	W, %	
Сугли-нок	25	1,3	−2,05	3,5	–	35	+0,4
Песок	7	2,5	−0,55	0,5	0	35	−3,5
Растительность и микрорельеф те же, маломощный слабоувлажненный моховой покров: $R_м = 0{,}6 \cdot 0{,}86$; $R_т = 0{,}5 \cdot 0{,}86$							
Сугли-нок	25	2,5	+0,4	0,5	0	35	−4,7
То же	25	1,8	−1,2	3,5	0	35	+1,1
Супесь	15	2,5	+0,7	0,5	0	35	−3,7
”	15	1,8	−1	3,5	0	35	+2,2
Песок	7	2,5	+1,15	0,5	0	35	−3,2
”	7	1,8	−0,3	3,5	0	35	+2,4
Растительность и микрорельеф те же, ягель; $R_м = R_т = 0{,}35 \cdot 0{,}86$							
Супесь	15	2,1	0	0,5	0	–	−3,7
”	15	1,8	−0,8	3,5	0	–	+2,3
Песок	7	2,1	+0,7	0,5	0	–	−2,9
”	7	1,8	0	3,5	0	–	+2,1
Залесенные участки с густым кустарничковым покровом, микрорельеф мелкокочковатый, моховой покров маломощный слабоувлажненный; $R_м = 0{,}6 \cdot 0{,}86$; $R_т = 0{,}5 \cdot 0{,}86$							
Супесь	15	3,5	+1,25	0,5	0	–	−3,7
Песок	7	3,5	+1,50	0,5	0	–	−3,2

2.22. Двунаправленное возвратноупреждающее сезонное промерзание на участках безлесных торфяников без напочвенного покрова в Западной Сибири можно изменить: на синхронное, если увеличить среднезимнее термосопротивление снега до 1,2–1,29 $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$;

на прямоупреждающее – до 1,72 $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$; на однонаправленное прямое – до 2,25 $м^2 \cdot {}^{o}C/Вт$. Изменить однонаправленное сезонное протаивание на двуна-

правленное прямоупреждающее можно путем увеличения термического сопротивления снега до 3, $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ и более.

Те же изменения сезонного промерзания и протаивания можно вызвать применением в течение зимы теплоизоляционных покрытий с указанными значениями термических сопротивлений.

2.23. Путем уменьшения тремического сопротивления снежного покрова или зимних покрытий до 1,72, 1,29 или 0,86 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ однонаправленное прямое сезонное промерзание безлесных торфяников можно изменить на двунаправленное: прямоупреждающее, синхронное или возвратноупреждающее соответственно.

Уменьшение термического сопротизления снега или зимнего покрытия с 3 до 2,25 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ приведет к прекращению возвратного сезонного протаивания грунтов.

2.24. На залесенных участках без кустарничкового покрова естественное сезонное промерзание торфа систематическое двунаправленное прямоупреждающее при термическом сопротивлении снежного покрова и 1,6, и 2,25 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$. Путем увеличения термического сопротивления до 3 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ сезонное промерзание можно изменить на однонаправленное прямое без изменения сезонного протаивания (прямое). Уменьшение термического сопротивления снега или покрытия до 0,43 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ позволяет сделать сезонное промерзание двунаправленным возвратноупреждающим, сезонное протаивание останется однонаправленным прямым.

2.25. В северной части Западной Сибири, на залесенных и незалесенных участках, сложенных суглинками с влажностью 25–35% при термическом сопротивлении снега менее 2,25 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$, сезонное промерзание двунаправленное прямоупреждающее, а протаивание однонаправленное прямое. Увеличение термического сопротивления до 2,25–3 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ обусловливает изменение сезонного промерзания на прямое, а протаивания – на двунаправленное прямоупреждающее несистематическое. Уменьшая термическое сопротивление снега или зимнего покрытия до 0,43 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$, можно изменить сезонное промерзание с прямоупреждающего на синхронное, а протаивание с несистематического двунаправленного на однонаправленное прямое.

2.26. Супесчаным и песчаным участкам северной части Западной Сибири свойственна температура в зоне с нулевыми годовыми колебаниями от 1,5 до минус $1^{o}С$ при термическом сопротивлении снега от 3 до 1,6 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ (см. табл. 3). Уменьшая величину термического сопротивления поверхностных покровов или покрытий, можно изменить однонаправленное прямое сезонное промерзание на двунаправленное прямоупреждающее или синхронное, а протаивание с двунаправленного прямоупреждающего на прямое. Увеличение термического сопротивления до указанных значений обусловит обратные изменения (см. табл. 3).

2.27. Изменение качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов в Западной Сибири при изменении термического сопротивления снежного покрова от 1,72–2,25 при максимальном снегонакоплении до 0,86–1,72 $м^2 \cdot {}^{o}С/Вт$ при минимальном (см. рис. 6) на затененных участках с моховым покровом показано на рис. 7, а на оголенных от напочвенных покровов участках с уплотненным снежным покровом для открытых и затененных поверхностей – на рис. 8.

2.28. Анализируя серии картограмм [21], можно приближенно оценить, на сколь-

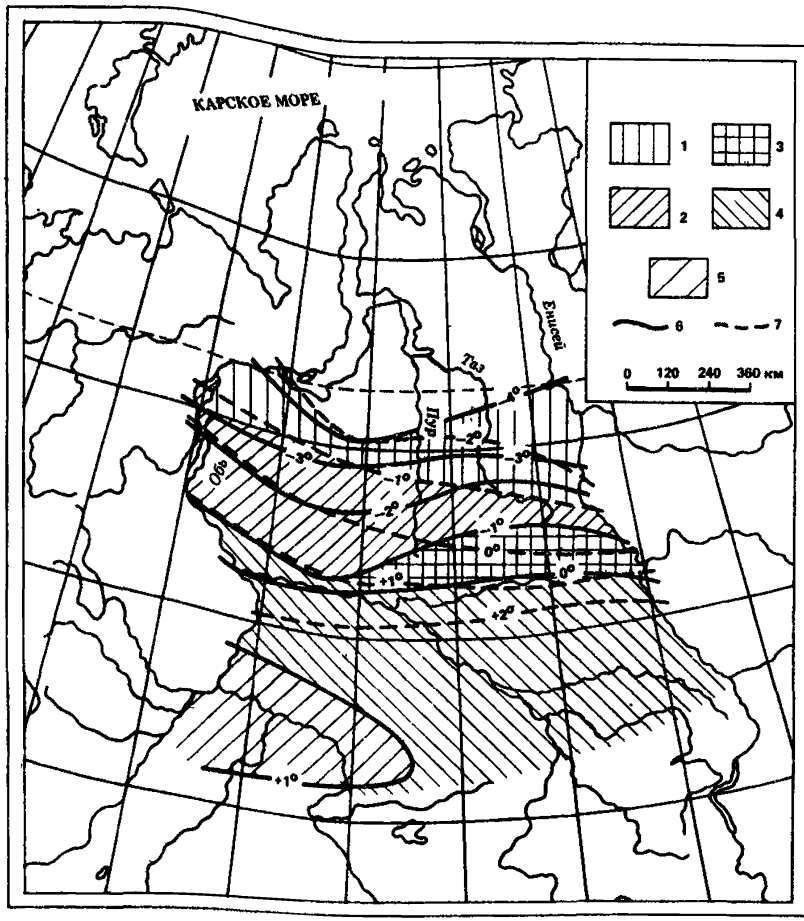


Рис. 7. Карта-схема качественных градаций сезонного промерзания и протаивания грунтов на затененных участках с моховым покровом при разном снегонакоплении в Западной Сибири

1 – двунаправленное прямоупреждающее сезонное промерзание и однонаправленное прямое протаивание при любом снегонакоплении; 2 – то же при минимальном снегонакоплении, при максимальном – прямое промерзание и протаивание; 3 – однонаправленное прямое и промерзание и протаивание при любом снегонакоплении; 4 – однонаправленное прямое промерзание и протаивание при минимальном снегонакоплении, при максимальном – прямоупреждающее протаивание и прямое промерзание; 5 – двунаправленное прямоупреждающее протаивание и прямое промерзание при любом снегонакоплении; 6 – средняя годовая температура грунтов при минимальном снегонакоплении; 7 – то же при максимальном снегонакоплении

ко нужно изменить максимальную высоту снежного покрова (на конец зимнего сезона), плотность снега и термосопротивление напочвенных покровов, чтобы получить определенные значения средней годовой температуры грунтов и качественные показатели сезонного промерзания и протаивания.

Но следует иметь в виду, что температура грунта зависит не столько от макси-

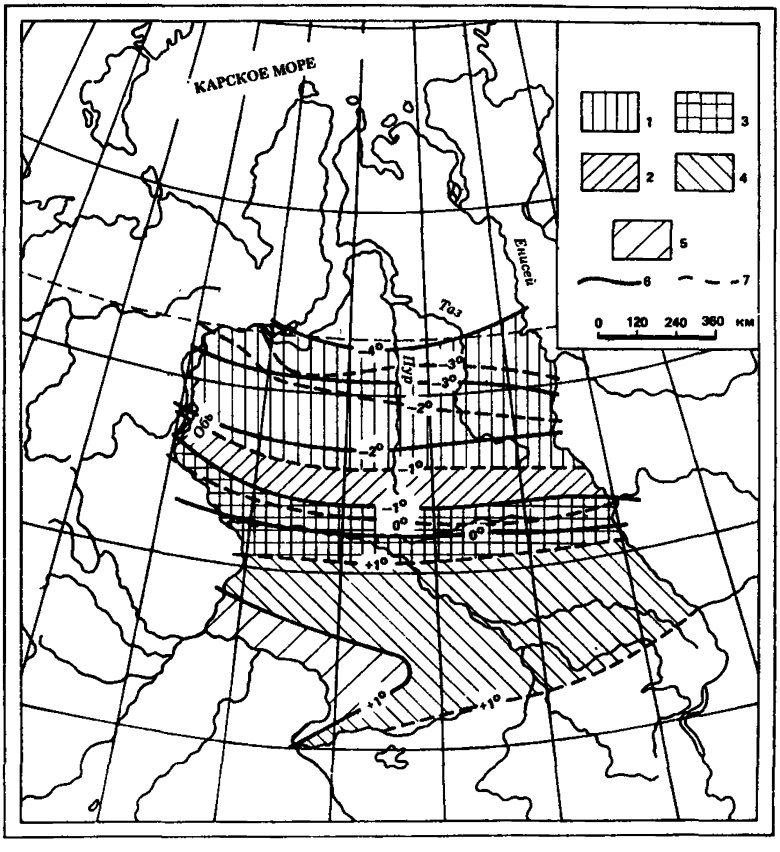


Рис. 8. Карта-схема качественных градаций сезонного промерзания и протаивания грунтов на оголенных участках с уплотненным снежным покровом при разном затенении поверхности

1 – двунаправленное прямоупреждающее промерзание и однонаправленное прямое протаивание и на затененных, и на открытых участках; 2 – то же, затененных участках, на открытых – однонаправленное прямое промерзание и протаивание; 3 – однонаправленное прямое промерзание и протаивание на затененных и открытых участках; 4 – двунаправленное прямоупреждающее протаивание и прямое промерзание на открытых участках, на затененных – однонаправленное прямое промерзание и протаивание; 5 – однонаправленное прямое промерзание и протаивание и на открытых и на затененных участках; 6 – средняя годовая температура грунта на затененных участках: 7 – то же, на открытых участках

мальной высоты снежного покрова в конце зимнего сезона, сколько от режима снегонакопления. Учет только максимальной высоты снежного покрова без учета режима накопления снега при оценке его влияния на температуру грунтов и качественные особенности сезонного промерзания и протаивания может привести к ошибочным выводам.

2.29. Эффективность воздействия снежного покрова и зимних покрытий на среднюю годовую температуру грунтов и качественные показатели сезонного промерзания больше, если мероприятия по изменению их термического сопротивления проводятся в начале зимы.

В области вечномерзлых грунтов чем раньше с началом устойчивого сезонного промерзания устанавливается снежный покров, чем больше и равномернее скорость накопления снега зимой, тем больше его влияние на качественные особенности сезонного промерзания. Наименьшее влияние снег оказывает в том случае, когда большую часть зимы его высота незначительна и резко возрастает в конце зимнего сезона.

2.30. Одним из приемов регулирования качественных показателей сезонного промерзания и протаивания может служить изменение состава грунтов: торфа на песок, песка на суглинок и т.д. Это оказывает существенное влияние на температуру грунтов (см. табл. 3), особенно в сочетании с изменением термического сопротивления снежного покрова.

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

2.31. Основных количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов четыре: начало процесса $t_н$ или какой-либо его качественной градации, длительность календарного $\tau_к$ или фактического периода проявления $\tau_{пр}$, скорость v и глубина h.

2.32. Целью регулирования количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов является изменение их значений до требуемых.

2.33. Регулирование количественных показателей сезонного промерзания и протаивания, как и качественных, сводится к увеличению или уменьшению теплоприхода в грунт или теплорасхода из грунта или разнонаправленному изменению летнего прогрева и зимнего охлаждения грунта одновременно, изменению сроков смены теплоприхода в грунт на теплорасход из него и наоборот.

2.34. Следует учитывать, что любые мероприятия, проводимые в целях изменения только качественных особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов (см. пп. 2.18–2.30), неизбежно приводят к изменению или отдельных количественных показателей данных процессов, или их комплекса. Чем существеннее качественные преобразования процессов, тем больше меняются их количественные показатели, что может оказаться нежелательным. Практически любые изменения прогрева и охлаждения грунта приводят к изменению тех или иных количественных показателей, независимо от того, меняются или нет качественные градации данных процессов.

2.35. При регулировании любого количественного показателя сезонного промерзания и протаивания грунтов необходимо учитывать возможный за многолетний период размах его вариации. Экстремальные значения любого показателя не должны выходить за пределы его значений, допустимых при освоении территории, в частности не должны приводить к переходу сезонного протаивания в многолетнее (см. пп. 3.25–3.30).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАТ НАЧАЛА СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

2.36. Регулировать даты начала прямого промерзания или протаивания грунтов можно путем увеличения или уменьшения термического сопротивления покровов или покрытий до полного их удаления в осенний или весенний период. В районах с несистематическим прямым сезонным промерзанием грунтов, где его начало приходится на разные месяцы холодного периода, теплоизоляционные покрытия применяются либо перед похолоданием, либо заранее с осени, если требуется сделать начало промерзания более поздним, или удаляются перед похолоданием, если надо ускорить его начало.

2.37. Время запаздывания дат начала сезонного промерзания и протаивания грунтов и эффективность поверхностной теплоизоляции в каждом конкретном случае определяется на основе теплотехнических расчетов, аналогового моделирования и численных методов.

2.38. В условиях естественного прогрева и охлаждения грунтов никакие методы регулирования не могут сделать начало прямого промерзания более ранним, чем начало устойчивых отрицательных значений минимальной за сутки температуры воздуха, а прямого протаивания более ранним, чем начало устойчивых положительных значений максимальной за сутки температуры воздуха. Своевременное применение осенью теплоизоляционных покрытий, увеличение термического сопротивления снежного покрова на локальном участке позволяют существенно (в центральных районах Западной Сибири на месяц и более) задержать начало как неустойчивого, так и устойчивого прямого сезонного промерзания грунтов по сравнению с их естественным началом и с устойчивым переходом к отрицательным значениям не только среднесуточных, но и максимальных за сутки температур воздуха.

Для районов Крайнего Севера рассчитано термическое сопротивление R поверхностной теплоизоляции, при котором можно обеспечить запаздывание дат начала прямого сезонного промерзания ($\tau_з$) на 3–16 сут [1]:

R, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$	0,43	0,86	1,72	2,58	3,44	4,30	5,16
$H_{сн}$, см	12,5	40	50	75	100	125	150
$H_п$, см	2	4	5	7,5	10	12,5	15
$\tau_з$, сут	3	6	9	11	13	15	16

$H_{сн}$ и $H_п$ соответственно мощность снега с коэффициентом теплопроводности 0,29 Вт/(м · °С) и толщина пенопласта с коэффициентом теплопроводности 0,004 Вт/(м · °С), обеспечивающая определенное термическое сопротивление. Покрытие из полимерных пен в 3–6 раз дешевле пенопластового. Для обеспечения того же $\tau_з$ толщину покрытия из пены следует увеличить в 1,2–1,5 раза по сравнению с покрытием из пенопласта.

В более южных районах Западной Сибири то же $\tau_з$ достигается при меньшем R, а следовательно, при меньшей толщине поверхностной теплоизоляции. В районе г. Сургута естественные колебания высоты снежного покрова в конце октября – первой декаде ноября от 2–5 до 25–35 см приводят к смещению даты начала устойчивого сезонного промерзания грунтов на 20–25 дней.

В каждом конкретном случае необходимо рассчитать величину термического сопротивления покрова или покрытия, исключающего прямое промерзание грунтов при ожидаемой в октябре – ноябре данного года минимальной температуре воздуха или при минимальном ее значении в эти месяцы за требуемый многолетний период.

2.39. Задержать начало прямого сезонного протаивания грунтов на месяц и более можно теми же методами, что и начало прямого промерзания (см. п. 2.36), но применяя покрытия или увеличивая термосопротивление снежного покрова в конце зимы – начале весны. Чем дольше сохраняется теплоизоляция и больше ее термосопротивление, тем позднее начинается прямое протаивание грунтов.

