ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов

Москва Стройиздат 1986

УДК 624.139.2

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

Рекомендации по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов/ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986 – 80 с.

Дана новая классификация процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов. Показаны приемы и цели изучения комплекса качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания с учетом их временной динамики, прогноза их изменений и картографического отображения. Даны рекомендации по оборудованию стационарных опытных площадок, проведению наблюдений и обработке первичных материалов, способствующие повышению точности сведений об особенностях этих процессов.

Для геокриологов, инженеров-геологов и изыскателей.

Разработаны канд. географ. наук Е. А. Втюриной.

Р $\frac{3202000000 - 390}{047\,(01) - 86}$ Инструкт.-нормат., I – 95 – 86

© Стройиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Природные особенности сезонного промерзания и протаивания грунтов необходимо учитывать как при промышленном, так и при сельскохозяйственном освоении практически любого района СССР. На большей части СССР десятки лет агрометеостанции (АГМС), гидрометеостанции (ГМС) и посты ведут систематические натурные наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов в сельскохозяйственных целях. Однако из большого числа качественных и количественных показателей этих процессов при инженерном освоении территории учитывается в основном лишь один — глубина их проявления за сезон (СНиП II-18-76, СН 315–81, ГОСТ 24847–81, РСН 31–83, СНиП 2.02.01 –83) [22]. Она определяется при инженерно-геологических изысканиях, получается расчетными методами, которым уделяется все больше внимания [18, 19, 21, 28].

До сих пор практически не изучаются основные качественные особенности сезонного промерзания и протаивания грунтов и их пространственно-временная динамика, хотя без этого нельзя точно оценить ни один из количественных показателей данных процессов и дать прогноз их изменения, поскольку каждой качественной градации сезонного промерзания и протаивания свойственны свои количественные показатели. Кроме того, знание качественных особенностей и умение прогнозировать их изменения дает возможность составить более полное и правильное представление об этих процессах и возможных естественных и антропогенных их изменениях, точнее и обоснованнее оценить их влияние на освоение теорритории, а также судить об особенностях проявления и изменения большей части других криогенных процессов (солифлюкция, термокарст, пучение и т.д.), которые могут оказать отрицательное влияние на освоение территории.

Несмотря на многолетний период изучения и необходимость знания особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов в практических целях, до сих пор очень мало работ, позволяющих составить объективное представление о комплексе их количественных, а тем более качественных показателей. Узкий подход к изучению сезонного промерзания и протаивания грунтов и прогнозу их изменений получил отражение в теоретических и методических работах по геокриологии [2, 10, 12–14, 16, 17, 20].

В настоящее время стала возможной разработка рекомендаций по методике комплексного изучения сезонного промерзания и протаивания грунтов, позволяющей получить более полное и объективное представление об естественных особенностях этих процессов и более точно судить об их изменениях при естественной динамике и антропогенном нарушении природной обстановки.

Методика изучения качественных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов не зависит от целей изучения

этих процессов. Меняется в основном комплекс изучаемых показателей. Поэтому в рекомендациях рассмотрена методика изучения основных качественных и количественных показателей данных процессов, знание которых необходимо практически при любом виде освоения территории как в области многолетнемерзлых грунтов, так и вне ее. Данные рекомендации применимы также при тематических работах по изучению особенностей и закономерностей пространственно-временных изменений сезонного промерзания и протаивания грунтов, влияния на их показатели разных природных факторов, зависимости комплекса и динамики большого числа криогенных процессов от особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов.

Применение данных рекомендаций практически не требует дополнительных затрат по сравнению с ныне действующей методикой изучения сезонного промерзания и протаивания грунтов, но позволяет получить значительно больший объем информации об их особенностях.

В рекомендациях рассматриваются методы натурного изучения качественных и количественных показателей этих процессов и не затрагивается вопрос расчетных методов определения глубины их проявления.

В основу положены результаты многолетних исследований, проведенных автором в разных районах СССР, детальной обработки материалов, с учетом комплекса их качественных и количественных показателей.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Общая классификация процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов как основа методики их изучения

1.1. Промерзанием грунтов называется сложный процесс совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе воды и водного пара в них в лед.

Протаиванием грунтов называется сложный процесс совокупного изменения их состояния, состава и свойств при фазовом переходе льда в них в воду.

Сезонным промерзанием грунтов называется промерзание, длящееся более одних суток, но менее одного года, с сезонной ритмичностью проявления.

Сезонным протаиванием грунтов называется протаивание, длящееся более одних суток, но менее одного года с сезонной ритмичностью проявления.

1.2. Приступая к изучению сезонного промерзания и протаивания грунтов и организации стационарных исследований, необходимо знать общее состояние проблемы и возможную детальность изучения этих процессов. При знании природной обстановки исследуемой территории это в известной мере позволит предугадать сложность и объем работ, необходимых для познания их основных особенностей. Наиболее оперативно составить представление об изученности проблемы можно путем анализа имеющихся классификаций сезонного промерзания и протаивания. Любая из них может служить основой для разработки методики их изучения. В настоящее время широко применяется классификация сезонного промерзания и протаивания, предложения В. А. Кудрявцевым около 20 лет назад [10, 16, 17].

Методика изучения данных процессов, построенная на основе этой классификации, ориентирует исследователей на проведение годового цикла наблюдений за температурой поверхности и грунтов, их влажности без указания сколько лет необходимо наблюдать, чтобы получить объективное представление об их среднем значении и варьировании в многолетнем периоде.

1.3. В 1980 г. предложена новая общая классификация сезонного промерзания и протаивания грунтов, построенная с учетом основных качественных и количественных показателей самих этих процессов, а не влияющих на них некоторых природных факторов [6, 9]. Градации количественных показателей даны с учетом их многолетней динамики. В данных рекомендациях она несколько детализирована в результате учета некоторых особенностей несистематического сезонного промерзания и протаивания и разделения этих процессов на одно- и двунаправленные в соответствии с их природным проявлением (рис. 1). Эта классификация положена в основу данных рекомендаций по усовершенствованной методике изучения сезонного промерзания и протаивания, картографирования и районирования

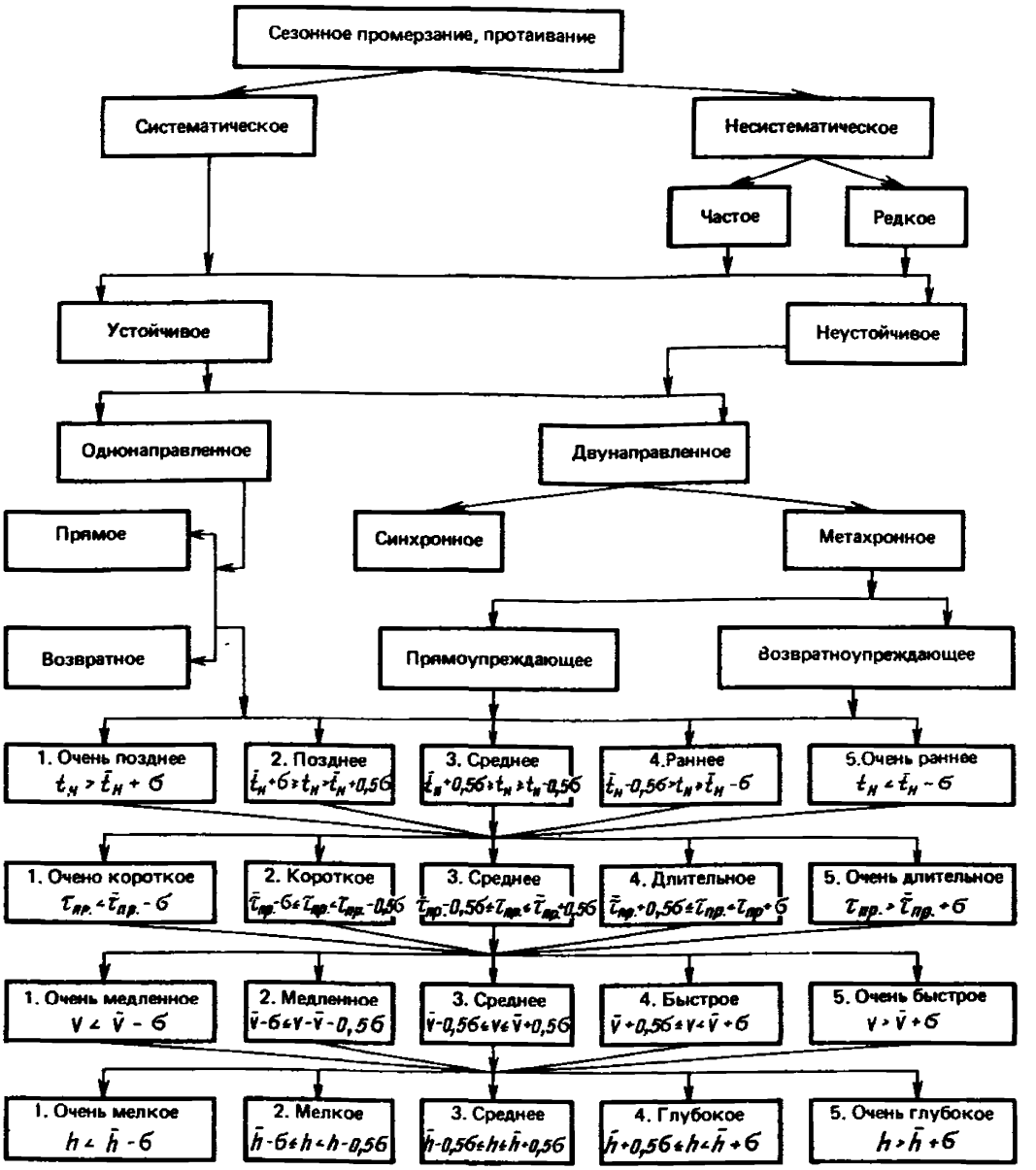


Рис. 1. Общая классификация сезонного промерзания и протаивания грунтов t, $\tau_{пр}$, v, h — частные, а $\bar{t}_н$, $\bar{\tau}_{пр}$, $\bar{v}$, $\bar{h}$ — средние многолетние значения соответственно: начала, длительности периода фактического проявления, скорости и глубины проявления данных процессов; σ — среднее квадратическое отклонение частных значений показателей от среднего многолетнего

территории по их особенностям. Она направляет внимание исследователей на изучение комплекса качественных и количественных характеристик самих этих процессов, показывает необходимость учета многолетней динамики каждого показателя, а следовательно, многолетних исследований для объективных выводов об их особенностях.

1.4. Качественными называются показатели, выражающие основную специфику процесса, явления, образования, не поддающиеся прямому количественному измерению.

Качественная неоднородность сезонного промерзания и протаивания

грунтов определяется особенностями их проявления в многолетнем и годовом периоде, направленностью процессов по отношению к дневной поверхности, соотношением сроков начала одноименных разнонаправленных процессов.

По особенностям проявления в многолетнем периоде сезонное промерзание, а также протаивание разделяются на:

систематическое, проявляющееся ежегодно в течение многолетнего периода;

несистематическое, проявляющееся не ежегодно.

1.5. По устойчивости в течение сезона каждый из этих процессов бывает устойчивым и неустойчивым.

Устойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) сезона, не сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунтов.

Неустойчивым называется сезонное промерзание (протаивание), в течение холодного (теплого) сезона сменяющееся полным протаиванием (промерзанием) промерзшего (протаявшего) горизонта грунта.

По направленности относительно дневной поверхности выделяются две модификации сезонного промерзания и протаивания:

прямое, направленное от дневной поверхности (или дна водоема, водотока) вглубь грунта;

возвратное, направленное от поверхности грунтов, подстилающих сезоннотаяные и сезонномерзлые грунты, к дневной поверхности или дну водоема, водотока. В природе проявляются:

однонаправленное сезонное промерзание (протаивание) — прямое или возвратное; двунаправленное, т. е. сочетание прямого и возвратного промерзания (протаивания).

Двунаправленное сезонное промерзание (протаивание) бывает:

синхронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются одновременно;

метахронным, если прямое и возвратное промерзание (протаивание) начинаются неодновременно.

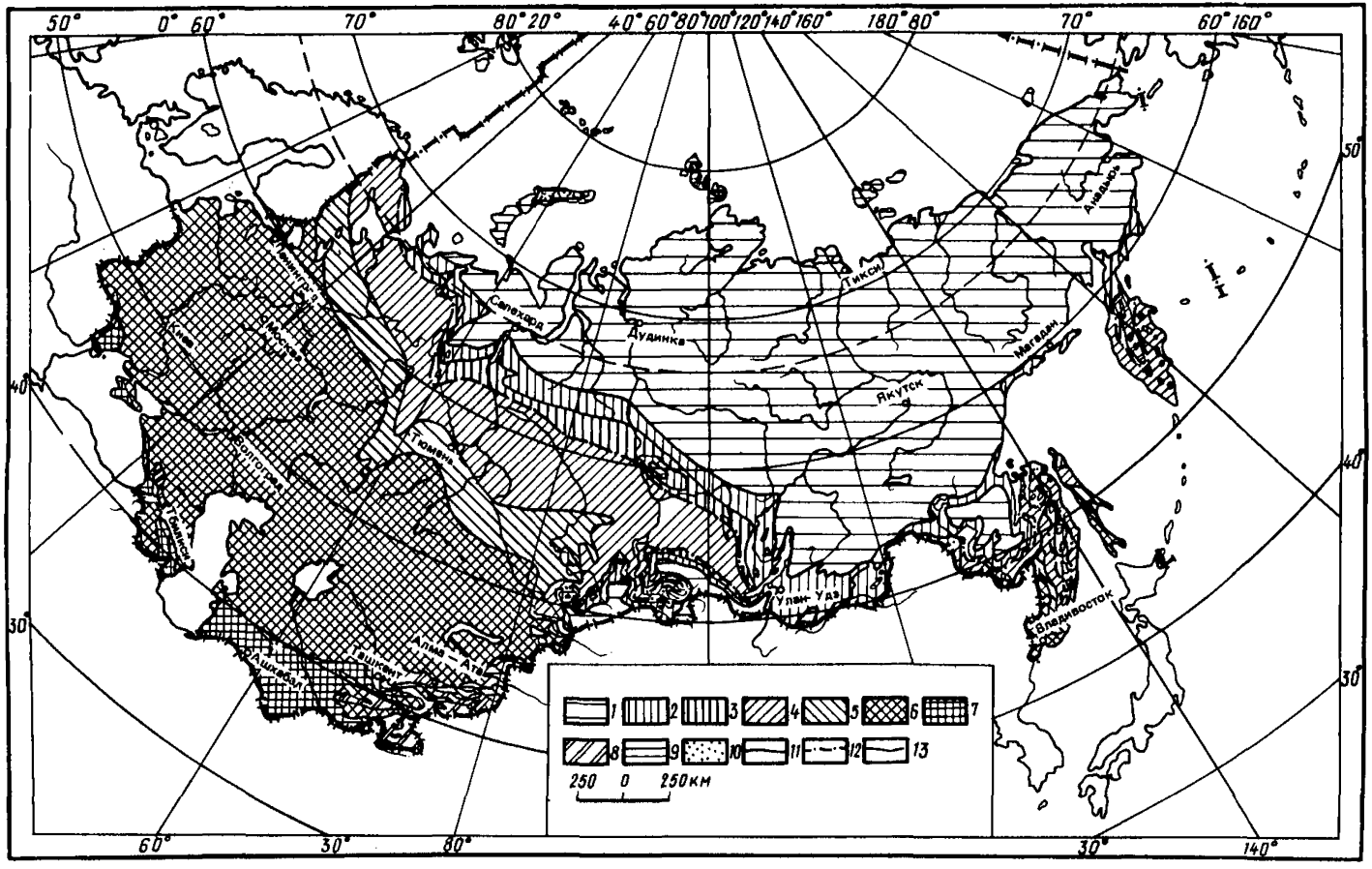
Метахронное сезонное промерзание (протаивание) разделяется на:

прямоупреждающее, если прямое промерзание (протаивание) начинается раньше возвратного;

возвратноупреждающее, если возвратное сезонное промерзание (протаивание) начинается раньше, чем прямое.

1.6. Классификационных количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов четыре: начало процесса $t_н$, длительность календарного периода $\tau_к$ или периода фактического проявления $\tau_{пр}$, скорость v и глубина h. Их градации задаются с учетом среднего многолетнего значения $t_{(н)}$, $\bar{\tau}_к$, или $\bar{\tau}_{пр}$, $\bar{v}$, $\bar{h}$ и среднего квадратичного отклонения частичных значений каждого показателя от среднего многолетнего σ. Сроки окончания сезонного промерзания (протаивания) грунтов не входят прямо в число классификационных показателей, но изучение их необходимо для определения периода проявления процессов $\tau_к$ или $\tau_{пр}$.

1.7. Показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов изменяются в пространстве, подчиняясь законам широтной зональности и высотной поясности. Это обусловливает проявление на разных территориях разной гаммы качественных градаций этих процессов. В целом с севера на юг и с изменением абсолютной высоты места, приводящим к уменьшению суровости природных условий, наблюдается сокращение качественного многообразия сезонного промерзания грунтов и возрастание сложности сезонного протаивания. При океаническом типе геокриологической пояс-


50° 0° 60° 70° 80° 20° 40° 60° 80° 100° 120° 140° 160° 180° 80° 70° 60° 160°
50°
40°
30°
60° 30° 80° 30° 140°
Салехард
Дудинка
Тикси
Анадырь
Якутск
Магадан
Тюмень
Улан-Удэ
Владивосток
Алма-Ата
1 2 3 4 5 6 7
8 9 10 11 12 13
250 0 250км

ности наблюдается обратная закономерность: увеличение качественного многообразия сезонного промерзания с высотой и уменьшение сложности сезонного протаивания.

Приступая к исследованиям сезонного промерзания и протаивания грунтов какой-либо территории, важно знать хотя бы приближенно, какой диапазон изменения их качественных градаций возможен в ее пределах. От этого зависит необходимый объем исследований. Все количественные показатели одинаково изучаются в любом районе.

Составить предварительное представление о возможных качественных особенностях сезонного промерзания и протаивания можно при знании общей природной, особенно геокриологической обстановки исследуемой территории и зависимости от нее качественных показателей этих процессов. Косвенные признаки разных качественных градаций сезонного промерзания и протаивания грунтов будут указаны при изложении методики изучения каждой из них. Общее представление о зональности качественных особенностей этих процессов в пределах СССР дают карты-схемы (рис. 2, 3).

О репрезентативном периоде изучения сезонного промерзания и протаивания грунтов

1.8. Все показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов изменяются во времени, особенно количественные, меняющиеся практически ежегодно и нередко весьма существенно. Различая в сроках начала процессов достигают 15—20 дн. и могут даже превышать 1 мес. Длительность календарного и фактического периодов их проявления за многолетний период изменяется в 1,5—2 раза и более, средняя за сезон скорость в 1,5 — 3 раза и более, глубина в 2—5 раз, местами в 10—20 раз. Это делает одногодичные и короткопериодные данные о сезонном промерзании и протаивании недостаточными для полноценных выводов не только о количественных, но и о качественных их показателях. Разногодичные и разнопериодные сведения о количественных, а нередко и качественных показателях этих процессов несравнимы и без специальной обработки не могут использоваться для картографирования и районирования территории по особен-

---

Рис. 2. Карта-схема качественных градаций сезонного промерзания грунтов на территории СССР