В районах Крайнего Севера время запаздывания дат начала прямого сезонного протаивания $\tau_з$ под поверхностной теплоизоляцией в зависимости от ее термического сопротивления R приближенно составляет [1]:

R, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$	0,43	0,86	1,72	2,58	3,44	4,3	5,16
$\tau_з$, сут	9	17	30	41	52	60	66

Настил из бревен диаметром 15–20 см с заделкой щелей мхом задерживает начало прямого сезонного протаивания грунтов примерно на 20 сут. В более южных районах Западной Сибири для того же $\tau_з$ требуется большее термическое сопротивление поверхностной теплоизоляции.

2.40. Начало возвратного сезонного промерзания и протаивания можно регулировать, изменяя температуру грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями теми же методами, которые применимы для изменения качественных градаций этих процессов (см. п. 2.11). Значения t_o, °С, критические для возвратного сезонного промерзания:

$t_o \leqslant -5$ – возвратное промерзание начинается раньше прямого;

$-5 < t_o \leqslant -4$ – одновременно с прямым;

$t_o > -4$ – позднее, чем прямое.

Значения t_o, °С, критические для возвратного протаивания:

$t_o \geqslant 5$ – возвратное протаивание начинается раньше прямого;

$5 > t_o \geqslant 4$ – одновременно с прямым;

$t_o < 4$ – позднее прямого.

Изменение начала возвратного сезонного промерзания по сравнению с началом прямого вызывает изменение особенностей льдообразования в сезоннокриогенных грунтах, их криогенного строения, а вместе с этим динамики комплекса криоаградационных и криодеградационных процессов, обусловленных сезонным промерзанием и протаиванием грунтов [4].

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КАЛЕНДАРНОГО ПЕРИОДА СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА ИХ ФАКТИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

2.41. Общим календарным периодом двунаправленного промерзания или протаивания грунтов называется период, ограниченный сроком (датой) начала наиболее ранней и окончания наиболее поздней качественной градации данного процесса.

2.42. Календарным периодом проявления любой качественной градации сезонного промерзания или протаивания называется период, ограниченный сроками (датами) ее начала и окончания. Это возможный период ее проявления, но возможность не всегда полностью реализуется.

2.43. Регулировать длительность календарного периода сезонного промерзания или протаивания грунтов можно путем изменения сроков начала и окончания данных процессов, увеличивая или уменьшая термическое сопротивление покровов и покрытий в начале и в конце их проявления.

2.44. Для регулирования длительности периода фактического проявления прямого сезонного промерзания и протаивания, изменение которого более важно, чем календарного, необходимо изменять не только даты начала и окончания этих процессов, но и структуру календарного периода их проявления.

Сезонное промерзание (протаивание) грунтов не всегда идут непрерывно в течение календарных периодов их проявления. Под влиянием ряда причин (оттепели, снегопады или похолодания, заморозки) эти процессы могут временно не проявляться, останавливаться, а также на некоторое время промерзание сменяться протаиванием или наоборот. Эти особенности определяют структуру календарных периодов их проявления за каждый год и за многолетний период.

2.45. Структура календарного периода сезонного промерзания и протаивания – один из важнейших показателей закономерностей проявления этих процессов [2, 5]. Анализ имеющихся данных о ходе промерзания и протаивания грунтов показал ее природную неоднородность и зональность. В табл. 4 приведена классификация структуры календарного периода ($\tau_к$) сезонного промерзания и сезонного протаивания грунтов по соотношению числа (n) холодных (теплых) сезонов с разной структурой $\tau_к$ за репрезентативный период.

2.46. Структура календарного периода устойчивого сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется простой $\tau_к^{пр}$ при равенстве периодов календарного $\tau_к$ и фактического проявления $\tau_{пр}$ процессов на протяжении 30 лет.

Структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется переходной $\tau_к^{п}$, если за 30 лет она бывает не только простой однокомпонентной ($\tau_к = \tau_{пр}$), но и двухкомпонентной из-за временных остановок ($\tau_{ост}$) процесса ($\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$). Она разделяется на: переходную северную $\tau_к^{пс}$ и переходную южную $\tau_к^{по}$ с разными критериями для сезонного промерзания и протаивания. Если за 30 лет число сезонов с простой структурой календарного периода равно или больше числа сезонов с двухкомпонентной, структура сезонного промерзания называется переходной северной, а сезонного протаивания – переходной южной. При превышении за тот же период числа сезонов с двухкомпонентной структурой $\tau_к$, структура $\tau_к$ сезонного промерзания называется переходной южной, а сезонного протаивания – переходной северной.

2.47. Структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется сложной, если она на протяжении 30 лет двух- и трехкомпонентная. Она разделяется на сложную двухкомпонентную $\tau_к^{2с}$, если в каждый сезон за 30 лет проявление процесса сочетается с его временными остановками ($\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$); сложную промежуточную $\tau_к^{сп}$, если за тот же период наблюдается как двух-, так и трехкомпонентная структура. В том случае, когда за 30 лет число сезонов с двухкомпонентной структурой равно и меньше числа сезонов с трехкомпонентной структурой календарного периода, структура $\tau_к$ сезонного

Таблица 4

Структура			Критерий
тип	подтип	вид	
		Сезонное промерзание	
Простая	–	–	$n(\tau_к = \tau_{пр})$
Переходная	Северная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Южная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
Сложная	Двухкомпонентная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Промежуточная	Северная	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
		Южная	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
	Трехкомпонентная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
		Сезонное протаивание	
Простая	–	–	$n(\tau_к = \tau_{пр})$
Переходная	Северная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Южная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
Сложная	Двухкомпонентная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Промежуточная	Северная	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_п)$
		Южная	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_п)$
	Трехкомпонентная	–	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_п)$

промерзания называется промежуточной северной $\tau_к^{спс}$, а протаивания – промежуточной южной $\tau_к^{спю}$. Если преобладает число сезонов с трехкомпонентной структурой, она называется промежуточной южной $\tau_к^{спю}$ применительно к сезонному промерзанию и северной $\tau_к^{спс}$ применительно к сезонному протаиванию.

Структура календарного периода промерзания (протаивания) грунтов называется сложной трехкомпонентной $\tau_к^{зс}$, если в каждый сезон 30-летнего периода проявление промерзания (протаивания) сочетается с остановками процесса и частичным возвратным оттаиванием $\tau_{отт}$ (возвратным промерзанием $\tau_п$) промерзших (оттаявших) грунтов: $\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$ (или $\tau_п$).

2.48. Структура $\tau_к$ неустойчивого прямого и возвратного промерзания (протаивания) – двухкомпонентная или трехкомпонентная.

2.49. Регулирование структуры календарного периода сезонного промерзания или протаивания грунта – это изменение соотношения основных его составляющих: $\tau_{пр}$, $\tau_{ост}$, $\tau_{отт}$ или $\tau_п$, или исключение большей или меньшей их части (см. пп. 2.46–2.48). Предварительно необходимо знать ее особенности на регулируемом участке.

2.50. Структура календарного периода данных процессов определяется по материалам ежедневных наблюдений за их ходом в течение репрезентативного или требуемого многолетнего периода. Раздельно изучается структура календарного периода прямого и возвратного сезонного промерзания и протаивания. Особенно сложно выявить структуру календарного периода возвратного промерзания грунтов; из-за малой, в основном, его скорости для этого не всегда пригоден мерзлотомер Данилина, не дают желаемого результата многоразовые замеры мощности протаявшего горизонта на маркированных участках. Более результативны ежедневные наблюдения за температурой грунта при частом (через 2–3 см) расположении датчиков в нижнем горизонте грунтов, подвергающихся сезонному промерзанию и протаиванию.

2.51. Проведение длительных ежедневных наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов при освоении территории практически невозможно. Короткопериодные 3–5-летние ежедневные наблюдения дают представления о структуре календарного периода этих процессов за данный 3–5-летний период. Сопоставление ее особенностей за этот период на регулируемом участке и на участке АГМС, ГМС, болотных, мерзлотных станций, постов или стационаров, если они есть на исследуемой территории или по соседству и располагают многолетними данными о ходе сезонного промерзания и протаивания, позволяет приближенно судить о ее особенностях за требуемый многолетний или репрезентативный период на исследуемом участке [5] .

2.52. Важно знать косвенные показатели, позволяющие приближенно судить о структуре календарного периода сезонного промерзания и протаивания грунтов. Косвенным показателем структуры этого периода можно считать температуру грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями $t_о$.

Ориентировочно критическими для структур календарных периодов можно считать следующие значения $t_о$, °С:

прямого сезонного промерзания:

$t_о < -5$ – простая;

$-5 \leqslant t_о < -4$ – переходная северная;

$-4 \leqslant t_0 < -1$ – переходная южная;
$-1 \leqslant t_0 \leqslant 1$ – двухкомпонентная;
$1 < t_0 \leqslant 4$ – промежуточная северная;
$4 < t_0 \leqslant 5$ – промежуточная южная;
$t_0 > +5$ – трехкомпонентная;

возвратного сезонного промерзания:

$t_0 \leqslant -5$ – трехкомпонентная;
$-5 < t_0 \leqslant -4$ – промежуточная;
$-4 < t_0 \leqslant -1$ – двухкомпонентная;

прямого сезонного протаивания:

$t_0 \leqslant -5$ – трехкомпонентная;
$-5 < t_0 \leqslant -4$ – промежуточная северная;
$-4 < t_0 \leqslant -1$ – промежуточная южная;
$-1 < t_0 \leqslant 1$ – двухкомпонентная;
$1 < t_0 \leqslant 4$ – переходная северная;
$4 < t_0 \leqslant 5$ – переходная южная;
$t_0 > 5$ – простая

возвратного сезонного протаивания:

$t_0 \leqslant 1$ – трехкомпонентная;
$1 < t_0 \leqslant 4$ – промежуточная;
$t_0 > +4$ – двухкомпонентная.

2.53. Требуемую структуру календарного периода прямого или возвратного промерзания или протаивания можно обеспечить, изменив температуру грунта в зоне с нулевыми годовыми амплитудами до значений, критических для данной ее градации. Структуру можно считать устойчивой, если экстремальные значения t_0 за требуемый период не выходят за пределы, критические для той или иной градации структуры календарного периода прямого или возвратного промерзания или протаивания (см. п. 2.52).

Методы регулирования структуры календарного периода сезонного промерзания и протаивания те же, что и качественных градаций этих процессов: изменение термосопротивления поверхностных покровов и покрытий, влажности, состава сезоннопромерзающего и протаивающего грунта, создание затененных или открытых участков (см. пп. 2.11, 2.16, 2.18–2.30).

В тех случаях, когда требуется изменить структуру календарного периода сезонного промерзания грунтов, необходимо знать изменение температуры воздуха за холодный период года, а для изменения структуры календарного периода сезонного протаивания изменение температуры воздуха за теплый период года. На регулируемом участке следует применять покровы и покрытия с таким термическим сопротивлением, которое может обеспечить проявление этих процессов лишь при определенной температуре воздуха. Например, увеличить их термосопротивление так, чтобы промерзание грунтов не проявлялось не только в дни глубоких оттепелей с положительной температурой воздуха, но и с определенной отрицательной.

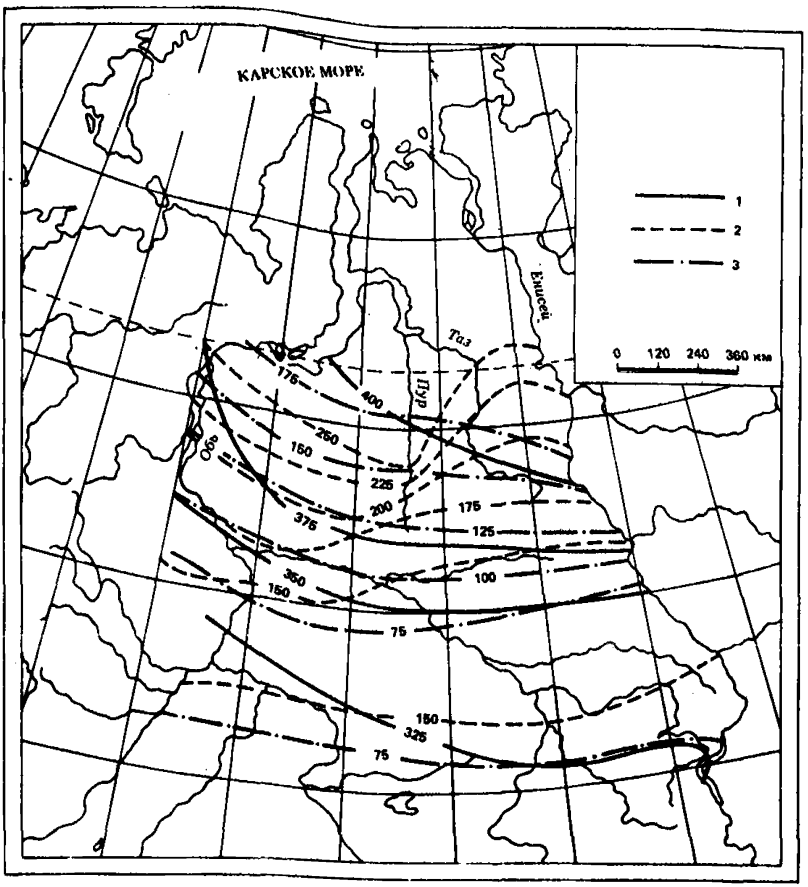


Рис. 9. Карта потенциальной и реальной расчетной средней многолетней глубины сезонного промерзания суглинков влажностью 15% при удаленном снежном покрове (*1*), минимальном (2) и максимальном снегонакоплении (*3*)

2.54. Следует учитывать, что в большинстве случаев изменение структуры календарного периода сезонного промерзания и протаивания грунтов сочетается с изменением качественных показателей этих процессов или одного из них, поскольку совпадают критические для них значения температуры грунта (см. пп. 2.9, 2.52).

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

2.55. Скорость прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов можно регулировать, изменяя термосопротивление покровов и покрытий, уменьшая или увеличивая затенение поверхности, влажность–льдистость грунтов, изменяя их состав. Наибольший интерес представляет регулирование не средней кален-

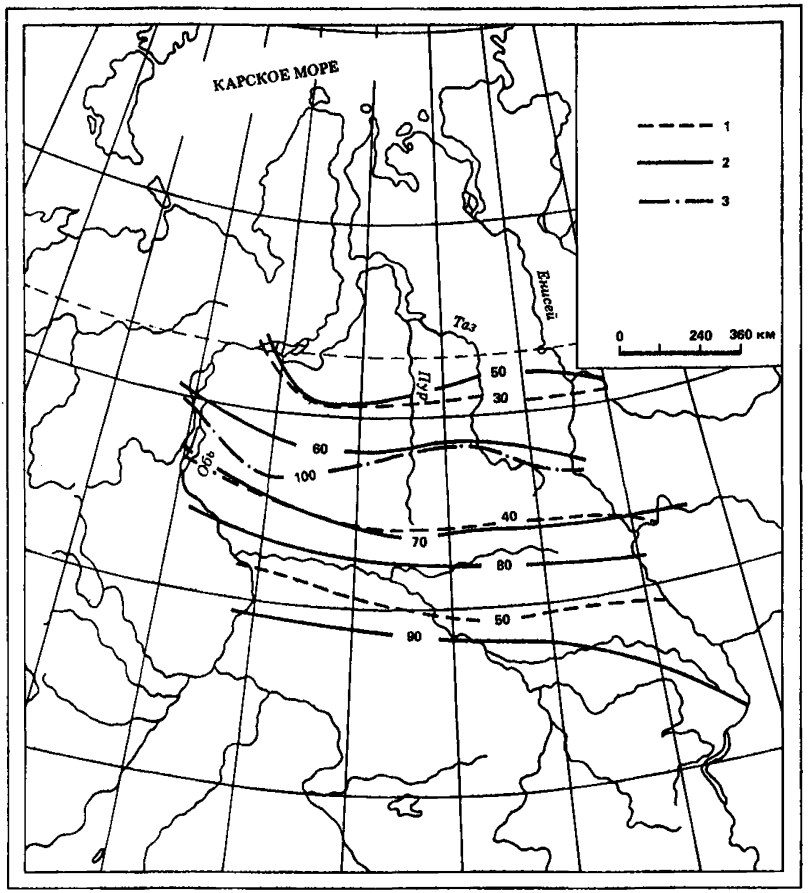


Рис. 10. Карта расчетных средних многолетних глубин (см) сезонного протаивания торфа (*1*), суглинка с влажностью 35% при моховом покрове (*2*) и суглинка с влажностью 30% на задернованных участках (*3*)

дарной скорости, определяемой как частное от деления мощности протаивающих или промерзающих за сезон грунтов на календарный период прямого сезонного протаивания или промерзания, а фактической скорости этих процессов. Среднее за сезон значение фактической скорости протаивания (промерзания) определяется как частное от деления мощности мерзлого (талого) грунта, протаивающего (промерзающего) за данный теплый (холодный) период на длительность периода фактического проявления прямого сезонного протаивания (промерзания).

2.56. Наибольших значений фактическая скорость как прямого промерзания, так и протаивания в Западной Сибири в естественных условиях достигает в первую половину периода проявления этих процессов. Для уменьшения скорости нужно применять дополнительную теплоизоляцию с начала холодного или теплого периода соответственно, а для увеличения скорости прямого сезонного про-

мерзания грунтов нужно с декабря по февраль включительно удалять снег или создавать на регулируемом участке условия, исключающие его накопление. Для увеличения скорости прямого протаивания рекомендуется уменьшать затененность поверхности, удалять напочвенный покров, особенно моховый, заменять его на дерновый.

2.57. О влиянии этих мероприятий на скорость данных процессов пока можно судить лишь по прогнозным расчетным значениям глубины прямого сезонного промерзания и протаивания в Западной Сибири при соответствующем нарушении природной обстановки [21, 17].

Судя по глубине промерзания, удаление снежного покрова приводит к возрастанию средней календарной скорости промерзания суглинков с влажностью 15% в 2 раза по сравнению с ее значением при минимальном снегонакоплении и в 4–4,5 раза при максимальном (рис. 9). Увеличение снегонакопления до максимального приведет к соответствующему уменьшению средней скорости прямого промерзания.

Скорость прямого сезонного протаивания при замене торфа на суглинок с влажностью 35% и при наличии мохового покрова возрастает в 1,5–2 раза, а при замене мохового покрова на дерновый и уменьшении влажности суглинка до 30% – в 2–2,5 раза (рис. 10). Противоположная замена напочвенного покрова и состава грунта вызовет соответствующее уменьшение скорости прямого протаивания грунтов.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

2.58. Глубина прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов – единственный количественный показатель этих процессов, более или менее детально изученный к настоящему времени. Разработаны расчетные методы определения и прогноза изменения этого показателя при нарушении природных условий [11, 12, 22, 21, 17]. Они нередко называются методами расчета и прогноза не глубины прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов, а мощности сезонно-талого (СТС) и сезонно-мерзлого (СМС) слоя. Расчетные методы, применение гидроинтегратора и ЭВМ позволяют определить именно глубину прямого сезонного протаивания в области близко залегающих вечномерзлых грунтов, если при этом не учитывается осадка мерзлых грунтов при сезонном протаивании. Вне этой области данными методами определяют глубину прямого сезонного промерзания грунтов, а не мощность СМС, если не учитывается величина их пучения при промерзании.

2.59. Глубина сезонного промерзания соответствует мощности горизонта талых грунтов, промерзающих за холодный период года. В настоящее время вне области вечномерзлых грунтов она неоправданно отождествляется с мощностью сезонно-мерзлого слоя (СМС), превосходящей глубину сезонного промерзания на величину пучения грунтов при промерзании.

Мощность сезонно-мерзлого слоя соответствует глубине сезонного протаивания в следующий теплый период года, если не сохраняется остаточного горизонта сезонно-мерзлых грунтов, часто называемого перелетком. Глубина сезонного промерзания талых грунтов здесь в любой год равна разнице между мощностью сезонно-мерзлого слоя и величиной криогенного пучения слагающих его грунтов.

При освоении территории без вечномерзлых грунтов до сих пор учитывается не глубина сезонного промерзания (СНиП 2.02.01–83), а мощность сезонно-мерзлого слоя.

2.60. Глубина сезонного протаивания соответствует мощности горизонта мерзлых грунтов, протаивающих за теплый период как в области вечномерзлых грунтов, так и вне ее. В настоящее время в области вечномерзлых грунтов она неоправданно отождествляется с мощностью сезонно-талого слоя (СТС), которая меньше глубины сезонного протаивания грунтов на величину их осадки при протаивании. Мощность сезонно-талого слоя здесь соответствует возможной в следующий холодный период года глубине сезонного промерзания грунтов, если не сохраняется остаточного горизонта сезонно-талых грунтов. При освоении области близко залегающих вечномерзлых грунтов до сих пор учитывается не глубина сезонного протаивания (СНиП П-18-76, [18]. Нормы производства инженерно-геологических изысканий для строительства на вечномерзлых грунтах РСН 31-83), а мощность сезонно-талого слоя или глубина сезонного промерзания грунтов.

2.61. Различают несколько видов глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов, определяемых по-разному. Практически до сих пор в области вечномерзлых грунтов вместо любого вида глубины сезонного протаивания используются сведения о том же виде мощности сезонно-талого слоя (см. п. 2.60), а вне этой области – данные о том же виде мощности сезонно-мерзлого слоя (см. п. 2.59). Глубина сезонного промерзания (протаивания) – это полная глубина проявления данного процесса в грунтах за данный год. Понятия максимальная, средняя и минимальная глубина применимы лишь при характеристике пространственно-временной вариации этого показателя, т.е. когда имеется или многолетний ряд данных о его значениях, или данные за один год или другой сравнимый период по нескольким точкам.

2.62. Глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов в ненарушенных природных условиях следует называть естественной, а в условиях, нарушенных в целях эксперимента или при освоении территории, – экспериментальной глубиной проявления этих процессов.

2.63. Нормативная глубина сезонного протаивания грунтов определяется как наибольшая его глубина за период не менее 10 лет на участках близко залегающих вечномерзлых грунтов, лишенных растительного и торфяного покрова, с которых весной удаляется снег [18].

2.64. Нормативная глубина сезонного промерзания грунта принимается равной средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов за период не менее 10 лет на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов (СНиП 2.02.01–83).

Разная организация наблюдений при определении нормативной глубины промерзания и протаивания и разные значения глубины этих процессов, принимаемые за нормативные, делают необходимым уточнение как определения этих понятий, так и методики определения.

Нормативной правильнее считать максимальную за репрезентативный (30 лет) или требуемый период глубину как сезонного протаивания, так и сезонного промерзания при одинаковых требованиях к организации опытных площадок: горизонтальные, лишенные снега, растительного и торфяного покрова.

Таблица 5

Тепловой импульс периода		Моховой покров				Дерновый покров		
		Влажность грунта, %						
теплого	холодного	400		35		30		
		$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{max}$
10	100	–	–	–	–	–	–	–
	150	–	–	–	–	–	–	–
	200	–	–	–	–	–	–	–
20	100	31	40	32	44	7	27	18
	150	39	50	58	86	33	36	24
	200	–	–	–	–	42	47	40
30	50	–	15	–	17	8	11	9
	100	17	21	19	22	13	14	14
	150	22	38	28	33	17	21	21
	200	38	56	33	58	22	28	25
40	100	9	23	–	20	–	12	–
	150	15	9	15	25	12	15	19
	200	18	27	22	32	16	17	14
	250	24	36	26	50	21	23	18
50	100	12	14	–	16	–	10	–
	150	14	20	17	23	12	14	–
	200	27	21	23	25	14	17	16
	250	24	23	29	29	15	21	17
60	100	–	15	–	11	–	8	–
	150	11	18	12	17	8	12	–
	200	13	21	14	23	8	15	–

Примечание. $R_{сн}^{max}$, $R_{сн}^{min}$, $R_{сн}^{упл}$ – термическое сопротивление снежного покрова соответственно при максимальном, минимальном снегонакоплении и при его уплотнении.

Дерновый покров			Оголенная поверхность								
Влажность грунта %											
15	5		30			15			5		
$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{упл}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{упл}$	$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$	$R_{сн}^{упл}$
–	–	–	12	14	14	12	13	16	14	16	21
–	–	–	16	17	18	16	18	20	21	28	30
–	–	–	19	18	22	19	21	26	33	41	–
22	18	23	12	14	13	12	13	13	13	14	15
34	28	36	14	16	17	14	15	16	17	17	20
50	53	–	17	18	20	16	20	19	20	26	39
9	16	16	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17	22	26	10	9	9	–	9	10	7	10	12
22	30	39	11	12	12	11	11	14	13	13	20
30	43	61	12	14	15	13	14	15	15	11	20
9	–	10	–	6	8	–	7	8	–	7	9
12	9	16	8	6	11	8	9	10	–	10	13
16	17	22	9	9	11	9	11	12	11	13	15
17	22	25	10	11	13	11	12	13	20	16	20
11	–	–	–	7	8	–	–	9	–	–	10
15	12	15	8	10	9	–	9	10	–	11	12
17	18	19	9	10	10	4	10	12	12	12	15
22	20	27	10	12	13	11	12	10	15	16	21
8	–	8	–	6	5	–	–	6	–	–	6
12	–	13	5	6	6	–	8	8	–	8	10
15	–	19	10	10	10	–	12	11	10	7	14

За 30 лет практически проявляется все природное многообразие летних и зимних погодных условий, влияющих на глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов.

2.65. Мощность торфяного покрова, подлежащего удалению, должна быть не более 20–30 см, иначе удаление его на площадке приведет к образованию заметного понижения даже в южных районах, а в северных – к вскрытию поверхности вечномерзлых грунтов и развитию термокарста. Если мощность торфяного покрова соизмерима с глубиной сезонного промерзания или протаивания, его вообще не следует удалять, т.к. это будет означать полную ликвидацию естественного слоя грунтов с проявлением сезонных циклов промерзания-протаивания и формирование нового.

2.66. При определении нормативной глубины этих процессов снег с опытных площадок следует полностью удалять на протяжении всего периода его существования, поскольку на глубину сезонного промерзания и протаивания влияют и степень их охлаждения за зиму, и оттепели, и режим снегонакопления. При отсутствии снежного покрова в течение зимы могут проявиться иные, чем при его наличии, качественные градации этих процессов.

2.67. Независимо от вида глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов все ее промежуточные значения между началом и завершением процесса следует обозначать не как глубину сезонного промерзания или протаивания, а как глубину промерзания или протаивания грунтов в естественных или нарушенных условиях на такое-то число, оговаривая качественную градацию процесса (см. рис. 1).

2.68. Учитывая несколько видов глубины сезонного промерзания и протаивания и разную организацию опытных площадок для их определения (см. пп. 2.59, 2.66) при планировании работ по регулированию этого показателя необходимо четко знать, какой вид его требуется изменить и в каком направлении.

2.69. Методы регулирования глубины прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов те же, что и качественных градаций этих процессов (см. п. 2.11), но регулирование разных видов этого показателя (см. пп. 2.59–2.68) проводятся разными методами. Практически нельзя регулировать естественную их глубину, поскольку любые нарушения природной обстановки делают ее не естественной, а экспериментальной. Нормативную глубину можно регулировать, лишь изменяя состав и влажность грунтов, поскольку отсутствие снежного покрова и растительности, включая напочвенный покров и торфяной горизонт, оговорено в определениях понятий нормативная глубина сезонного протаивания (см. п. 2.63) и промерзания (см. пп. 2.64–2.66).

2.70. Изменение затененности поверхности в зависимости от характера напочвенного покрова, влажности грунта, условий снегонакопления, особенностей теплого и холодного периода позволяет изменить глубину сезонного прямого протаивания грунтов в Западной Сибири на 7–86%. В табл. 5 показано увеличение глубины прямого сезонного протаивания, % на открытых участках по сравнению с затененными. Влияние затененности возрастает с уменьшением сумм градусо-месяцев (теплового импульса) теплого периода и влажности грунтов и уменьшается с их увеличением.

2.71. Изменение снегонакопления от минимального до максимального и наоборот позволяет увеличивать или уменьшать глубину прямого сезонного протаивания на 8–62% в зависимости от теплового импульса теплого и холодного перио-

Таблица 6

Тепловой импульс периода		Моховый покров				Дерновый покров						Оголенная поверхность					
теплого	холодного	затененный		открытый		затененный			открытый			затененная			открытая		
		Влажность грунта, %															
		400	35	400	35	30	15	5	30	15	5	30	15	5	30	15	5
10	100	–	–	–	–	31	30	–	20	21	37	10	11	16	9	10	14
	150	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	12	23	9	10	17
	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	9	13	29	10	11	22
20	100	10	38	21	26	35	19	23	14	15	18	10	10	15	9	9	14
	150	–	–	33	46	31	23	31	16	14	23	10	12	16	9	11	15
	200	–	–	–	–	–	–	–	18	18	31	10	14	21	8	10	15
30	50	12	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	100	26	31	22	28	17	18	22	16	15	18	10	10	14	11	–	10
	150	38	38	22	32	25	24	33	21	23	25	12	12	18	10	12	17
	200	–	–	29	–	28	26	41	22	22	25	12	13	20	11	12	16
40	100	21	38	23	26	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	150	23	50	29	38	17	34	49	28	29	38	16	20	26	16	20	26
	200	–	–	37	52	35	37	53	34	35	–	16	20	29	16	20	29
	250	–	–	40	62	37	35	–	33	36	–	17	20	26	17	20	26
50	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	–	–	20	–	–
	150	17	28	11	17	16	16	19	14	–	–	11	–	–	11	–	–
	200	15	20	15	18	17	18	23	14	18	22	7	16	14	7	16	14
	250	14	20	15	20	18	20	26	12	15	19	11	12	16	11	12	16
60	150	33	37	26	–	23	21	26	–	–	27	16	–	–	16	–	–
	200	36	44	26	34	39	–	–	31	32	40	16	18	16	16	18	16

Таблица 7

Тепловой импульс периода		Дерновый покров						Моховой покров	
теплого	холодного	$R_{сн}^{max}$			$R_{сн}^{min}$			$R_{сн}^{max}$	$R_{сн}^{min}$
		Влажность грунта, %							
		30	15	5	30	15	5	30–35	30–35
10	100	162	151	148	190	177	197	–	–
	150	270	–	–	–	–	–	–	–
20	100	72	71	60	80	81	66	245	300
	150	98	100	86	110	106	98	358	516
	200	133	136	130	154	153	161	541	–
30	100	54	–	–	62	56	34	162	203
	150	67	57	37	81	72	46	216	275
	200	82	74	47	100	89	57	264	384
40	100	–	–	–	47	48	39	–	154
	150	43	–	–	60	61	54	160	205
	200	53	54	45	75	75	68	182	269
	250	63	63	53	86	86	84	227	352
50	100	–	–	–	39	–	–	–	111
	150	38	–	–	44	44	37	119	134
	200	44	39	30	48	54	39	137	146
	250	47	44	36	51	48	40	148	171
60	100	–	–	–	33	–	–	–	109
	150	–	–	–	37	39	33	–	129
	200	29	–	–	46	48	43	114	147

да, характера напочвенного покрова, затененности и влажности грунта. Влияние снегонакопления возрастает с увеличением прогрева и охлаждения поверхности, с уменьшением влажности грунтов, особенно при наличии мохового покрова. Согласно расчетам [17], наименьшее значение как регулятор глубины прямого сезонного протаивания снегонакопления имеет на оголенных от растительности поверхностях: изменение его от минимального до максимального обусловливает изменение глубины протаивания не более чем на 41%, в основном менее 20%. В табл. 6 показано увеличение глубины прямого сезонного протаивания грунтов, %, на участках с максимальным снегонакоплением по сравнению с ее значением при минимальном снегонакоплении.

Таблица 8

Тепловой импульс периода		Оголенная поверхность		Дерновый покров		Моховой покров	
теплого	холодного	$R^{max}_{сн}$	$R^{min}_{сн}$	$R^{max}_{сн}$	$R^{min}_{сн}$	$R^{max}_{сн}$	$R^{min}_{сн}$
10	100	64	62	71	70	–	–
	150	64	60	64	78	–	–
	200	59	58	67	63	–	–
20	100	66	65	67	65	69	60
	150	66	62	64	66	33	–
	200	62	61	60	61	25	–
30	50	–	–	–	–	76	88
	100	–	67	71	73	75	68
	150	65	64	76	72	61	62
	200	64	62	72	72	62	33
40	50	–	–	–	–	–	–
	100	–	69	–	68	82	73
	150	–	66	68	66	78	45
	200	69	65	68	66	64	47
	250	66	62	66	63	59	27
50	100	–	–	–	–	–	81
	150	–	69	–	69	83	67
	200	63	76	69	69	77	69
	250	67	68	72	68	68	59
60	100	–	–	–	71	–	88
	150	–	73	–	70	84	79
	200	–	71	–	69	82	72

2.72. Весьма действенным регулятором глубины прямого сезонного протаивания грунтов является растительный покров. Изменяя его, можно изменить глубину проявления этого процесса на 29–54% в зависимости от прогрева поверхности, характера напочвенного покрова, снегонакопления и влажности грунтов. В табл. 7 показано увеличение глубины прямого протаивания, %, при удалении напочвенного покрова при разных климатических, поверхностных и грунтовых условиях.