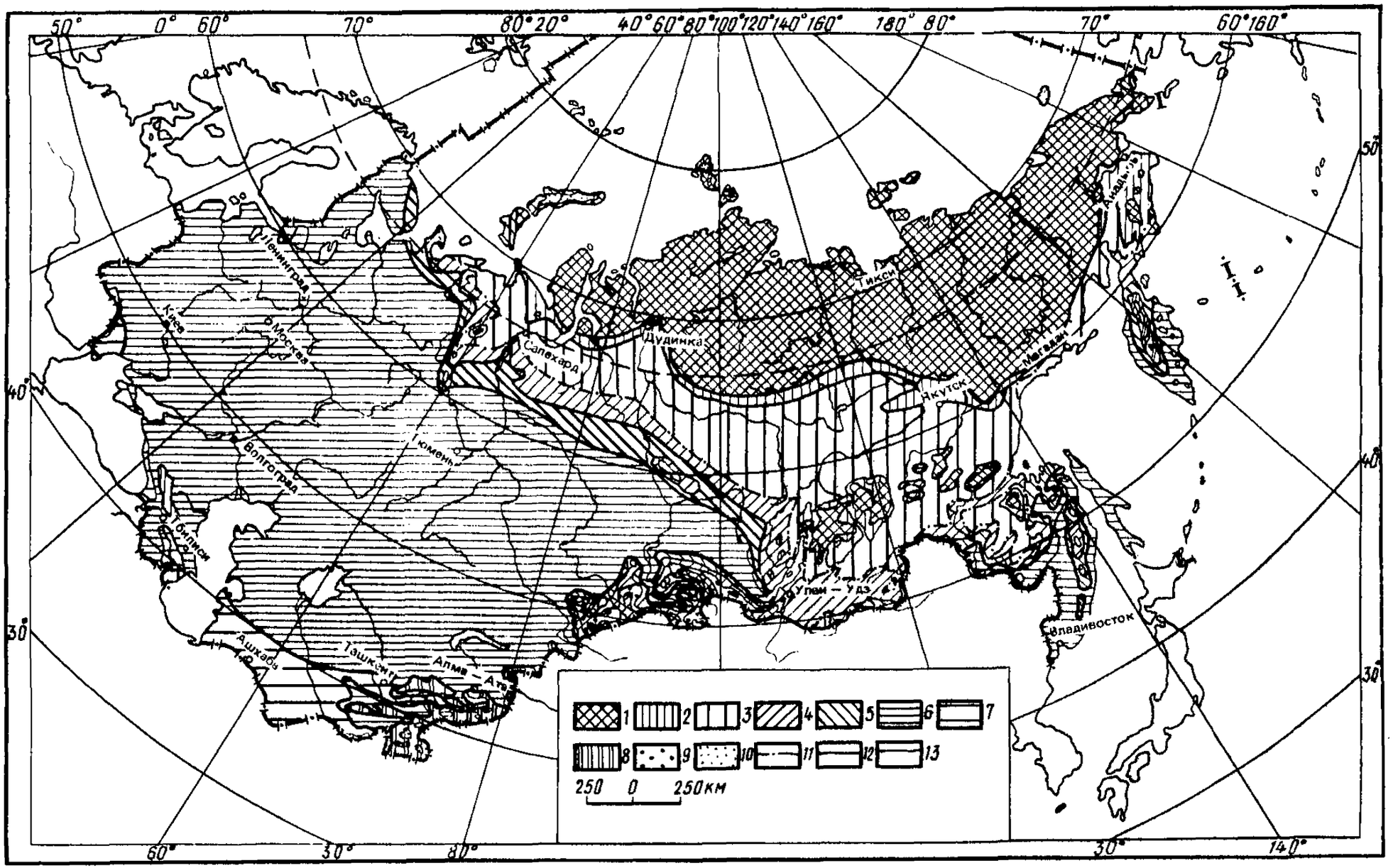
Северная зона систематического двунаправленного сезонного промерзания: *1* — возвратноупреждающего; *2* — синхронного; *3* — прямоупреждающего

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

Южная зона однонаправленного прямого сезонного промерзания: *6* — систематического; *7* — несистематического

Сочетания разных градаций сезонного промерзания, меняющихся с высотой: *8* — от несистематического частого двунаправленного прямоупреждающего до возвратноупреждающего; *9* — от синхронного до возвратноупреждающего; *10* — ледники

Южные границы зон: *11* — северной; *12* — переходной; *13* — границы подзон с определенной доминирующей градацией сезонного промерзания и поясов в горных районах с сочетанием разных градаций данного процесса



Ленинград
Киев
Москва
Волгоград
Тюмень
Салехард
Дудинка
Тикси
Якутск
Магадан
Анадырь
Улан — Удэ
Владивосток
Тбилиси
Ашхабад
Ташкент
Алма — Ата
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
250 0 250км

ностям сезонного промерзания и протаивания грунтов. Их недостаточно также для определения классификационной принадлежности этих процессов того или иного района. Этим диктуется необходимость многолетних исследований данных процессов для объективных выводов об их особенностях.

1.9. Вопрос о репрезентативном периоде изучения сезонного промерзания и протаивания грунтов до сих пор не решен. Имеющиеся мнения о его длительности или недостаточно, или никак не обоснованы и применимы только к изучению глубины проявления этих процессов. М.И. Сумгин предположительно определил его длительность в 15 - 30 лет [15].

В СНиП II-18-76 и в СНиП 2.02.01 –83 указана как обязательная 10-летняя длительность наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания. Согласно Ю. Л. Шуру [30], она составляет 15 – 20 последних лет. По П. А. Соловьеву [24–26], для практических рекомендаций необходимо учитывать временную динамику глубины сезонного промерзания и протаивания за 50 лет. Наиболее обоснован вывод Е. Д. Федотовой [27] 30-летней длительности этого периода для Среднего Поволжья. Основанием для вывода послужила обработка большого объема длиннорядных данных о глубине проникновения нулевой температуры в грунты и глубине их промерзания. Поскольку ход сезонного промерзания и протаивания грунтов связан с ходом и значениями температуры воздуха, представляет интерес длительность репрезентативного периода ее изучения. Однако по этому вопросу также нет единого мнения. Зарубежные исследователи 30-летний период считают представительным для расчета средней многолетней температуры воздуха. Советскими исследователями показано, что этот период неодинаков в разных частях земного шара и на разных широтах. Размах его колебаний от 30 до 90 лет.

1.10. В настоящее время ряды наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов в основном не превышают 30 лет. Основываясь на выводах, приведенных в [15, 27], и учитывая фактическую длительность временных рядов данных о ходе этих процессов, репрезентатив-

---

Рис. 3. Карта-схема качественных градаций сезонного протаивания грунтов на территории СССР

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; *7* — несистематических двунаправленного возвратноупреждающего и однонаправленного возвратного

Сочетание меняющихся с высотой: *8* — несистематических прямого и прямоупреждающего и систематического прямого; *9* — систематических синхронного и прямоупреждающего и несистематических прямоупреждающего и прямого; *10* — ледники

Южные границы зон: *11* — северной; *12* — переходной; *13* — границы подзон с разными качественными градациями сезонного протаивания и с разными сочетаниями этих градаций в горных районах

ным периодом изучения естественного сезонного промерзания и протаивания грунтов можно считать 30-летний период. Но вопрос этот еще требует дальнейших исследований. Возможно, что в разных районах и зонах он также неодинаков, как и репрезентативный период изучения температуры воздуха. Кроме того, разная вариабельность показателей сезонного промерзания и протаивания может обусловить необходимость разных по длительности периодов их исследования. 30-летний период оказался репрезентативным для изучения глубины проявления процессов. Расчет коэффициентов вариации ряда показателей сезонного промерзания по некоторым регионам убеждает, что изменение их значений во времени в основном не менее значительно, чем глубины проявления процессов. Поэтому 30-летний период можно считать репрезентативным при исследованиях всех основных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов. Он позволяет установить основные качественные и количественные особенности этих процессов, оценить их временную вариацию и получить сравнимые данные, необходимые для выявления закономерностей их пространственного изменения.

1.11. Иногда при наличии 30-летних рядов стационарных наблюдений за сезонным промерзанием и протаиванием в них имеются пропуски данных за отдельные годы. Анализ первичных материалов наблюдений покажет их причину, что поможет выбрать наиболее правильный метод восстановления непрерывности ряда. Наиболее часто это следствие или отсутствия наблюдений в данный год или за часть года, или недостаточная длина мерзлотомера, его повреждения, примерзание к обсадной трубе и т. д. Перерывы в наблюдениях приводят к потере большого объема информации. Прежде чем приступить к обработке многолетних данных, необходимо восстановить непрерывность 30-летних рядов, чтобы получить сравнимые между собой данные.

В мерзлотоведении пока не разработаны ни методы восстановления непрерывности рядов, ни методы приведения коротких рядов данных к 30-летнему периоду. По-видимому, можно воспользоваться применяемыми в метеорологии и гидрологии методом станций-аналогов и методом отношений или разностей.

Метод станций-аналогов, возможно, и более точный, но очень трудно подобрать станции, сходные по динамике температуры воздуха, режиму накопления и показателям снежного покрова, по поверхностным и грунтовым условиям и т. д. Более реально в настоящее время применение методов отношений и разностей, а также ряда специальных методов восстановления непрерывности рядов количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов и приведения разовых и короткопериодных значений этих показателей к сравнимым многолетним. На их рассмотрении мы остановимся при изложении методики изучения каждого из этих показателей.

2. ВИДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ, ИХ ИНФОРМАТИВНОСТЬ И ОРГАНИЗАЦИЯ

Стационарные исследования

2.1. Полевые исследования делятся на стационарные, полустационарные, маршрутные и комплексные. Каждый из этих видов исследований можно разделить на: натурные (изучения процессов в естественных ненарушенных природных условиях) и экспериментальные (изучения в специ-

ально измененных природных условиях). Выбор вида полевых исследований определяется их целями и задачами, длительностью периода возможных наблюдений, обеспеченностью оборудованием, кадрами и т. д. Стационарные исследования — основной вид исследований, позволяющий получить наиболее полную информацию об основных качественных особенностях и значениях количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов.

Информативность стационарных исследований зависит от длительности и частоты наблюдений. Важно единство методики наблюдений, иначе данные становятся несравнимыми. До 1946 г. глубина промерзания и протаивания определялась Агрометеорологическими станциями (АГМС) и Гидрометеорологическими станциями (ГМС) методом шурфования („вырубки") или бурения раз в месяц, или принималась равной „глубине проникновения нулевой температуры в почву". Начиная с 1946 г. стали применять мерзлотомеры Данилина. В агрометеорологических справочниках и справочниках по климату указывается глубина промерзания или протаивания грунтов по мерзлотомерам Данилина и глубина проникновения 0° С в почву, т. е. эти характеристики фактически не отождествляются вопреки определению сезонного промерзания и протаивания, приведенному в метеорологическом словаре [29]. Говоря о многолетних рядах данных по сезонному промерзанию и протаиванию, мы имеем в виду результаты наблюдений за ходом этих процессов по мерзлотомерам Данилина.

2.2. Приняты в основном три частоты наблюдений: один раз в сутки, в пять дней (в пентаду), в десять дней (в декаду). Наиболее результативны каждодневные наблюдения в течение всего репрезентативного периода. Только они позволяют:

получить истинные средние многолетние и экстремальные значения всех количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов;

выявить временную динамику этих показателей;

правильно оценить качественные особенности процессов;

определить классификационную принадлежность, а значит и сложность сезонного промерзания и протаивания в том или ином районе;

делают возможным получение сравнимых данных о всех показателях процессов и корректное использование короткопериодных и разновременных разовых маршрутных данных при картографировании и районировании территории по особенностям этих процессов.

2.3. Пентадные, а тем более декадные наблюдения, даже 30-летние, значительно менее результативны. По ним не всегда можно установить систематическое или несистематическое сезонное промерзание (протаивание) на данном участке, устойчивое оно, неустойчивое или сочетание того и другого, одно- или двунаправленное. Обработка пентадных и декадных данных в основном не позволяет получить точных сведений о датах начала и окончания разных качественных градаций процесса, о длительности и структуре его календарного периода, о фактической скорости, а в районах с двунаправленным одноименным процессом и о глубине проявления разных его модификаций. Лишь случайно сроки наблюдений могут совпасть с началом или окончанием той или иной модификации сезонного промерзания или протаивания грунтов. Даже при однонаправленном прямом промерзании или протаивании установление дат начала и окончания, а иногда и глубины их проявления за сезон по таким наблюдениям требует большой работы: изучения хода температуры воздуха, изменения высоты снежного покрова, температуры на поверхности грунта и на глубине 5 — 10 см, применения ряда приближенных методов. Короткопериодные стационарные ис-

следования, если они каждодневные, почти столь же информативны, как и долговременные, но лишь для периода их проведения. Они дают сведения об истинных значениях всех количественных показателей сезонного промерзания и протаивания для разных периодов времени, длительность любого из которых меньше 30 лет. Если период их всего несколько лет, они не всегда позволяют установить систематическое или несистематическое на исследуемом участке сезонное промерзание или протаивание вообще или какая-либо их качественная градация. Если требуется общая характеристика этих процессов и короткопериодные данные используются для районирования территории по их особенностям, результаты таких наблюдений должны быть приведены к 30-летним рядам. Пентадные и декадные короткопериодные данные еще менее информативны, чем аналогичные 30-летние.

2.4. Стационарные исследования сезонного промерзания и протаивания грунтов, особенно каждодневные 30-летние и более — один из наиболее трудоемких и дорогостоящих видов полевых исследований. Их организация и проведение целесообразны в том случае, когда необходимы точные сведения о всех качественных и количественных показателях процессов в природных и нарушенных условиях. Для выявления влияния ряда природных факторов на их количественные показатели в основном достаточно 3—5-летнего периода стационарных исследований. Качественные показатели более устойчивы и требуют большего времени для выявления их изменений под действием этих факторов. Антропогенное воздействие, как правило, приводит к очень быстрым изменениям природной среды, а вместе с ними и показателей сезонного промерзания и протаивания. Для выявления их влияния также нередко достаточно 3—5-годичных наблюдений. Но такого периода исследований недостаточно для прогноза изменения качественных и количественных показателей этих процессов при освоении территории. Инженерные сооружения и сельскохозяйственные угодья существуют не 3—5 лет, а в основном больше 30 лет. Следовательно, прогноз изменения сезонного промерзания и протаивания грунтов должен строиться с учетом естественных изменений их показателей за 30 лет и тех изменений, которые обусловлены антропогенным воздействием. Дать такой прогноз — значит указать возможные изменения качественных градаций сезонного промерзания и протаивания в районе освоения, экстремальные и средние значения их количественных показателей за репрезентативный период.

2.5. Обработку имеющихся многолетних материалов первичных наблюдений целесообразно проводить до начала полевых исследований. Это поможет оценить сложность сезонного промерзания и протаивания грунтов в исследуемом районе, объем работ, требуемый для их изучения в целом или какой-либо их характеристики, и вид полевых исследований. Кроме того, предварительная обработка материалов многолетних наблюдений сделает возможным применение метода интенсивности (см. пп. 5.44—5.47) и пересчет непосредственно в поле разовых наблюденных значений глубины промерзания (протаивания) грунта в ее значение за сезон данного года.

Полустационарные исследования

2.6. В ряде случаев нет необходимости в изучении всех показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов или достаточно их осредненных значений за сезон или какую-то его часть. Для этого достаточны полустационарные исследования. Длительность периода наблюдений разная, преимущественно 3 — 5 лет. Частота и время наблюдений определяются их целями, качественной неоднородностью процессов, особенностями их проявления.