2.73. Наиболее существенное влияние на сезонное промерзание и протаивание оказывает увлажненность (льдистость) грунтов, изменяя которую, можно регулировать глубину проявления этих процессов. К настоящему времени дана количественная оценка влияния увлажненности лишь на глубину однона-

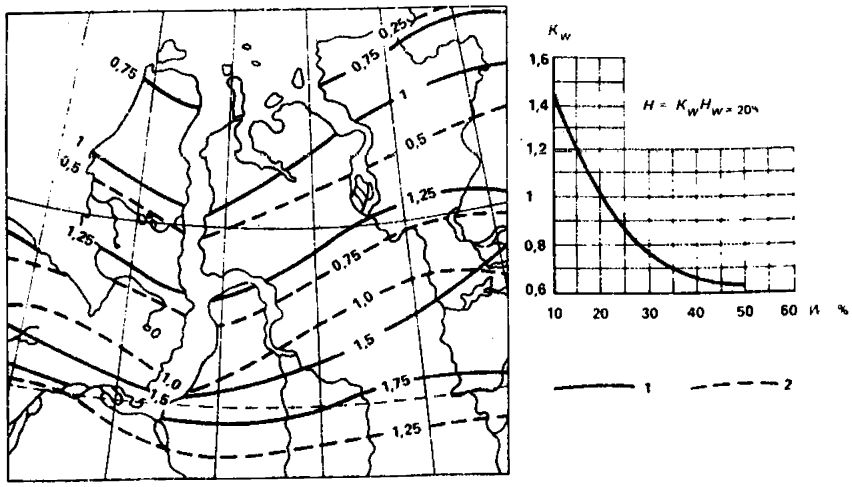


Рис. 11. Карта расчетной средней многолетней глубины сезонного протаивания глинистых грунтов
1 – для оголенной поверхности; 2 – для задернованной поверхности; W – влажность, %; K_w – коэффициент влажности; H – расчетная глубина протаивания

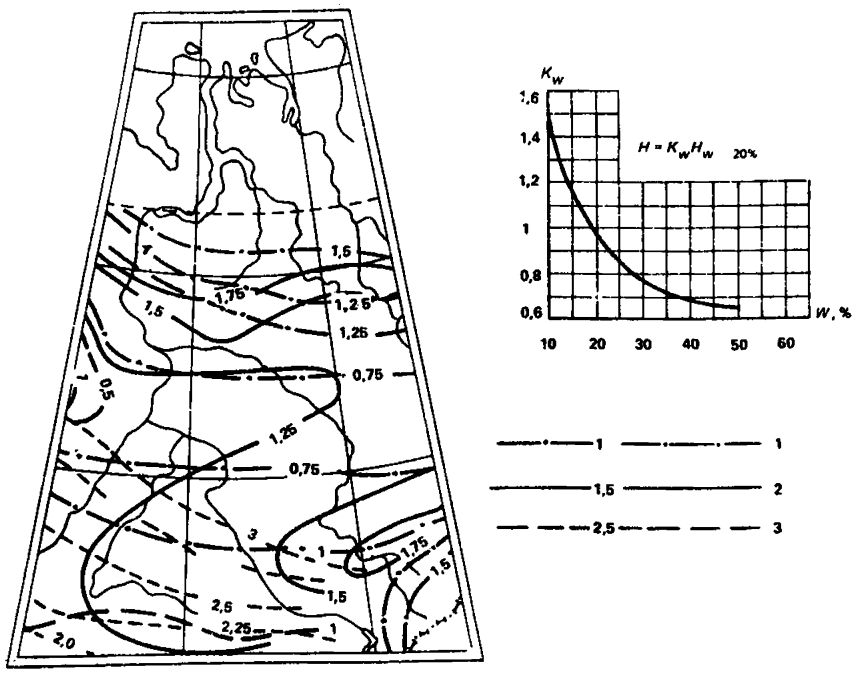


Рис. 13. Карта расчетной средней многолетней глубины сезонного промерзания глинистых грунтов
1 – при максимальном снегонакоплении; 2 – при минимальном снегонакоплении; 3 – при оголенной от снега поверхности; W – влажность, %; K_w – коэффициент влажности; H – расчетная глубина протаивания

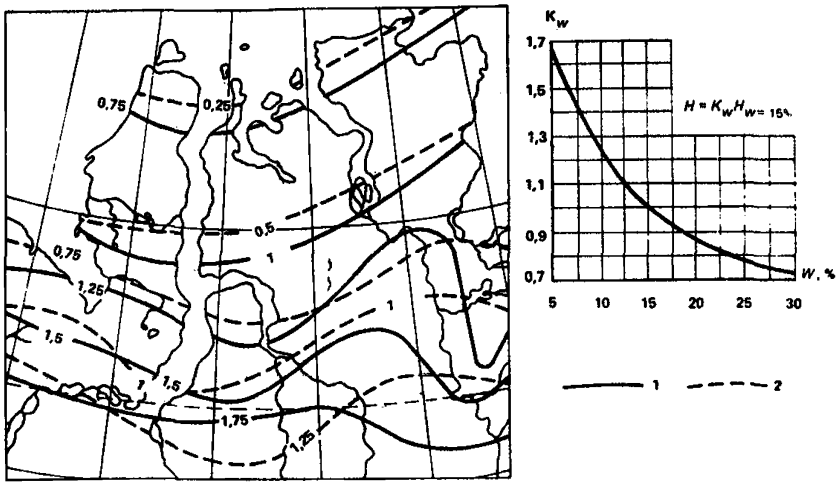


Рис. 12. Карта расчетной средней многолетней глубины сезонного протаивания песчаных грунтов

1 – для оголенной поверхности; 2 – для задернованной поверхности; W – влажность, %; K_w – коэффициент влажности; H – расчетная глубина протаивания

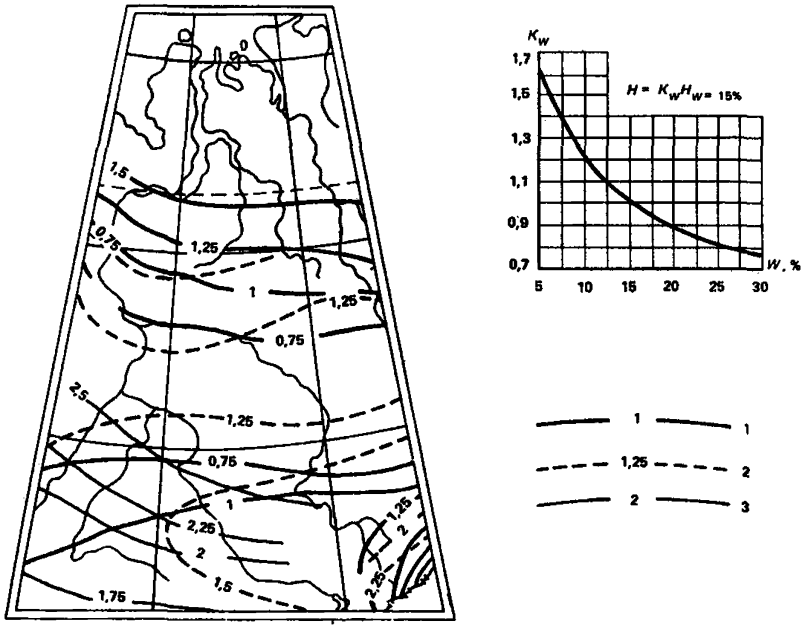


Рис. 14. Карта расчетной средней многолетней глубины сезонного промерзания песчаных грунтов

1 – при максимальном снегонакоплении; 2 – при минимальном снегонакоплении; 3 – при оголенной от снега поверхности; W – влажность, %; K_w – коэффициент влажности; H – расчетная глубина протаивания

правленного прямого промерзания и протаивания [17]. В табл. 8 показано увеличение глубины прямого протаивания суглинков, %, при уменьшении их влажности с 30 до 15% на участках оголенных и с дерновым покровом, а также суглинка с влажностью 35% по сравнению с глубиной протаивания торфа, имеющего влажность 400%, при разной сумме градусо-месяцев теплого и холодного периода и разном снегонакоплении.

2.74. При однообразии литологического состава промерзающих и протаивающих грунтов учитывать влияние влажности можно с помощью коэффициентов. Картограммы глубины прямого сезонного протаивания глинистых грунтов с влажностью 20% приведены на рис. 11, песчаных при влажности 15% на рис. 12 и глубины прямого сезонного промерзания тех же по составу и влажности грунтов на рис. 13 и 14. Указанные на картограммах коэффициенты позволяют сравнительно легко (методом подбора) определить, насколько нужно изменить влажность грунтов, чтобы глубина их прямого промерзания или протаивания не выходила за требуемые пределы при естественных изменениях погодных условий за репрезентативный или требуемый многолетний период.

2.75. Применяя тот или иной метод изменения конкретного количественного показателя сезонного промерзания и протаивания грунтов, необходимо учитывать возможное его воздействие на другие показатели, включая качественные. Ограничиваться оценкой его влияния на один какой-либо показатель допустимо лишь в том случае, если изменения других показателей при этом не имеют значения. В остальных случаях должно определяться изменение всех основных показателей этих процессов, начиная с качественных, изменение которых может привести к нежелательным последствиям.

2.76. При регулировании качественных и количественных показателей сезонного протаивания грунтов в области близкого залегания сильнольдистых вечномерзлых толщ необходимо следить за тем, чтобы глубина сезонного протаивания грунтов не превысила ее критическое значение (см. пп. 3.14–3.16). Иначе это приведет к развитию термокарста (см. пп. 3.1–3.7) и сильно осложнит инженерное освоение территории.

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ И ТЕРМОКАРСТА

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ И ТЕРМОКАРСТА

3.1. Динамика техногенных таликовых зон и термокарстовых форм определяется инженерно-геокриологической обстановкой, видами техногенных нарушений, конкретными условиями строительства и сроком эксплуатации инженерных сооружений.

3.2. В районах распространения низкотемпературных вечномерзлых грунтов (среднегодовая температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд ниже минус 2°С развитие многолетнего протаивания и термокарста в результате техногенных воздействий наблюдается преимущественно в зоне непосредственного теплового влияния инженерных сооружений. В районах распространения вы-

сокотемпературных вечномерзлых грунтов (среднегодовая температура грунтов выше минус $2^{o}C$ развитие техногенного термокарста происходит не только в зоне непосредственного теплового влияния сооружений, но и при нарушениях естественных условий теплообмена на поверхности и в грунтах, возникающих в процессе инженерной подготовки территории или строительства сооружений (снятие растительного и почвенно-растительного покровов, послойное удаление грунта, обводнение поверхности, увеличение мощности снега до критической).

3.3. Интенсивное развитие техногенного термокарста наблюдается на участках распространения мономинеральных залежей льда и сильнольдистых ($Л_{в} > 0,4$) грунтов в верхней части вечномерзлой толщи. На участках, сложенных слабольдистыми ($Л_{в} < 0,1$) грунтами, их многолетнее протаивание до глубины 5–10 м не приводит к развитию термокарста.

3.4. На участках, где при освоении территории термокарст не развивается, через несколько лет или десятилетий после прекращения техногенных воздействий формируются инженерно-геокриологические условия, близкие к первоначальным. В случаях развития техногенного термокарста исходная природная обстановка не восстанавливается, процесс термокарста может быть стабилизирован с помощью проведения биологической рекультивации или мероприятий тепловой мелиорации, позволяющих регулировать развитие техногенных тепловых осадок.

3.5. При проведении подготовительных и строительных работ должен осуществляться геокриологический контроль, обеспечивающий максимально возможную сохранность естественных условий на трассах и промышленных площадках. Для предотвращения развития техногенного термокарста на участках, где в естественных условиях он не проявляется, необходимо сохранять растительный и почвенный слои. Строительные работы следует по возможности проводить в зимнее или осеннее время (при наличии снежного покрова), чтобы механизмы при передвижении не нарушали растительный покров и верхние слои грунта. Не следует допускать на трассах и стройплощадках накопления снега большой мощности, превышающей критическую (см. п. 3.8). Рекомендуется также обеспечивать на стройплощадках организованный отвод поверхностных вод, способствующих развитию термокарста (на плоских участках) и термоэрозии (на участках, имеющих уклон).

3.6. Наиболее интенсивные изменения геокриологических условий, в том числе развитие техногенного термокарста, имеют место в первые годы после нарушения естественной геокриологической обстановки. Это необходимо учитывать при разработке мероприятий по регулированию термокарста. При проектировании сооружений по II принципу (по СНиП II-18–76) на участках, сложенных сильнольдистыми грунтами, за несколько лет до начала строительства целесообразно произвести предварительную инженерную подготовку территории: удалить почвенно-растительный покров и слой торфа с тем, чтобы вызвать протаивание верхних, наиболее льдистых горизонтов вечномерзлых грунтов, а затем, непосредственно перед началом строительных работ, засыпать образовавшиеся западины грунтом.

3.7. При проектировании инженерных сооружений необходимо учитывать не только потенциальную возможность возникновения техногенного термокарста, но и вероятность воздействия на сооружения мигрирующих термокарстовых форм, представляющих особую опасность.

Миграция термокарстовых озер протекает в пространстве со скоростью до 3–4 м в год, вызывая деформации инженерных сооружений.

3.8. Предварительная количественная оценка допустимых (т.е. не вызывающих развития многолетнего протаивания грунтов и термокарста) наиболее типичных техногенных воздействий – изменения условий снегонакопления и удаления растительного покрова – может проводиться по схематическим картам (рис. 15, 16, 17), составленным на основе аналитических расчетов [15]. На картах приведены значения критической мощности снега ($H_{кр}$), т.е. такой, при которой среднегодовая температура поверхности грунта $t_{ср}$ равна $0^{o}C$ и при превышении которой сезонное протаивание сменяется многолетним; показаны типы грунтовой толщи (до глубины 10 м) и свойственные им потенциальные тепловые осадки [19].

Карты составлены для двух типов сезоннопротаивающих и промерзающих грунтов: суглинка с влажностью 30–35% (коэффициент теплопроводности грунта в талом состоянии $\lambda_{т} = 1{,}39$ Вт/(м·°С), в мерзлом – $\lambda_{м} = 1{,}62$ Вт/(м·°С), теплота фазовых переходов – $Q_{ф} = 104\,700$ кДж/м^3) и торфа ($\lambda_{т} = 0{,}7$ Вт/(м·°С), $\lambda_{м} = 1{,}16$ Вт/(м·°С) $Q_{ф} = 209\,000$ кДж/м^3). Для каждого типа грунта приняты три значения термического сопротивления растительного покрова в теплый $R_{т}$ и в холодный период $R_{м}$: $R_{т} = 0{,}43$ м^2·°С/Вт, $R_{м} = 0{,}26$ м^2·°С/Вт, что соответствует влажному (преимущественно сфагновому) мху; $R_{т} = 0{,}22$ м^2·°С/Вт, $R_{м} = 0{,}18$ м^2·°С/Вт – переувлажненному моховому покрову; $R_{т} = R_{м} = 0$ – напочвенная растительность отсутствует.

При расчете $H_{кр}$ принималось, что коэффициент теплопроводности снега $\lambda_{сн} = 0{,}35$ Вт/(м·°С). При других значениях $\lambda_{сн}$ полученная по картам величина $H_{кр}$ умножается на коэффициент $\lambda_{сн}/0{,}35$. Ориентировочные величины мощности снега в естественных условиях определяются в зависимости от нормы количества снега – $Д_{о}$ [6], показанной изолиниями на картах и графически для различных природных микрорайонов в условных обозначениях к рис. 15.

3.9. Карты (см. рис. 15, 16, 17) носят прогнозный характер и позволяют оценить: допустимое увеличение мощности снега при сохранении растительного покрова; допустимое увеличение мощности снега при удалении растительного покрова; вероятность развития тепловых усадок при удалении растительности; возможные осадки грунта при оттаивании, если $t_{ср}$ перейдет через $0^{o}C$.