2.7. Если интересует глубина сезонного промерзания или протаивания, наблюдения должны проводиться в завершающий период их проявления. Чтобы приблизительно определить сроки наблюдений, нужно знать диапазон колебаний даты окончания каждого из этих процессов за многолетний период. Эти сведения можно получить, проанализировав результаты многолетних наблюдений на одной или нескольких соседних АГМС, ГМС. Можно использовать данные и отдаленных станций региона, если они расположены в зоне с теми же качественными показателями сезонного промерзания и протаивания, что и на исследуемом участке. В районах с систематическим промерзанием и протаиванием наблюдения следует начинать примерно за неделю до наиболее раннего окончания процесса. Сложнее определить период наблюдений в районах с несистематическим проявлением этих процессов. В них за многолетний период сезонное промерзание проявляется в разные сроки осенне-зимнего периода, а сезонное протаивание на Крайнем Севере и в высокогорьях на участках наледей, снежников, у концов отступающих ледников — в разные сроки летне-осеннего сезона. Поэтому в южных районах с несистематическим сезонным промерзанием грунтов для выявления как сроков его начала и окончания, так и глубины проявления, ежедневные наблюдения следует вести от наиболее ранней за многолетний период даты его начала до наиболее поздней даты окончания. Надо учитывать, что сезонное промерзание и протаивание в ряде южных районов не только несистематические за 30 лет, но и неустойчивые за сезон. За зиму нередко наблюдается по несколько коротких периодов с неглубоким промерзанием грунтов и полным их протаиванием. Фиксируется каждый такой период.

2.8. *Если необходимы сведения о начале систематического сезонного* промерзания и протаивания, наблюдения начинают не менее чем за неделю до наиболее ранней за многолетний период даты их начала в данном или соседних районах, или в данной зоне региона.

2.9. При каждодневных наблюдениях полустационарные исследования позволяют получить данные о всех количественных показателях сезонного промерзания и протаивания грунтов и о большинстве их качественных показателей на данный год или ряд лет. При пентадных, декадных или более редких наблюдениях потери информации те же, что и при стационарных исследованиях.

2.10. Большой объем информации можно получить, совмещая каждодневные стационарные и пяти— десятидневные полустационарные исследования. Это дает возможность детально изучить временную динамику показателей сезонного промерзания и протаивания. В целях выявления пространственной неоднородности процессов стационарные исследования на опытной площадке необходимо дополнять полустационарными на маркированных точках. Это позволяет установить влияние комплекса природных факторов на показатели сезонного промерзания и протаивания, делает возможным картографирование процессов по их показателям и районирование территории по их особенностям в данный год или короткий период, а также за репрезентативный период, если они приведены к средним и экстремальным многолетним значениям.

Маршрутные исследования

2.11. Маршрутные исследования наименее информативны. Это в основном разовые разновременные в году и многолетнем периоде наблюдения за глубиной сезонного промерзания и протаивания грунтов, которая фиксируется при бурении, шурфовке и т. д. При маршрутных работах с помощью

щупа определяется мощность протаявших пород. К настоящему времени накоплен огромный объем таких данных, но они очень малоинформативны и без специальной обработки непригодны ни для общих выводов о глубине проявления процессов, ни для картографирования и районирования территории по особенностям этого показателя. При маршрутных исследованиях получают данные о мощности промерзших или протаявших грунтов на момент наблюдения, которые надо привести к значениям за данный год в целом, применяя метод интенсивности или экстраполяции (см. пп. 5.44 — 5.47). Это возможно, если первичные данные получены во второй половине периода проявления процесса. После такой обработки можно делать выводы об особенностях мощности сезонноталых или сезонномерзлых грунтов в данный год на исследуемой территории, а по ней, зная величину криогенного пучения и осадки грунтов, определить глубину сезонного протаивания или промерзания (см. п п. 5.17—5.21, 5.34, 5.46).

2.12. При маршрутных исследованиях сезонного промерзания и протаивания на большой территории, где они проводятся в разные годы, данные о мощности протаявших или промерзших к моменту наблюдений грунтов надо привести не только к значениям за год наблюдений, но и к среднему и экстремальным значениям за репрезентативный или требуемый сравнимый многолетний период (см. п. 5.14).

2.13. Маршрутные исследования позволяют получить истинные значения глубины сезонного промерзания и протаивания в год наблюдений лишь в тех случаях, когда они проводятся в момент окончания прямого протаивания в области многолетнемерзлых грунтов и прямого промерзания вне ее. Мощность сезонноталых грунтов в области многолетнемерзлых показывает возможную в следующий холодный сезон глубину сезонного промерзания, а мощность сезонномерзлых грунтов вне этой области — возможную в следующий теплый сезон глубину сезонного протаивания. Определить глубину сезонного протаивания по мощности сезонноталых грунтов в области многолетнемерзлых можно лишь при знании их просадки при протаивании, а глубину сезонного промерзания по мощности сезонномерзлых грунтов вне этой области можно, если известна величина их пучения при промерзании (см. п. 5.46).

Комплексные исследования

2.14. Комплексными называются исследования сезонного промерзания и протаивания грунтов, включающие все три вида полевых исследований: стационарные, полустационарные и маршрутные. Они позволяют получить информацию обо всех основных качественных и количественных показателях этих процессов, их динамике во времени и пространстве. Комплексные исследования необходимы для картографирования и районирования территории по особенностям сезонного промерзания и протаивания. В этом случае повышается информативность маршрутных работ, поскольку они проводятся в сроки, необходимые для установления пространственной динамики того или иного показателя. Это может быть срок начала и окончания определенной модификации процессов, максимальная глубина ее проявления.

Полученные в результате стационарных, полустационарных и маршрутных исследований данные об основных показателях сезонного промерзания и протаивания грунтов, приведенные к экстремальным и средним за репрезентативный или требуемый период, могут быть основой для карто-

графирования и районирования любой территории по особенностям проявления этих процессов и объективных выводов о временной и пространственной динамике их качественных и количественных показателей.

Организация полевых исследований сезонного промерзания и протаивания

2.15. Стационарные наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания проводятся на специальных опытных площадках, а полустационарные на маркированных точках. Местоположение опытных стационарных площадок и их количество определяются целями и задачами исследований сезонного промерзания и протаивания грунтов, неоднородностью природной обстановки исследуемой территории. Если интересует лишь временная динамика качественных и количественных показателей процессов на доминирующем или каком-то типе местности, достаточно организации одной опытной долговременной площадки. Если важна не только временная, но и пространственная их динамика, создается серия опытных площадок. При выборе места для опытных площадок необходимо учитывать неоднородность природной обстановки района. Предварительно проводятся полевые работы по комплексному изучению природных условий и характера освоения района, составляется карта природного микрорайонирования. Местами заложения площадок служат доминирующий тип местности и типы местности, подлежащие освоению. При островном распространении многолетнемерзлых грунтов площадки создаются как на участках без них, так и на участках их близкого залегания. В оптимальном варианте систематическими наблюдениями должны быть охвачены все основные природные типы местности, причем необходимо создавать серии площадок в каждом из них: одна контрольная с ненарушенными условиями; другие с нарушениями природных условий, сходными с вызываемыми освоением территории (со снятым растительным или снежным покровом или тем и другим вместе, с искусственными покрытиями и т. д.).

2.16. Опытные площадки необходимо огородить металлической сеткой или проволокой, что не нарушает снегонакопления на них, но исключает проникновение на них транспорта, животных и посторонних людей.