Примеры. На северной оконечности п-ва Ямал в ложбинах стока и долинах малых водотоков с мощным переувлажненным моховым покровом ($R_{т} = 0{,}22$ м^{2}х х °С/Вт) в естественных условиях при норме количества снега 15 г/см^2 по графику (см. рис. 15) мощность снежного покрова изменяется от 0,6 до 0,8 м, а $H_{кр}$ на участках, сложенных суглинком, составляет $\approx 1{,}6$ м (рис. 15). Таким образом, для того чтобы $t_{ср}$ повысилась до $0^{o}C$ и создалась возможность развития термокарста, необходимо увеличить мощность снега более чем на 0,8–1 м. Для того же типа природных микрорайонов в районе м. Каменный $H_{кр}$ составляет ≈ 1 м, т.е. необходимое для перехода среднегодовой температуры грунта через $0^{o}C$ увеличение мощности снега сокращается до 0,2–0,4 м. Южнее изолинии $H_{кр} = 0{,}6–0{,}8$ м (широта Яр-Сале, Уренгоя, Красноселькупа) в ложбинах стока, долинах малых водотоков и на других участках с избыточным снегонакоплением отложения будут находиться в талом состоянии, поскольку $H_{кр}$ меньше харак-

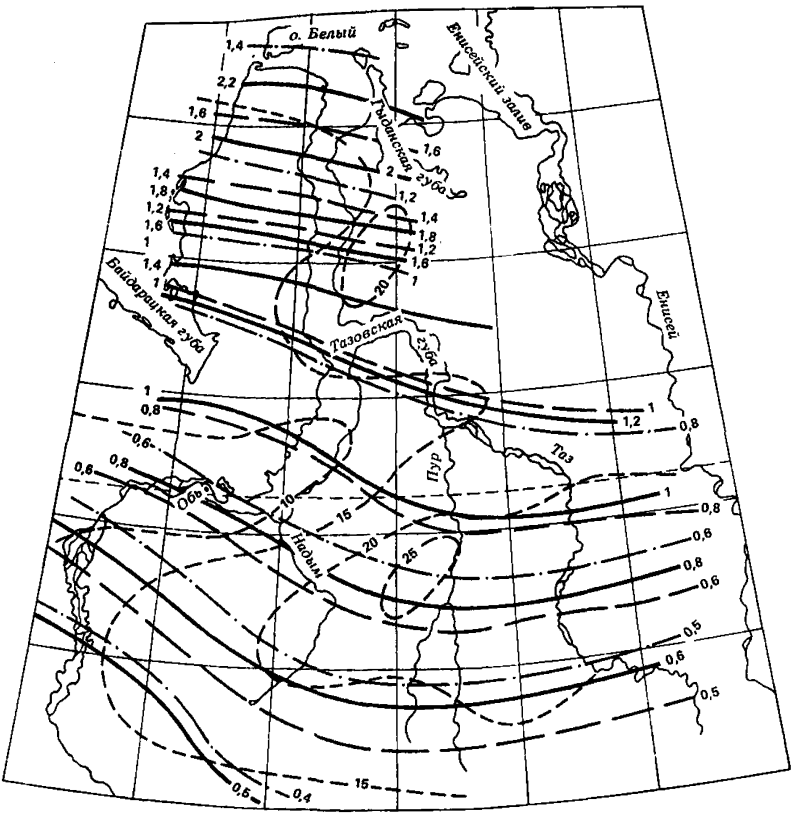
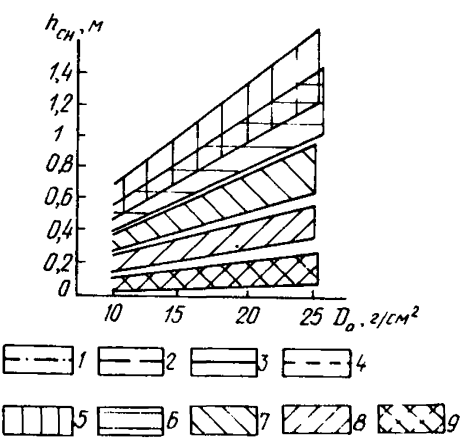


Рис. 15. Критическая мощность снежного покрова (суглинистые грунты) при различном термическом сопротивлении растительного покрова в талом состоянии $R_т$, м²·°С/Вт)

1 – $R_т = 0$; 2 – $R_т = 0{,}22$; 3 – $R_т = 0{,}43$; 4 – норма количества снега $Д_о$, г/см², 5 – 9 – зависимость мощности снега $H_{сн}$, м, в различных типах природных микрорайонов от нормы количества снега $Д_о$; 5 – небольшие залесенные участки на открытых пространствах, наветренные опушки лесов (существенно избыточное снегонакопление); 6 – межбугровые понижения, ложбины стока, долины малых водотоков, высокие поймы с обильной растительностью, опушки лесов (избыточное снегонакопление); 7 – центральные части лесов, вершины залесенных бугров, образующих скопления (нормальное снегонакопление); 8 – плоские торфяники и поверхности с мелкобугристым микрорельефом (недостаточное снегонакопление); 9 – крупнобугристые торфяники, бугры пучения, прибровочные участки террас (существенно недостаточное снегонакопление)



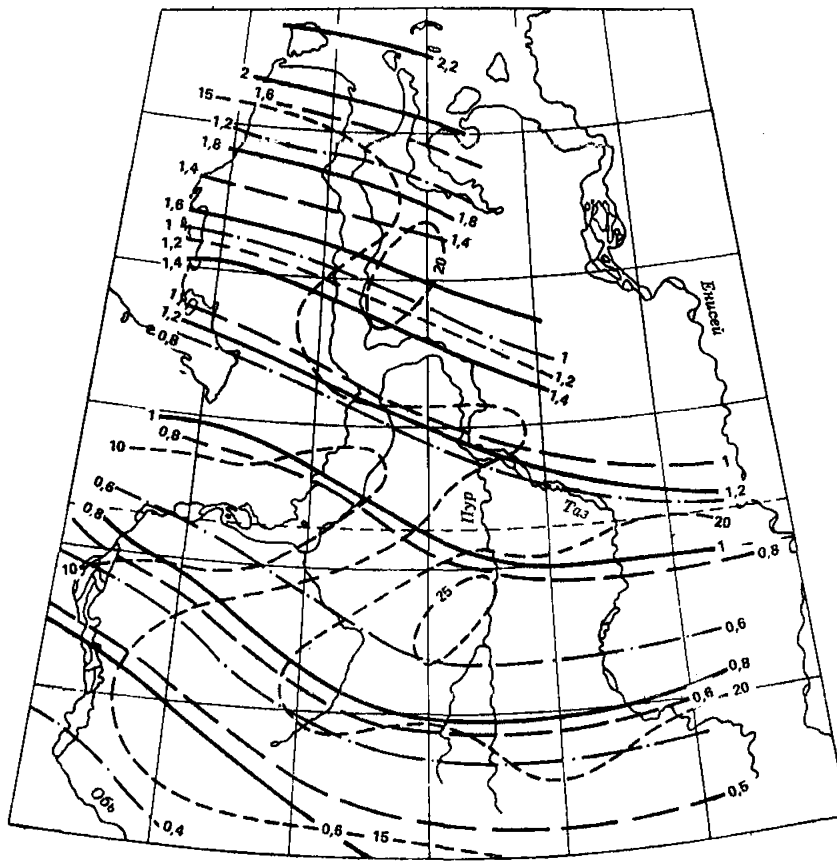


Рис. 16. Критическая высота снежного покрова для торфяных грунтов (условные обозначения см. рис. 15)

терной для этого типа природных микрорайонов мощности снега в естественных условиях.

На плоских торфяниках, согласно графику (см. рис. 15), в естественных условиях мощность снежного покрова (при $Д_0$ = 15 г/см^2) составляет 0,2–0,3 м. В этом типе природных микрорайонов на севере Ямала необходимое увеличение мощности снега до критических величин должно быть не менее 1,3–1,4 м. В районе м. Каменный допустимое увеличение мощности снежного покрова сокращается до 0,7–0,8 м, в районе Яр-Сале, Уренгоя – до 0,4–0,6 м и вблизи южной границы вечномерзлых грунтов – до 0,1–0,3 м. В последнем случае это относительно *небольшое приращение мощности снежного покрова (0,1–0,3 м) может явиться* следствием не только техногенных воздействий, но и естественных ежегодных колебаний количества зимних атмосферных осадков. Данные участки при оценке потенциальной возможности развития техногенного и естественного термокарста следует относить к категории неустойчивых. При этом наиболее неблагоприятными для промышленного освоения, особенно при строительстве тепловыделяющих сооружений, являются участки, сложенные сильнольдистыми суглинками и глинами, суммарная осадка которых при протаивании может превышать 4 м.

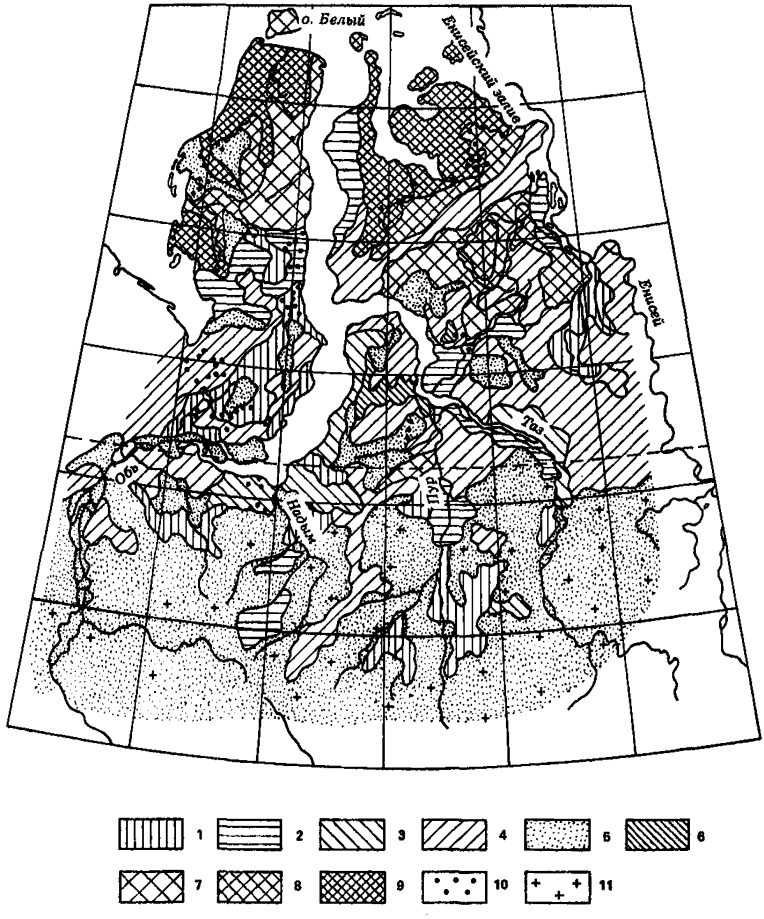


Рис. 17. Тип геологического разреза вечномерзлых грунтов до глубины 10 м и суммарная потенциальная осадка H, м

1 – слабольдистые, преимущественно песчано-супесчаные породы ($H < 0,3$); 2 – сильнольдистые, преимущественно песчано-супесчаные породы, в южной части перекрытые торфом до 2 м ($H = 0,3–1$); 3 – слабольдистые, преимущественно суглинисто-глинистые породы ($H = 0,3–1$); 4 – среднельдистые, преимущественно суглинисто-глинистые породы, в южных районах перекрытые торфом ($H = 1–2$), на участках распространения повторно-жильных льдов (ПЖЛ) суммарная осадка составляет 2–3 м; 5 – сильнольдистые супесчано-песчаные и суглинисто-глинистые породы, в южных районах перекрытые торфом мощностью 2–4 м ($H = 2–4$); 6 – сильнольдистые суглинисто-глинистые породы ($H > 4$); 7 – сильнольдистые, преимущественно песчано-супесчаные и переслаивающиеся песчано-глинистые породы с ПЖЛ мощностью 2–5 м ($H = 1–3$); 8 – сильнольдистые преимущественно суглинисто-глинистые породы, перекрытые торфом до 2 м, с ПЖЛ мощностью 2–5 м ($H = 3–5$); 9 – сильнольдистые суглинисто-глинистые породы с ПЖЛ мощностью до 6–12 м ($H > 5$); 10 – переслаивающиеся песчано-глинистые породы, вмещающие залежи пластовых льдов, залегающих близ поверхности (катастрофические осадки при протаивании); 11 – отдельные небольшие массивы вечномерзлых грунтов, сложенных преимущественно песками, перекрытыми торфом мощностью до 2–4 м ($H < 0,5$)

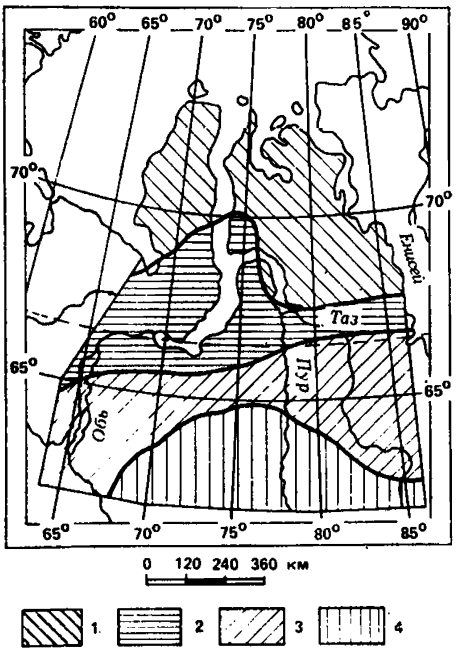


Рис. 18. Карта районирования севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста при удалении растительного покрова.
1 – 4 – номера зон

Величина $H_{кр}$ существенно зависит от характера напочвенного покрова и уменьшается при его удалении. Так, для района м. Каменный на участках плоских торфяников с увлажненным моховым покровом ($R_т$ = 0,43 м^2 · °С/Вт) $H_{кр} \approx$ 1,2 м (см. рис. 16). В естественных условиях в пределах этого типа природных микрорайонов (см. рис. 15) при $Д_о$ = 15 г/см^2 мощность снежного покрова равна 0,2–0,3 м, т.е. для того чтобы $t_{ср}$ достигла 0°С, необходимо увеличить мощность снега на 0,9–1,0 м. При удалении мохового покрова $H_{кр}$ сократится до 0,8 м и будет превышать естественную мощность на 0,5–0,6 м. Таким образом, удаление напочвенной растительности не приведет к многолетнему протаиванию отложений, а будет способствовать повышению их среднегодовой температуры в области отрицательных значений.

В 100–150 км к югу от г. Тарко-Сале $H_{кр}$ сокращается на торфяниках с аналогичным моховым покровом до 0,7 и до 0,5 м – при его удалении. В естественных условиях при $Д_о$ = 25 г/см^2 мощность снега составляет 0,4–0,6 м (см. рис. 15), т.е. превышает критическую величину $H_{кр}$ на поверхности, лишенной растительности. Таким образом, в этом районе удаление растительности, при сохранении естественного снежного покрова, приведет к переходу $t_{ср}$ через 0°С и началу развития термокарста. При протаивании слабольдистых преимущественно песчано-супесчаных грунтов на глубину 10 м здесь возможна осадка поверхности до 0,3 м, а при протаивании сильнольдистых суглинисто-глинистых грунтов, перекрытых торфом, – до 2–4 м (см. рис. 17).

3.10. Для предварительной оценки потенциальной возможности развития термокарста при удалении растительного покрова (поверхность не обводнена) следует пользоваться картой, приведенной на рис. 18.

В 1-й зоне (северной) удаление напочвенного растительного покрова не приведет к развитию многолетнего протаивания и термокарста даже на участках с избыточным снегонакоплением (ложбины стока, межбугровые понижения, долины малых водотоков и др.).

Во 2-й зоне удаление напочвенной растительности может привести к развитию многолетнего протаивания и термокарста лишь на участках с избыточным и существенно избыточным снегонакоплением (ложбины стока, межбугровые понижения, опушки лесов и др.).

В 3-й зоне развитие многолетнего протаивания и термокарста при удалении напочвенной растительности потенциально возможно на участках с нормальным снегонакоплением (возвышенные залесенные поверхности). На участках с недостаточным снегонакоплением (торфяники, минеральные поверхности с мелкобугристым микрорельефом) удаление растительного покрова не вызовет многолетнего протаивания грунтов, а участки с избыточным снегонакоплением в этой зоне характеризуются, как правило, отсутствием вечномерзлых грунтов с поверхности.

В 4-й зоне (южной) удаление растительного покрова приведет к развитию многолетнего протаивания и тепловых осадок на всех участках, где распространены вечномерзлые грунты (торфяники и бугры пучения).

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕКРАЩЕНИЮ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ И РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТА

3.11. Регулирование процесса многолетнего протаивания грунтов производится с помощью мероприятий водно-тепловой мелиорации. Выбор этих мероприятий, оценка их эффективности и экономичности в каждом конкретном случае производятся с учетом типа инженерного сооружения, на основе знания закономерностей развития сезонно- и вечномерзлых пород. При этом особое значение имеет изучение льдистости и криогенного строения грунтов, поскольку скорость развития термокарста во многом определяется количеством и характером распределения льда в грунте.

3.12. Для уменьшения скорости или полного прекращения многолетнего протаивания вечномерзлых грунтов рекомендуется проводить следующие мероприятия:

уменьшение мощности, увеличение плотности снежного покрова или его удаление;

затенение поверхности (насаждение деревьев, кустарников, устройство навесов);

создание теплоизоляционных покрытий из высокопористых материалов;

создание насыпей и подсыпок;

дренирование поверхности, устройство организованного водоотвода.

3.13. Обоснование целесообразности применения того или иного из перечисленных мероприятий и выбор количественных значений параметров, которые способствуют прекращению процесса многолетнего протаивания (оптимальной мощности и плотности снега, высоты подсыпок и насыпей, материала и толщины теплоизоляционных покрытий и т.д.) производятся на основе специальных теплофизических расчетов, выполняемых по аналитическим формулам [10, 14, 16] путем математического или аналогового моделирования.

3.14. Для приближенных оценок критических (т.е. не препятствующих многолетнему протаиванию отложений) соотношений некоторых параметров, определяющих возможность оттаивания и промерзания грунтов, целесообразно использовать методику Ю.Л. Шура [8], основанную на положении, что при среднегодовой температуре грунта, равной $0^{\circ}C$, глубина сезонного протаивания равна глубине сезонного промерзания. Глубина сезонного промерзания грунта $H_{пр}$ при $0^{\circ}C$ равна

$$H_{пр} = 1{,}2\ (\sqrt{2\lambda_м \Sigma t_x \cdot 720 \cdot 3{,}6/Q_ф + R_з^2 \lambda_м^2} - R_з \lambda_м). \quad (1)$$

Аналогично определяется глубина сезонного протаивания $H_{от}$

$$H_{от} = \sqrt{2\lambda_т \Sigma t^т \cdot 720 \cdot 3{,}6/Q_ф + R_л^2 \lambda_т^2} - R_л \lambda_т, \quad (2)$$

где $\lambda_м$ и $\lambda_т$ – соответственно коэффициенты теплопроводности мерзлого и талого грунта, Вт/(м · °С); Σt_x и $\Sigma t^т$ – соответственно суммы среднемесячных температур поверхности изоляции в теплый и холодный периоды, °С; $Q_ф$ – теплота фазовых переходов, кДж/м^3; $R_з$ и $R_л$ – суммарное термическое сопротивление изоляции соответственно в зимний и летний периоды, м^2 · °С/Вт.

3.15. Термическое сопротивление изоляции R определяется из соотношения

$$R = h/\lambda, \quad (3)$$

где h – средняя толщина теплоизоляции, м; λ – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м · °С).

В холодный период $R_з$ складывается из термического сопротивления снега $R_{сн}$, напочвенной растительности в мерзлом состоянии $R_м$ и искусственного покрытия в зимний период $R_{из}^{м}$. В теплый период $R_л$ складывается из термического сопротивления напочвенной растительности в талом состоянии $R_т$ и искусственного покрытия в летний период $R_{из}^{т}$. Обобщенные значения теплофизических свойств наиболее типичных мохово-лишайниковых покровов, которые могут быть использованы в прогнозных расчетах, приведены в табл. 2.

3.16. Коэффициент теплопроводности снега $\lambda_{сн}$, необходимый для расчета его термического сопротивления, определяется по формуле в зависимости от плотности снега $\rho_{сн}$, кг/м^3,

$$\lambda_{сн} = 0{,}021 + 1{,}01 \cdot 10^{-3} \rho_{сн}. \quad (4)$$

При отсутствии экспериментальных данных о плотности снега значение $R_{сн}$ может быть определено в зависимости от мощности снега $H_{сн}$ по рис. 5.

Суммы температур поверхности изоляции в теплый и холодный периоды, продолжительность теплого периода, используемые в формулах (1) и (2), определяются по рис. 19.

3.17. Совместное решение уравнений (1) и (2) при $H_{пр} = H_{от}$ позволяет определить для любого вида грунта количественные значения параметров, которые будут способствовать прекращению многолетнего протаивания грунта:

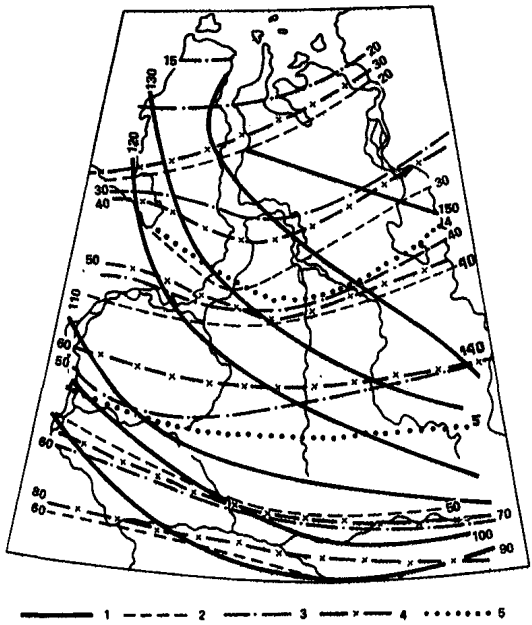


Рис. 19. Карта верхних граничных условий

1 2 – сумма среднемесячных температур воздуха соответственно холодного Σt_* – теплого Σt_1^T периодов; 3 – сумма среднемесячных температур оголенной поверхности почвы Σt_2^T; 4 – сумма среднемесячных температур поверхности почвы при максимальном прогреве Σt_3^T; 5 – продолжительность теплого периода $\tau_л$

необходимое сокращение, высоты снежного покрова;

сокращение сумм температур поверхности почвы при ее затенении в летнее время;

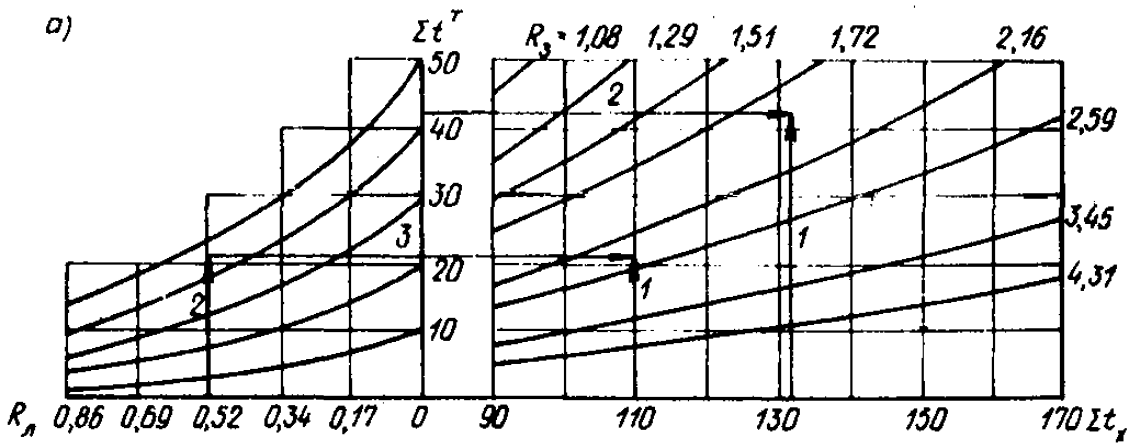
толщину теплоизолирующего слоя (при заданном коэффициенте теплопроводности изоляции, $\lambda_{из}$). Для некоторых типов грунтов по уравнениям (1) и (2) составлены номограммы (рис. 20).

3.18. Наиболее эффективно для прекращения многолетнего протаивания грунтов применение покрытий из искусственных материалов. Эти покрытия дорогостоящие, поэтому целесообразно использовать их для локализации, приостановки термокарста только на участках, наиболее опасных для устойчивости сооружений. Особенно перспективны с точки зрения технологии применения и экономической эффективности высокопористые полистироловые материалы и незамерзающие пены. Пенопласты характеризуются значительной механической прочностью, небольшой массой, высокой морозостойкостью, плохой теплопроводностью. Значения коэффициентов теплопроводности некоторых органических теплоизоляционных материалов, Вт/(м·°С), приведены ниже:

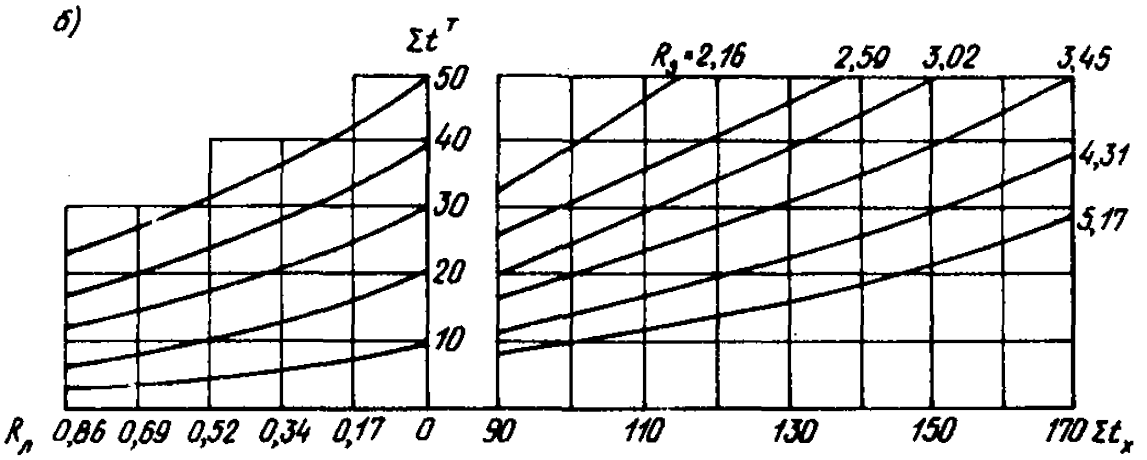
пенопласты:

ПС-1	**0,038**
ПС-4	**0,029**
ПСБ	**0,030**
ПхВ-1, ПхВ-2	**0,41**
пенополиуретаны:	
жесткий	**0,040**
эластичный	**0,031**

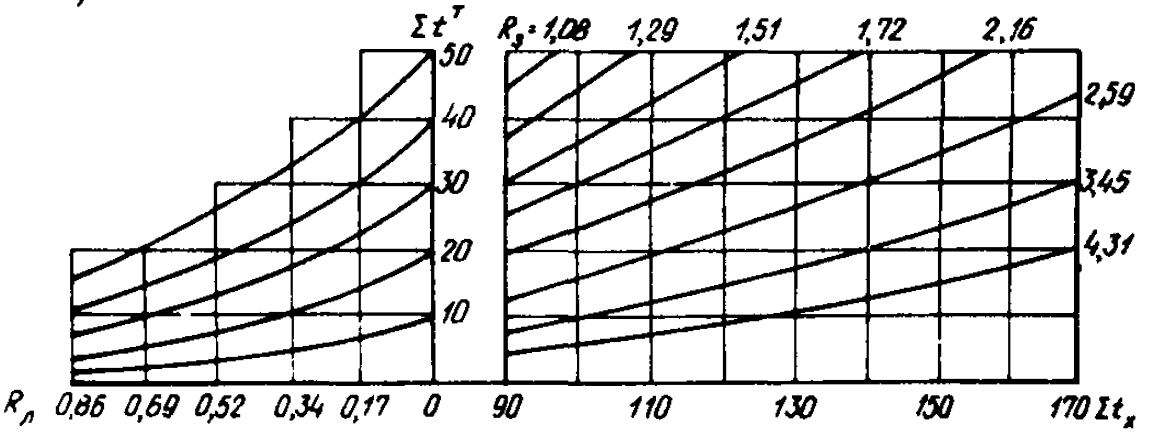
а)


$\Sigma t^{т}$
$R_э$ = 1,08 1,29 1,51 1,72 2,16
50
40
30
20
10
2,59
3,45
4,31
1
2
3
$R_п$ 0,86 0,69 0,52 0,34 0,17 0 90 110 130 150 170 $\Sigma t_х$

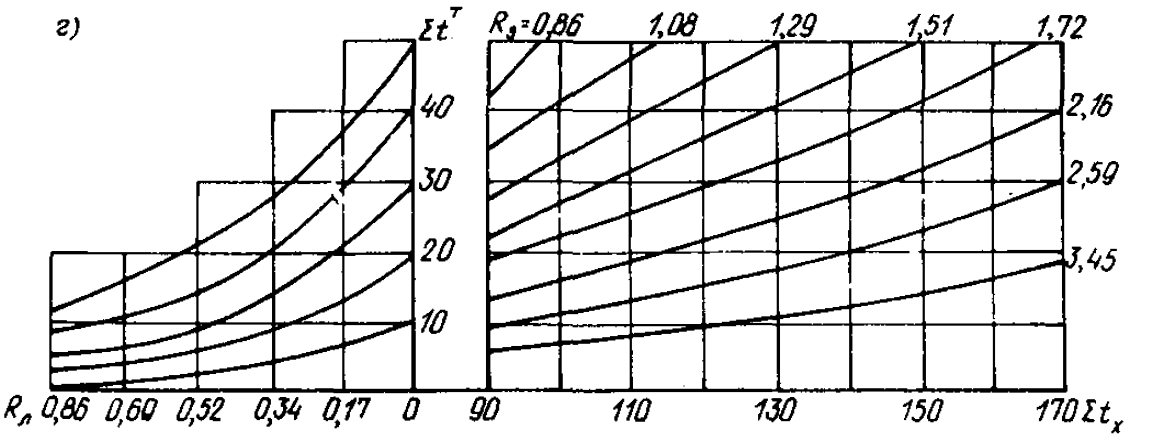
б)


$\Sigma t^{т}$
$R_э$ = 2,16 2,59 3,02 3,45
50
40
30
20
10
4,31
5,17
$R_п$ 0,86 0,69 0,52 0,34 0,17 0 90 110 130 150 170 $\Sigma t_х$

в)


$\Sigma t^{т}$
$R_э$ = 1,08 1,29 1,51 1,72 2,16
50
40
30
20
10
2,59
3,45
4,31
$R_п$ 0,86 0,69 0,52 0,34 0,17 0 90 110 130 150 170 $\Sigma t_х$

г)


$\Sigma t^{т}$
$R_э$ = 0,86 1,08 1,29 1,51 1,72
40
30
20
10
2,16
2,59
3,45
$R_п$ 0,86 0,60 0,52 0,34 0,17 0 90 110 130 150 170 $\Sigma t_х$

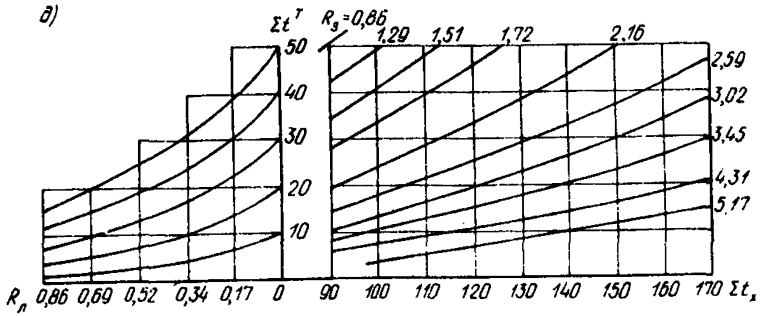


Рис. 20. Номограммы для определения критических соотношений $\Sigma t_1^{т}$, $\Sigma t_х$, $R_з$, $R_л$ *а – суглинок,* $Q_ф = 104\ 700$ *кДж/м*^{3}, $\lambda_т = 1{,}39$ *Вт/(м·°С); б – суглинок,* $Q_ф = 41\ 870$ *кДж/м*^{3}; $\lambda_т = 1{,}39$ *Вт/(м·°С);* $\lambda_м = 1{,}62$ *Вт/(м·°С); в – песок,* $Q_ф = 62\ 800$ *кДж/м*^{3}, $\lambda_т = 2{,}09$ *Вт/(м·°С);* $\lambda_м = 2{,}32$ *Вт/(м·°С); г – песок,* $Q_ф = 104\ 700$ *кДж/м*^{3}; $\lambda_т = 2{,}09$ *Вт/(м·°С);* $\lambda_м = 2{,}32$ *Вт/(м·°С); д – торф,* $Q_ф = 209\ 350$ *кДж/м*^{3}; $\lambda_т = 0{,}7$ *Вт/(м·°С);* $\lambda_м = 1{,}16$ *Вт/(м·°С)*

Пены могут быть получены непосредственно на месте с помощью пеногенераторов простых конструкций [7],

Наибольший эффект достигается, когда теплоизоляционные покрытия используют только в теплый период, и перед установлением устойчивых отрицательных температур удаляют с поверхности.

3.19. Покрытия из естественных материалов, применяемые для уменьшения глубины сезонного и многолетнего протаивания, также достаточно эффективны. В качестве теплоизолирующего материала могут быть использованы бревенчатые настилы, торф, дерн, мохово-лишайниковые покровы. Так, на севере Западной Сибири бревенчатый настил с заделкой щелей мхом уменьшил глубину сезонного протаивания на нарушенных участках с 0,5– 0,8 до 0,1– 0,15 м [7].

В районе р. Пунги, близ южной границы распространения вечномерзлых грунтов, глубина сезонного протаивания на участке настила (спиленные стволы деревьев, дерн) за один летний сезон уменьшилась вдвое (с 0,8 до 0,4 м).

3.20. Отсыпку нижней части насыпи (0,5– 0,7 м) следует производить зимой с тем, чтобы сохранить теплоизолирующий мохово-растительный покров, а досыпку насыпи до проектной величины летом. При строительстве насыпи в летний период отсыпку следует производить "пионерным" способом. Рекомендуется применение суглинистого экрана среди песчаной подсыпки для уменьшения отепляющего воздействия теплых летних осадков.

3.21. Толщина подсыпки $H_{под}$, м, предотвращающая развитие термокарста или способствующая его полному прекращению, может быть найдена по формуле [24]

$$H_{под} = -H_{ест}\lambda_2^{т}/(AB\lambda_1^{т}) + \sqrt{(H_{ест}\lambda_2^{т}/AB\lambda_1^{т})^2 - 2H_{ест}\lambda_2^{т}R_{из}^{т}/(AB)} - \longrightarrow$$

$$- H_{ест}/(AB) + \tau_{л} \cdot 720 \cdot 3{,}6/A, \qquad (5)$$

где $H_{ест}$ – глубина сезонного протаивания грунта в естественных условиях, м; λ_1^T, λ_2^T – коэффициенты теплопроводности талого грунта соответственно отсыпки и сезонно-протаивающего слоя, Вт/(м · °С), где $A = Q_{ф1}\tau_{л}/(2\lambda_1^T \Sigma t^T)$; $B = 2\lambda_2^T \Sigma t^T / (Q_{ф2}\tau_{л})$; $R_{из}^T$ – термическое сопротивление теплоизоляции на поверхности насыпи в летний период, м² · °С/Вт; $\tau_{л}$ – продолжительность теплого периода, мес (определяется по рис. 19); $Q_{ф1}$, $Q_{ф2}$ – теплота фазовых переходов соответственно в грунтах отсыпки и сезоннопротаивающего слоя, кДж/м³.