Размеры площадок зависят от сложности наблюдений и количества устанавливаемых приборов. При наблюдении только за сезонным промерзанием и протаиванием грунтов размер каждой площадки около 10Х10м. Приборы устанавливаются на расстоянии не менее 1 м один от другого.

Расположение стационарных площадок и точек полустационарных наблюдений показывают или на специальной карте, или на карте природного микрорайонирования исследуемого района, составляют их описание.

2.17. В настоящее время в справочниках по климату СССР и агрометеорологических справочниках сведения о ходе сезонного промерзания и протаивания даются на основе наблюдений по мерзлотомерам Данилина. Поэтому на опытных площадках при организации стационарных наблюдений за ходом этих процессов должны быть установлены мерзлотомеры Данилина. При производстве работ в пределах опытных площадок нужно как можно меньше нарушать их естественную или заданную обстановку.

Выпускается несколько видов мерзлотомеров Данилина, разнящихся по длине (1,5 и 3 м) и высоте надземной части (0,5 и 1 м), служащей стационарной снегомерной рейкой. В каждом конкретном случае следует устанавливать такой вид мерзлотомера, чтобы его длина превосходила максимальную на данном участке глубину сезонного промерзания или протаивания, а высота надземной части — высоту снежного покрова за зиму.

В тех случаях, когда нет мерзлотомеров с надземной частью длиной 1 м, а высота снежного покрова заведомо превышает 0,5 м, рядом с мерзлотомером на расстоянии 20—30 см от него устанавливается стационарная снегомерная рейка. Она располагается так, чтобы линия между рейкой и мерзлотомером образовала нормаль к господствующему в холодный сезон направлению ветров. До тех пор, пока высота снегов менее 50 см, наблюдения за ее изменением ведутся одновременно и по рейке и по надземной части мерзлотомера. После достижения 45 см наблюдения за высотой снега по надземной части мерзлотомера прекращаются. Надземная часть его берется в деревянный короб 10X10 см, закрепленный в снегу. Верхний конец короба должен быть выше максимальной за зиму высоты снежного покрова, иначе под снегом будет потерян мерзлотомер или потребуется каждый раз проходить шурф в снегу, чтобы добраться до мерзлотомера, что приведет к нарушению природной обстановки на площадках.

2.18. Если нет мерзлотомеров длиной 3 м, а глубина сезонного промерзания или протаивания превышает 1,5 м, устанавливаются параллельно два мерзлотомера по 1,5 м. При этом необходимо, чтобы хотя бы один из них имел надземную часть длиной 1 м. Это позволяет заглубить рабочую часть мерзлотомера до 2,4—2,5 мм, оставив над поверхностью конец его длиной 5—10 см и взяв его в короб, высота которого превышает максимальную высоту снежного покрова. Если мерзлотомер взят в короб, к кольцу на его крышке привязывают шпагат, другой конец которого закрепляют на коробе, чтобы при производстве наблюдений он не упал в короб. Иначе придется в ряде случаев снимать короб и вновь устанавливать его, что неизбежно приведет к нарушению условий на площадке. Лучше мерзлотомеры устанавливать в скважины. Зазор между обсадной трубой мерзлотомера и стенкой скважины заполняется вынутым грунтом с легким уплотнением. При бурении ведется детальное описание пород, отбираются образцы для определения влажности, гранулометрического состава, водно-физических свойств и др.

2.19. Рабочая часть мерзлотомера Данилина — резиновая трубка с делениями через 1 см, заполняемая дистиллированной водой. Следует иметь в виду, что с началом замерзания воды резиновая трубка постепенно немного изгибается и начинает с трудом входить в обсадную трубу. Необходимо следить за тем, чтобы мерзлотомер был опущен на нужную глубину до установленной отметки, иначе искажаются результаты наблюдений. Показателем правильности установки рабочей части мерзлотомера служит состояние шпагата, соединяющего резиновую трубку с крышкой. Мерзлотомер установлен правильно, если шпагат натянут и тянет за собой крышку, когда ею закрывают обсадную трубку. Если шпагат образует петлю около крышки, не натянут, рабочая часть мерзлотомера установлена неправильно, находится выше нужной отметки. Резиновую трубку необходимо извлечь и вновь с силой протолкнуть в обсадную трубу. Это нужно повторять до тех пор, пока шпагат между крышкой и рабочей частью мерзлотомера не будет в натянутом положении при закрывании крышки. Особенно сложно устанавливать в правильное положение мерзлотомер, если он взят в короб, и шпагат тянется не только от резиновой трубки к крышке, но и от крышки к краю короба. В этом случае на шпагате, соединяющем крышку с коробом, делается метка (завязывается узел) вровень с краем короба. Показателем правильной установки мерзлотомера после каждого наблюдения будет натянутое состояние шпагата при закрывании крышки и положении метки (узелка) на наружном конце шпагата на краю короба. Короб закрывают, чтобы в него не попадал снег и дождь.

2.20. Для приведения мерзлотомера в рабочее состояние его резиновую

трубку полностью заполняют дистиллированной водой. Для этого вынимают верхнюю пробку и с помощью пипетки постепенно, давая удалиться воздушным пузырькам, наполняют ее водой. Воздух должен быть полностью вытеснен из трубки, иначе будут ошибки в наблюдениях. Для того чтобы убедиться, что трубка полностью заполнена водой, ее нужно вновь заткнуть пробкой и проморозить (летом — в бытовом холодильнике). Если после этого в трубке окажутся участки без льда (мягкие), значит воздух из нее не удален полностью. Ее нужно разморозить и дополнить водой, удалив пузырьки воздуха. После этого вновь проверить полноту заполнения трубки. Когда трубка заполнена, ее опускают в обсадную трубу (в размороженном состоянии).

2.21. Поскольку зимой световой день короток, нужно следить за тем, чтобы деления на резиновой трубке были четко видны. Нередко они бывают нанесены темной красной краской и плохо различимы при слабом освещении. Целесообразно восстановить их белой краской. Дополнительные сведения о правилах установки мерзлотомера (время установки, положение нуля) приведены в пп. 5.22 — 5.24.

Одновременно проводятся наблюдения за осадкой пород при протаивании и пучением при промерзании. Без сведений об их величине в области многолетнемерзлых грунтов невозможно определить глубину сезонного протаивания в год наблюдений, а вне ее — глубину сезонного промерзания.

2.22. В тех случаях, когда требуется не только проследить за ходом сезонного промерзания и протаивания, но и выявить влияние ряда климатических факторов на эти процессы, на опытных площадках или части их проводятся наблюдения за изменением погодных условий по методике, принятой в системе АГМС и ГМС. Они удорожают и усложняют исследования, но установление зависимости показателей сезонного промерзания и протаивания от климатических факторов позволяет более обоснованно экстраполировать полученные данные. Количество ГМС, ведущих только метеонаблюдения во много раз больше, чем АГМС и ГМС, наблюдающих также и за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов.

2.23. При необходимости на опытных площадках организуются также наблюдения за температурой грунтов. Это позволяет выявить:

зависимость качественных и количественных особенностей сезонного промерзания и протаивания от температуры пород; контролировать в известной мере показания мерзлотомера Данилина и точнее восстанавливать ход этих процессов при повреждении мерзлотомера;

при промышленном освоении территории судить о мощности горизонта твердомерзлого грунта;

при сельскохозяйственном освоении территории, закреплении склонов путем их задернования и т. д. — об особенностях температурного режима в слое корнеобитания.