3.22. Критическую глубину водоема, меньше которой начнется промерзание донных отложений, в первом приближении определяется по методике В.А. Кудрявцева[10]

$$H_{кр}^{в} = H_{max}^{л} \ (1 + t_{max}^{в}/t_{min}^{л}), \qquad (6)$$

где $H_{кр}^{в}$ – критическая глубина водоема, м; $t_{max}^{в}$ и $t_{min}^{л}$ – соответственно среднемесячная температура поверхности воды (максимальная) и льда (минимальная), °С; $H_{max}^{л}$ – максимальная мощность льда в глубоких, не промерзавших до дна, водоемах, м.

Значение $H_{max}^{л}$ определяется либо экспериментально, либо рассчитывается по формуле (1) при $R_{из}^{м}$ и $R_{м}$, равным 0 и коэффициенте теплопроводности льда $\lambda_{л} = 2{,}32$ Вт/(м · °С), $Q_{ф} = 334\,500$ кДж/м³. По формуле (6) составлены номограммы (рис. 21). Для единообразия в исходных данных, необходимых для расчетов, значения $t_{max}^{в}$ и $t_{min}^{л}$ выражены через суммы градусо-месяцев теплого и холодного периодов и среднегодовую температуру поверхности водоема, которую в первом приближении допускается принимать равной среднегодовой температуре поверхности грунта, лишенного растительного покрова $t_{ср}$. Последняя рассчитывается по общепринятым методикам [10, 20, 26]. Значение $\tau_{л}$ определяется по рис. 19.

Схема расчета параметров, необходимых для количественного обоснования мероприятий по предотвращению или прекращению многолетнего протаивания, приведена в табл. 9.

3.23. Особенно сложно предотвратить многолетнее протаивание на высокольдистых торфяниках, где техногенный термокарст проявляется весьма активно. Для предотвращения или стабилизации техногенного термокарста и термоэрозии на этих участках необходимо проводить инженерную подготовку территории. Планировка поверхности должна производиться в зимнее время. Термокарстовые понижения, а также полигональные трещины следует засыпать дерном, мхом и торфом. Регулируя толщину слоя такой отсыпки, можно предотвратить протаивание льдистых грунтов в летнее время.

3.24. Примеры количественного обоснования мероприятий по предотвращению или прекращению многолетнего протаивания грунтов (районы г. Новый Уренгой и пос. Нум-То).

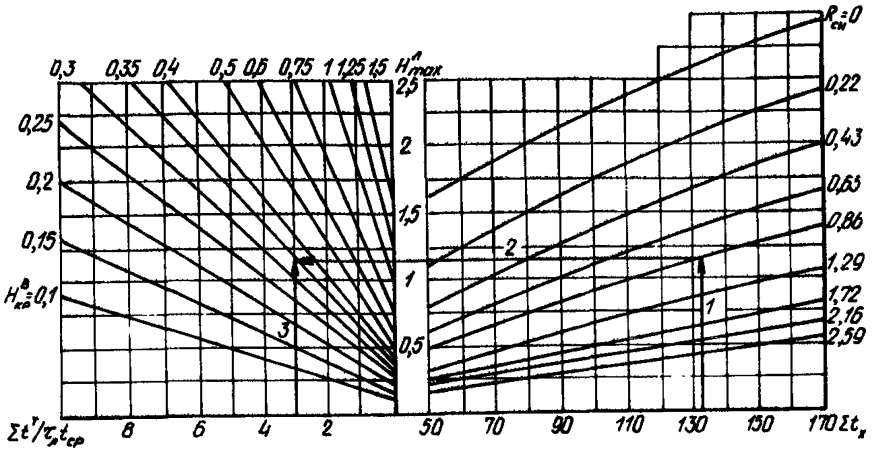


Рис. 21. Номограмма для расчета критической глубины водоемов

г. Новый Уренгой. По рис. 19 находим, что сумма температура воздуха холодного периода $\Sigma t_{х} = 132^{\circ}C$, сумма температур воздуха теплого периода $\Sigma t_1^{т} = 38^{\circ}C$, оголенной поверхности грунта $\Sigma t_2^{т} = 42^{\circ}C$, поверхности оголенного грунта при максимальном летнем прогреве $\Sigma t_3^{т} = 50^{\circ}C$, продолжительность летнего периода $\tau_{л} = 4{,}1$ мес. Среднегодовая температура поверхности грунтов в естественных условиях, по данным натурных наблюдений, составляет минус $3^{\circ}C$.

пос. Нум-То. По рис. 19 находим, что $\Sigma t_{х} = 110^{\circ}C$, $\Sigma t_1^{т} = 47^{\circ}C$, $\Sigma t_2^{т} = 52^{\circ}C$; $\Sigma t_3^{т} = 65^{\circ}C$, продолжительность летнего периода $\tau_{л} = 5$ мес. Среднегодовая температура грунтов в естественных условиях равна минус $0{,}1^{\circ}C$.

Участки сложены идентичными суглинистыми грунтами с влажностью 35–40%; $\lambda_{т} = 1{,}39$ Вт/(м · °С), $\lambda_{м} = 1{,}62$ Вт/(м · °С), $Q_{ф} = 104\,700$ кДж/м^3. В естественных условиях на поверхности развит слабоувлажненный моховой покров, теплофизические характеристики которого по табл. 2 равны $R_{м} = 0{,}43$ м^2 · °С/Вт, $R_{т} = 0{,}52$ м^2 · °С/Вт. Средняя мощность снежного покрова в естественных условиях равна 0,5 м, термическое сопротивление при этой мощности снега (см. рис. 5) составляет 1,51 м^2 · °С/Вт.

Следует определить: необходимое для прекращения многолетнего протаивания грунтов уменьшение мощности снега при удаленном растительном покрове; эффект затенения поверхности; необходимое уменьшение глубины искусственных водоемов; термическое сопротивление теплоизоляционных покрытий, используемых только в летнее время, либо круглогодично; мощность слоя насыпного грунта.

1. Уменьшение мощности снега. Район г. Новый Уренгой. В рассматриваемом примере техногенное многолетнее протаивание грунтов началось в результате увеличения средней мощности снега до 0,75 м ($R_{сн} = 2{,}16$ м^2 · °С/Вт) при $\Sigma t_{х} = 132\ ^{\circ}C$, $\Sigma t^{т} = \Sigma t_2^{т} = 42^{\circ}C$, $R_{т} = R_{м} = 0$ и грунтовых условиях, приведенных выше, по номограмме рис. 20, *а* получаем значение $R_{з} = 1{,}9$ м^2 · °С/Вт; по-

Таблица 9

Мероприятия	Исходные данные для расчета	Рекомендуемая методика расчета	Эффективность мероприятия
Уменьшение мощности снежного покрова	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $R_м$, $R_т$, $R^м_{из}$, $R^т_{из}$	Определение критического термического сопротивления снега ($R_{кр}$) по формулам (1), (2) или рис. 20; $R_{кр} = R_з - R_м - R_{из}$	При $R_{сн} < R_{кр}$
Затенение поверхности	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $R_з$, $R_л$	Определение $\Sigma t^т$ по формулам (1), (2) или рис. 20	При $\Sigma t^т_1 < \Sigma t^т$
Уменьшение глубины водоемов	$\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $\tau_л$, $t_{ср}$, $R_{сн}$, $t^в_{max}$, $t^л_{min}$, $H^л_{max}$	Определение $H^в_{кр}$ по формуле (6) или рис. 21 при $\Sigma t^т = \Sigma t^т_1$	При глубине водоема меньше $H^в_{кр}$
Создание теплоизоляционных покрытий	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $R_м$, $R_т$, $R_{сн}$	Определение $R^т_{из}$ и $R^м_{из}$ по формулам (1), (2) при $\Sigma t^т = \Sigma t^т_1$ а) если теплоизоляционное покрытие уложено в течение всего года $R^т_{из}$ и $R^м_{из}$ используется при расчете $H_{пр}$, $H_{от}$; б) если теплоизоляция уложена только в летний период при расчете $H_{пр}$ используют $R^т_{из} = 0$	При $R_{из}$, превышающим рассчитанную по формулам (1), (2)
Создание подсыпок, насыпей	$H_{ест}$, $\lambda^т_1$, $\lambda^т_2$, $Q_ф$, $Q_{ф2}$, $\Sigma t^т$, $\tau_л$, $R^т_{из}$	Определение $H_{под}$ по формуле (5) при $\Sigma t^т = \Sigma t^т_2$	При $H_{под}$, превышающей рассчитанную по формуле (5)

скольку $R_т = R_м = 0$, а искусственная теплоизоляция отсутствует $R_з = R_{кр}$. По рис. 5 определяем: при $R_{кр} = 1,9$ его критическая мощность равна 0,7 м, т.е. при $H_{сн} < 0,7$ м начнется многолетнее промерзание отложений.

Район пос. Нум-То. Многолетнее протаивание грунтов началось при удалении растительного покрова и сохранении естественной мощности снега. При $\Sigma t_х = 110^{\circ}C$, $\Sigma t^т = \Sigma t_2^т = 52^{\circ}C$; $R_т = R_м = 0$ по номограмме рис. 20, *а* получаем $R_з = R_{кр} = 1,25$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт; при этом значении $R_{кр}$ по рис. 5 получим $H_{кр} = 0,43$ м, т.е. при мощности снега менее 0,43 м на участке с удаленным растительным покровом начнется многолетнее промерзание сформировавшегося талика.

2. Затенение поверхности. Район г. Новый Уренгой. При мощности снега 0,75 м $R_{сн} = 2,16$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт, $\Sigma t_х = 132^{\circ}C$, $R_л = 0$ получаем значение $\Sigma t^т = 34^{\circ}C$. Сумма температур воздуха теплого периода в районе $\Sigma t_1^т = 38^{\circ}C$. Таким образом, полученная расчетом $\Sigma t^т < \Sigma t_1^т$, т.е. для достижения эффективности применения метода необходимо охлаждать поверхность грунта летом до температур меньших, чем температуры воздуха. Очевидно, что без применения искусственного охлаждения, только путем затенения поверхности добиться этого нельзя.

Этот метод в данном случае не эффективен.

3. Уменьшение глубины искусственных водоемов. В результате техногенных нарушений образовался искусственный водоем глубиной 0,6 м, средняя мощность снега на поверхности льда зимой составляет 0,2 м ($R_{сн} = 0,86$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт). Для района г. Новый Уренгой при $\Sigma t_х = 132^{\circ}C$, $\Sigma t_1^т = 38^{\circ}C$, $R_{сн} = 0,86$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт определяем, что значение среднегодовой температуры на поверхности водоема равно минус 3°С [26]. При $\tau_л = 4,1$ мес значение $\Sigma t_1^т / \tau_л | t_{ср}|$ равно: 38/4,1 [–3] = 3,1; по рис. 21 находим, что критическая глубина водоема $H_{кр}^в = 0,33$ м. Таким образом, при глубине водоема менее 0,33 м начнется промерзание донных отложений.

4. Создание теплоизоляционных покрытий. Термическое сопротивление теплоизоляции определяется из уравнений (1) и (2). Район г. Новый Уренгой. $\Sigma t_х = 132^{\circ}C$, $\Sigma t_2^т = 42^{\circ}C$, $R_{сн} = 2,16$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт, $\lambda_т = 1,39$ Вт/(м $\cdot {}^{\circ}$С), $\lambda_м = 1,62$ Вт/(м $\cdot {}^{\circ}$С), $Q_ф = 104\ 700$ кДж/м^3. Термическое сопротивление теплоизоляции в летний и зимний период постоянно $R_{из}^т = R_{из}^м = R_{из}$. Глубины сезонного промерзания и протаивания, если теплоизоляционное покрытие уложено в течение всего года, равны

$$H_{пр} = 1,2\left[\sqrt{2 \cdot 1,62 \cdot 132 \cdot 720 \cdot 3,6 / 104\ 700 + (R_{из} + 2,16)^2 \cdot 1,62^2} - 1,62(R_{из} + 2,16)\right];$$

$$H_{от} = \sqrt{2 \cdot 1,39 \cdot 42 \cdot 720 \cdot 3,6 / 104\ 700 + R_{из}^2 \cdot 1,39^2} - R_{из} \cdot 1,39.$$

Задаем произвольные значения $R_{из}$, равные 0; 0,17; 0,26 м$^2 \cdot$ С/Вт и получаем следующие значения $H_{пр}$ и $H_{от}$:

$R_{из}$, м$^2 \cdot {}^{\circ}$С/Вт	$H_{пр}$, м	$H_{от}$, м
0	1,54	1,7

$R_{из}$, м² · °С/Вт	$H_{пр}$, м	$H_{от}$, м
0,17	1,46	1,48
0,26	1,42	1,38

По результатам расчетов строим график зависимости $H_{пр}$ и $H_{от}$ от $R_{из}$ (рис. 22). Точке пересечения кривых соответствует искомое значение $R_{из}$. В данном случае $H_{пр} = H_{от} = 1{,}44$ м при $R_{из} = 0{,}2$ м² · °С/Вт, т.е. при термическом сопротивлении теплоизоляции больше 0,2 м² · °С/Вт будет происходить многолетнее промерзание отложений.

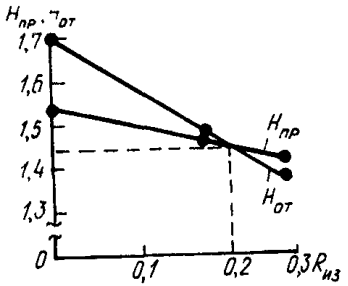


Рис. 22. Зависимость глубины сезонного промерзания $H_{пр}$ и оттаивания $H_{от}$ от термического сопротивления теплоизоляции $R_{из}$

В том случае, когда теплоизоляция уложена только в летний период, при расчете $H_{пр}$ принимается значение $R_{из} = 0$. Критическое сопротивление теплоизоляции определяется аналогично приведенному выше примеру: $H_{пр} = H_{от} = 1{,}54$ м при $R_{из} = 0{,}12$ м² · °С/Вт.

5. Отсыпка насыпи Расчет мощности слоя насыпного грунта производится по формуле (5). Предполагается отсыпка из песчаного грунта с $Q_ф = 20\,900$ кДж/м³, $\lambda_1^T = 2{,}32$ Вт/(м · °С) теплоизоляция на поверхности насыпи отсутствует $R_{из}^T = 0$.

Для района пос. Нум-То глубина сезонного оттаивания грунтов в естественных условиях по формуле (2) при $\Sigma t_1^T = 47$°С, $R_т = 0{,}52$ м² · °С/Вт равна:

$$H_{ест} = \sqrt{2 \cdot 1{,}39 \cdot 47 \cdot 720 \cdot 3{,}6/104\,700 + 0{,}52^2 \cdot 1{,}39^2} - 0{,}52 \cdot 1{,}39 = 1{,}22 \text{ м}.$$

Толщина насыпного грунта равна:

$$H_{под} = -1{,}22 \cdot 1{,}39/(AB \cdot 2{,}32) + \sqrt{[\,1{,}22 \cdot 1{,}39/(AB \cdot 2{,}32)\,]^2 - 1{,}22/(AB) + \cdots \rightarrow}$$

$$\leftarrow \cdots + 5 \cdot 720 \cdot 3{,}6/A} = 1{,}45 \text{ м},$$

где $A = 20\,900 \cdot 5/(2 \cdot 2{,}32 \cdot 52) = 433{,}107$; $B = 2 \cdot 1\,39 \cdot 52/(104\,700 \cdot 5) =$

$= 2{,}761 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, для предотвращения развития многолетнего протаивания или приостановки этого процесса толщина насыпи должна быть не менее 1,45 м.

МЕРОПРИЯТИЯ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ И СТИМУЛИРУЮЩИЕ МНОГОЛЕТНЕЕ ПРОТАИВАНИЕ ГРУНТОВ

3.25. Для увеличения скорости многолетнего протаивания грунтов (вплоть до полного протаивания льдистого горизонта) и интенсификации термокарста рекомендуются следующие мероприятия:

увеличение мощности снега до критической, т.е. до величины, обеспечивающей переход сезонного протаивания в многолетнее;

снятие растительного и почвенного покровов;

уменьшение затененности поверхности;

создание искусственных покрытий и пленок;

создание искусственных водоемов, глубина которых превышает критическую, т.е. обеспечивающую формирование положительной температуры донных отложений;

послойное удаление оттаявшего грунта;

применение дополнительных источников тепла (электрогрелки, парооттайка, гидрооттайка и др.).

3.26. Различные мероприятия оказывают на регулируемый процесс не только прямое, но и косвенное воздействие. Снятие растительного и почвенного покровов являющихся теплоизоляционным слоем, вызывает повышение температуры грунтов вследствие не только увеличения теплоприхода через поверхность в летний период, но и вследствие высоты снежного покрова; создание насыпей помимо воздействия на температуру грунтов уменьшает высоту снежного покрова и т.д.

Эффективность влияния различных мероприятий на сезонное и многолетнее протаивание грунтов неодинакова в геокриологических зонах Западной Сибири, характеризующихся различными среднегодовыми температурами вечномерзлых грунтов. Например, снятие растительного покрова вызывает увеличение глубины сезонного протаивания в северной части региона в среднем на 10% (по сравнению с естественными условиями), а в южной эта величина возрастает до 40%.

3.27. Мероприятия, предусматривающие использование дополнительных источников тепла, являются наиболее быстродействующими, но дорогостоящими. Эффективность применения существующих методов оттаивания вечномерзлых грунтов в каждом конкретном случае определяется инженерно-геокриологическими условиями участка и климатическими особенностями. В районах, характеризующихся континентальным климатом, с высоким уровнем солнечной радиации в летнее время целесообразно для протаивания вечномерзлых грунтов применять методы, основанные на использовании тепла солнечной радиации. В районах, где верхние горизонты вечномерзлых грунтов сложены преимущественно крупнодисперсными грунтами, наиболее эффективны методы оттаивания, связанные с использованием тепла фильтрующихся вод, и т.д.

3.28. Технология проведения работ при послойном удалении грунта, тепло- и энергозатраты при использовании дополнительных источников тепла (электрогрелки, паровое иглооттаивание, гидрооттаивание и др.) определяются специальными теплотехническими расчетами [10, 14, 16] в настоящих рекомендациях не рассматриваются.

3.29. Для приближенных оценок целесообразности удаления растительного и почвенного слоев, уменьшения затененности поверхности, определения крити-

Таблица 10

Мероприятия	Исходные данные для расчета	Рекомендуемая методика расчета	Эффективность мероприятия
Увеличение мощности снега	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $R_м$, $R_т$, $R^т_{из}$, $R^т_{из}$	Определение критического термического сопротивления снега ($R_{кр}$) по формулам (1), (2) или рис. 20; $R_{кр} = R_з - R_м - R^м_{из}$. При сохранении напочвенного растительного покрова $\Sigma t^т = \Sigma t^т_1$; при его удалении $\Sigma t^т = \Sigma t^т_2$	При $R_{сн} > R_{кр}$
Удаление растительного покрова	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $R_{сн}$, $R^м_{из}$, $R^т_{из}$	Определение критического термического сопротивления снега ($R_{кр}$) по формулам (1), (2) или рис. 20 при $R_м = R_т = 0$	При $R_{сн}$ в естественных условиях, превышающих $R_{кр}$
Уменьшение затененности поверхности	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $R_з$, $R_л$	Определение $\Sigma t^т$ по формулам (1), (2) или рис. 20	При $\Sigma t^т < \Sigma t^т_2$
Создание искусственных водоемов	$\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $\tau_л$, $t_{ср}$, $R_{сн}$, $t^в_{max}$, $t^л_{min}$, $H^л_{max}$	Определение $H^в_{кр}$ по формуле (6) или рис. 21 при $\Sigma t^т = \Sigma t^т_1$	При глубине водоема, большей $H^в_{кр}$
Создание: а) искусственных покрытий (зимой); б) пленок (летом)	$\lambda_т$, $\lambda_м$, $Q_ф$, $\Sigma t_х$, $\Sigma t^т$, $R_{сн}$	а) Определение критического термического сопротивления теплоизоляции по формулам (1), (2) или рис. 20 при $R_т = R_м = 0$ $R^м_{из} = R_з - R_{сн}$; б) Определение $\Sigma t^т$ по формулам (1), (2) или рис. 20 при $R_т = R_м = 0$	а) при $R^м_{из}$, превышающей рассчитанную по формулам (1), (2) б) при $\Sigma t^т < \Sigma t^т_3$

ческих мощностей снежного покрова, глубины искусственных водоемов, термического сопротивления искусственных покрытий используется методика, изложенная в пп. 3.14–3.22. В табл. 10 дано количественное обоснование мероприятий, способствующих развитию многолетнего протаивания грунтов.

3.30. Примеры количественного обоснования мероприятий, приводящих к многолетнему протаиванию отложений (район г. Новый Уренгой и пос. Нум-То). Общие климатические и геокриологические данные, необходимые для расчетов, приведены в п. 3.24.

Следует определить: необходимое увеличение мощности снега при сохранении естественной растительности и при ее удалении;

эффект удаления напочвенной растительности; эффект уменьшения затененности поверхности; глубину искусственных водоемов, обеспечивающую развитие многолетнего протаивания; эффект создания искусственных покрытий (зимой) и применения пленочных покрытий (летом).

1. Увеличение мощности снега. Для районов г. Новый Уренгой и пос. Нум-То оценивалось два возможных варианта увеличение мощности снежного покрова при сохранении естественной растительности и при ее удалении. При сохранении напочвенной растительности для г. Новый Уренгой по номограммам рис. 20, *а* при $\Sigma t_x = 132^{\circ}C$, $\Sigma t_1^T = 38^{\circ}C$; $R_т = 0{,}52$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт; $R_м = 0{,}43$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт и при свойствах грунта, приведенных в п. 3.24, получим $R_з = 3{,}36$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт. Учитывая, что термическое сопротивление напочвенной растительности в зимний период равно 0,43 м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт, получим критическое термическое сопротивление снега равным $R_{кр} = R_з - R_м = 3{,}36 - 0{,}43 = 2{,}93$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт, что соответствует критической мощности снега $H_{кр} \approx 0{,}95$ м (см. рис. 5).

Для района пос. Нум-То при $\Sigma t_x = 110^{\circ}C$, $\Sigma t_1^T = 47^{\circ}C$ и тех же свойствах грунтов и растительного покрова по номограмме рис. 20, *а* получим $R_з \approx 2{,}67$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт. Таким образом критическое термическое сопротивление снега равно $R_{кр} = 2{,}67 - 0{,}43 = 2{,}24$ м$^2 \cdot {}^{\circ}$C/Вт, что соответствует $H_{кр} \approx 0{,}85$ м (см. рис. 5).

Значения критических мощностей снега на участках, лишенных растительного покрова, приведены в п. 3.24, при оценке условий, которые приведут к многолетнему промерзанию отложений.

Проведенные расчеты показывают, что многолетнее протаивание отложений начнется на участках с естественным растительным покровом в районе г. Новый Уренгой при мощности снега, превышающей 0,95 м, при удалении напочвенной растительности – при $H_{сн} > 0{,}7$ м; в районе пос. Нум-То соответственно при $H_{сн} > 0{,}85$ м и $H_{сн} > 0{,}43$ м.

2. Удаление растительного покрова. Расчет производится аналогично приведенному п. 3.24, 1. Большое значение при определении эффективности данного мероприятия имеет мощность снежного покрова в естественных условиях и ее критическое значение при удалении растительности. Для г. Новый Уренгой в естественных условиях $H_{сн} = 0{,}5$ м. Критическая мощность снега 0,7 м (см. п. 3.24, 1). Таким образом, удаление растительного покрова при сохранении естественного снегонакопления не приведет к многолетнему протаиванию отложений, т.к. $H_{кр} > H_{сн}$.

Для района пос. Нум-То в естественных условиях $H_{сн} = 0{,}5$ м. Критическая мощность снега на участках с удаленной растительностью $H_{кр} = 0{,}43$ м (см. п. 3.24, 1). Таким образом, удаление растительности при сохранении естествен-

ного снегонакопления приведет к многолетнему протаиванию отложений, т.к. $H_{кр} < H_{сн}$.

3. Уменьшение затененности поверхности. Расчет проводится аналогично п. 3.24, 2.

Для района г. Новый Уренгой по номограммам рис. 20, *а* или формулам (1), (2) при $\Sigma t_х = 132^{\circ}C$, $R_{сн} = 1{,}51\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$ (естественные условия) $R_м = R_т = 0$ определяем значение $\Sigma t^т \approx 56^{\circ}C$. Поскольку полученная $\Sigma t^т > \Sigma t_2^т$, уменьшение затененности поверхности не эффективно. При сохранении напочвенной растительности сумма летних температур, при которой может начаться многолетнее протаивание, будет превышать $56^{\circ}C$ и, следовательно, в этом случае также нецелесообразно применение указанного мероприятия.

Для района пос. Нум-То при $\Sigma t_х = 110^{\circ}C$, $R_{сн} = 1{,}51\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$ (естественные условия) рассчитанное по номограммам значение $\Sigma t^т$ составляет $\approx 41^{\circ}C$, т.е. меньше $\Sigma t_2^т$. Поэтому в приведенном примере уменьшение затенения поверхности на участках с удаленным напочвенным растительным покровом может быть эффективным даже при мощности снега, меньшей естественной. Расчет по номограммам рис. 20, *а* показывает, что при сумме температур оголенной поверхности грунта $\Sigma t_2^т = 52^{\circ}C$ многолетнее протаивание начнется при $R_{кр} > 1{,}21\ м^2 \times {}^{\circ}C/Вт$ ($H_{сн} > 0{,}35$), т.е. при высоте снежного покрова на 15 см меньшей, чем в естественных условиях.

Если напочвенная растительность сохранена, то $\Sigma t^т$, определенная по номограмме рис. 20, *а*, превышает $52^{\circ}C$, т.е. в этом случае условия для многолетнего протаивания грунтов не создаются и уменьшение затенения поверхности не дает ожидаемого эффекта.

4. Создание искусственных водоемов. Определение глубины водоемов производится аналогично п. 3.24, 3. Для района г. Новый Уренгой при принятых климатических и грунтовых условиях ($\Sigma t_х = 132^{\circ}C$; $\Sigma t_1^т = 38^{\circ}C$; $R_{сн} = 0{,}86\ м^2 \times {}^{\circ}C/Вт$; $\tau_л = 4{,}1$ мес, $t_{ср} = -3^{\circ}C$) при глубине водоема, больше 0,4 м (рис. 21), начнется многолетнее протаивание грунтов.

Для района пос. Нум-То ($\Sigma t_х = 110^{\circ}C$; $\Sigma t_1^т = 47^{\circ}C$, $\tau_л = 5$ мес, $t_{ср} = -1^{\circ}C$; $R_{сн} = 0{,}86\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$) многолетнее протаивание будет отмечаться при глубине водоема, превышающей 0,12 м.

5. Создание искусственных покрытий (зимой) и пленок (летом).

Район г. Новый Уренгой. По номограммам рис. 20, *а* или формулам (1), (2) при $\Sigma t_х = 110^{\circ}C$, $\Sigma t_2^т = 42^{\circ}C$ (растительный покров удален), $R_м = R_т = 0$ получаем, что критическое суммарное термическое сопротивление изоляции в зимний период $R_з = 1{,}9\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$. Следовательно, если в естественных условиях $R_{сн} = 1{,}51\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$, то для создания условий для многолетнего протаивания грунтов, необходима дополнительная теплоизоляция в зимний период, термическое сопротивление которой превышает $R_з - R_{сн} = 1{,}9 - 1{,}51 = 0{,}39\ м^2 \cdot {}^{\circ}C/Вт$ (т.е. $R_{из}^м > 0{,}39$).

Для района пос. Нум-То применение теплоизоляции в зимний период нецелесообразно, поскольку одно только удаление растительного покрова уже приведет к многолетнему протаиванию отложений.

Расчет целесообразности применения пленочных покрытий производится аналогично п. 3.24, 2.

Район г. Новый Уренгой. По номограммам рис. 20, *а* или формулам (1), (2) при $\Sigma t_x = 132^oC$, $R_{сн} = 1{,}5\ м^2 \cdot {}^oC/Вт$, $R_м = R_т = 0$ получаем значение $\Sigma t^т \approx 56^oC$. Поскольку полученная величина $\Sigma t^т > \Sigma t_з^т$, применение пленочных покрытий при условии естественного снегонакопления не эффективно.

Для района пос. Нум-То при $\Sigma t_x = 110^oC$ $R_{сн} = 1{,}51\ м^2 \cdot {}^oC/Вт$, $R_м = R_т = 0$ для тех же грунтов значение $\Sigma t^т \approx 41^oC$, т.е. при удаленном растительном покрове критическая сумма летних температур поверхности грунта под пленочным покрытием значительно меньше, чем сумма летних температур в условиях максимального летнего прогрева $\Sigma t_з^т = 65^oC$. Поэтому для данного района применение пленочного покрытия может оказаться эффективным даже при значительном уменьшении мощности снега. При использовании пленочного покрытия сумма температур на поверхности грунта за теплый период будет равна 65^oC. Расчет по формулам (1) и (2) показывает, что при отсутствии напочвенного растительного покрова многолетнее протаивание начнется при термическом сопротивлении снега более $1{,}08\ м^2 \cdot {}^oC/Вт$, что соответствует $H_{сн} = 0{,}3$ м (см. рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Временное руководство по защите ландшафтов при прокладке газопроводов на Крайнем Севере /Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – Якутск, 1980. – 49 с.

2. **Втюрин Б.И., Втюрина Е.А.** Принципы классификации литокриогенных процессов и явлений //Геоморфология, 1980. № 3. С. 13–22.

3. **Втюрина Е.А.** О прерывистости и расчетной длительности периода устойчивого сезонного промерзания горных пород /Изв. АН СССР. Сер. географ. 1981. № 4. С. 101–109.

4. **Втюрина Е.А.** Сезоннокриогенные породы. – М.: Наука, 1984. – 119 с.

5. **Втюрина Е.А.** Рекомендации по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов. – М.: Стройиздат, 1986. – 77 с.

6. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции/ Под ред. Гречищева С.В. – Новосибирск: Наука, 1983. – 182 с.

7. **Мельников П.И., Павлов А.В.** Мерзлотные исследования в связи с разработкой мероприятий по охране природных комплексов Севера //Мерзлотные исследования в осваиваемых районах СССР. Новосибирск: Наука, 1980. С. 3–8.

8. Методические рекомендации по прогнозу развития криогенных физико-геологических процессов в осваиваемых районах Крайнего Севера /ВСЕГИНГЕО. – М., 1981. – 77 с.

9. Общее мерзлотоведение /М.И. Сумгин, С.П. Качурин, Н.И. Толстихин, В.Ф. Тумель. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 340 с.

10. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях /Под ред. Кудрявцева В.А. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 431 с.

11. **Павлов А.В.** Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. – М.: Наука, 1965. – 254 с.

12. **Павлов А.В.** Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. – Якутск, 1975. – 384 с.

13. **Павлов А.В.** Расчет и регулирование мерзлотного режима почв. – Новосибирск: Наука, 1980. – 239 с.

14. **Павлов А.В., Оловин Б.А.** Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей. – Новосибирск: Наука, 1974. – 117 с.

15. **Пармузин С.Ю., Шаманова И.И.** Карты оценки потенциальной возможности развития техногенного термокарста на севере Западной Сибири //Инж. геология, 1985. № 6. С. 81–88.

16. **Перльштейн Г.З.** Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-Востоке СССР, – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.

17. Прогноз теплового состояния грунтов при освоении северных районов/ В.П. Чернядьев, А.Л. Чеховский, А.Я. Стремяков, В.А. Пакулин. – М.: Наука, 1984. – 137 с.

18. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах. – М.: Стройиздат, 1980. – 303 с.

19. **Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Дубиков Г.И.** Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. – М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 212–227.

20. **Фельдман Г.М.** Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 192 с.

21. **Фельдман Г.М.** Методическое пособие по прогнозу температурного режима вечномерзлых грунтов (на примере Западной Сибири). – Якутск, 1983. – 41 с.

22. **Чернядьев В.П.** Мелкомасштабное картирование глубин сезонного промерзания //Материалы УШ Всесоюзного междуведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). – Якутск, 1966. – Вып. 2. – С. 74–82.

23. **Чернядьев В.П.** Исследование динамики сезонного и многолетнего промерзания–протаивания в условиях Западной Сибири //Тр. ин-та/ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1970. – Т. 2. – С. 6–81.

24. **Чернядьев В.П.** Прогноз изменения геокриологических условий в районах Чарской котловины при ее хозяйственном освоении //Тр. ин-та/ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1971. – Т. 11. – С. 81–94.

25. **Чернядьев В.П.** Методика определения и прогноза среднегодовой температуры грунта //Тр. ин-та /ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1974. Т. 29. – С. 3–24.

26. **Чернядьев В.П.** Прогноз геокриологической обстановки в связи с нарушением природных условий /Геокриологический прогноз и совершенствование инженерных изысканий. – М.: Стройиздат, 1980. – С. 32–54.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Регулирование процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов 5
Регулирование качественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов 5
Регулирование количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов 26
Регулирование дат начала сезонного промерзания и протаивания грунтов 27
Регулирование структуры календарного периода сезонного промерзания и протаивания грунтов и длительности периода их фактического проявления 28
Регулирование скорости сезонного промерзания и протаивания грунтов 34
Регулирование глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов 36
3. Регулирование многолетнего протаивания грунтов и термокарста 46
Предварительная оценка развития многолетнего протаивания грунтов и термокарста 46
Мероприятия по прекращению многолетнего протаивания грунтов и развития термокарста 53
Мероприятия, вызывающие и стимулирующие многолетнее протаивание грунтов 63
Литература 67

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС

Рекомендации по методике регулирования сезонного промерзания и протаивания грунтов и развития термокарста при освоении Западной Сибири

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л.Г. Бальян
Редактор Н.В. Лосева
Мл. редактор И.Я. Драчевская
Технический редактор Р.Я. Лаврентьева
Корректор С.А. Зудилина
Оператор М.В. Карамнова

Н/К

Подписано в печать 03.03.88 Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная № 2 Печать офсетная Усл. печ.л. 4,18
Усл.кр.-отт. 4,43 Уч.-изд.л. 4,76 Тираж 3000 экз.
Изд. № ХП–2873 Заказ № 980 Цена 25 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 9 НПО
Всесоюзная книжная палата Госкомиздата СССР
109033, Москва, Волочаевская ул., 40

gost.e-ecolog.ru