Для наблюдений за ходом температуры грунтов устанавливаются электротермометры, расположенные с интервалом меньшим, чем принято АГМС и ГМС, но часть термометров обязательно располагается на тех же глубинах что и на ГМС и АГМС. Установке термометров должны предшествовать наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания для выявления их качественных особенностей. Это позволит определить необходимый интервал между термометрами по вертикали. В основном он должен быть меньше в верхней и нижней части сезоннопромерзающих и протаивающих грунтов мощностью каждая около 20—30 см и составлять примерно 5 см. В средней части его можно увеличить до 10—20 см при глубине сезонного промерзания свыше 1 м. При максимальной за репрезентативный период

глубине проявления этих процессов, меньшей 1 м, интервал между термометрами не должен быть более 10 см, а при меньшей 50 см — более 5 см. Лишь в том случае, когда наблюдается только прямое промерзание или протаивание грунтов, возможен один и тот же интервал между термометрами, начиная с глубины 20—30 см. До этой глубины интервал 5 см. Такое размещение термометров позволяет получить не только правильное представление о температурном режиме грунтов, но и дополнительно проследить за изменением во времени положения нулевой термоизоплеты, которое не всегда обоснованно отождествляется с ходом глубины сезонного промерзания и протаивания. При наличии тепломеров организуются наблюдения за тепловыми потоками в грунтах.

2.24. Периодически по маркированным маршрутам, по методике АГМС и ГМС проводится снегомерная съемка и измеряется плотность снега, описывается структура снежного покрова.

Преимущественно по тем же маршрутам на разных типах местности проводятся наблюдения за влажностью, мощностью промерзшего горизонта, объемным весом, криогенным строением грунтов.

2.25. На основных типах местности проходят глубокие скважины до зоны нулевых годовых амплитуд температуры, скважины оборудуют электротермометрами, размещенными в пределах слоя, соответствующего по мощности максимальной за репрезентативный период глубине сезонного промерзания и протаивания с указанным в п. 2.23 интервалом, а ниже с интервалом 1 м. Наблюдения по ним проводят один раз в месяц. Это позволяет судить о влиянии температуры подстилающих грунтов на сезонное промерзание и протаивание, а также составить более детальное представление о температурном режиме грунтов на исследуемом участке. Наружный конец обсадной трубы термометрических скважин необходимо взять в короб с засыпкой его сухим грунтом или торфом. Наружное отверстие трубы плотно закрывать во избежание попадания в нее наружного холодного воздуха и атмосферных осадков.

Порядок проведения наблюдений

2.26. Наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания грунтов проводятся ежедневно, один раз в сутки. Если стоит задача выявить особенности не только устойчивого сезонного промерзания и протаивания, но и неустойчивого и кратковременного, целесообразно первые 0,5—1 мес с их начала проводить наблюдения три раза в сутки (в 7, 13 и 19 ч), особенно при неустойчивом снежном покрове осенью и непосредственно после схода снежного покрова весной.

В те же сроки проводятся наблюдения также за ходом температуры воздуха и грунта, поверхности грунта и снега, за направлением и скоростью ветра, высотой снежного покрова на опытных площадках и т. д., если была необходимость в их организации. Во избежание нарушения условий на площадках желательны дистанционные наблюдения по электроприборам. К остальным приборам подходить строго по одной и той же тропе, подстилая временно короткие доски и снимая их после наблюдений.

Снегомерная съемка по маркированным маршрутам проводится по методике, принятой на ГМС, не реже трех раз в зиму, в основном в конце ноября, января, марта. Замеряются высота и плотность снега у каждой вешки, описывается структура снежного покрова.

На основных типах местности, на участках, помеченных вешками, раз в месяц или по три раза за холодный и теплый сезон бурятся скважины

на полную мощность сезоннопромерзающих и протаивающих грунтов плюс 0,5 м и через каждые 10 см из мерзлой и талой их части отбираются образцы на влажность и объемный вес с описанием разреза. Это позволяет получить дополнительные сведения о ходе промерзания и протаивания, зависимости его от состава, влажности пород, наличия водоносного горизонта, особенностей льдообразования и льдистости пород, об особенностях миграции влаги при промерзании и протаивании, формировании криогенного строения и т. д.

Первичная обработка данных

2.27. Обработка данных каждодневных наблюдений проводится ежедневно, а периодических — непосредственно после их проведения. Запись ведется в специальных журналах. По наблюдениям за ходом сезонного промерзания и протаивания вычисляется суточная скорость этих процессов. За полный месяц определяют максимальную скорость $V_{макс}$, среднюю месячную фактическую скорость V, число дней с фактическим промерзанием или протаиванием $\tau_{пр}$, число дней с остановками $\tau_{ост}$ этих процессов (когда скорость их нулевая) и число дней с частичным оттаиванием снизу $\tau_{отт}$ или с частичным промерзанием снизу $\tau_{п}$.

По окончании сезонного промерзания или протаивания те же показатели рассчитываются для всего сезона проявления каждого из них. Обязательно указывается точная дата начала и окончания промерзания и протаивания. При двустороннем сезонном промерзании и протаивании все показатели рассчитываются отдельно для прямого (сверху от дневной поверхности) и возвратного (снизу от поверхности подстилающих грунтов) промерзания или протаивания и записываются в отдельные таблицы с указанием: „прямое промерзание", „возвратное промерзание" или „протаивание". В качестве примера приведена обработка материалов каждодневных наблюдений за ходом сезонного промерзания при определении структуры календарного периода и скорости формирования мерзлых грунтов по АГМС Называевка, 1957/58 г. (табл. 1).

В данные о температуре воздуха, поверхности снега и грунта (срочный, минимальный и максимальный термометры) вносят необходимые поправки, расшифровывают ленты термографов, обрабатывают показания почвенных электротермометров, тепломеров. По материалам снегосъемки рассчитывают плотность снега, а по материалам бурения — естественную влажность, объемный вес пород.

2.28. Организуя любой вид полевых исследований процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов, следует помнить, что первичные материалы наблюдений — основа любых выводов об их особенностях. Их корректность начинается с корректности полевых наблюдений за ходом процессов и факторами, на них влияющими. Необходимо следить за тем, чтобы приборы были исправны, а наблюдения своевременными, без перерывов.

Таблица 1

Число	Мощность мерзлых грунтов, см						Скорость формирования мерзлых грунтов, см/сут						
	XI	XII	I	II	III	IV	XI	XII	I	II	III	IV	год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	45	74	112	142	177	0	2	0	1	1	2	–
2	0	46	76	112	143	177	0	1	2	0	1	0	–
3	0	48	76	114	144	178	0	2	0	2	1	1	–
4	0	50	77	117	146	179	0	2	1	3	2	1	–
5	0	52	78	118	147	179	0	2	1	1	1	0	–
6	5	54	79	120	147	180	5	2	1	2	0	1	–
7	5	55	80	121	147	180	0	1	1	1	0	0	–
8	2	57	80	121	148	182	–3	2	0	0	1	2	–
9	0	58	81	122	149	183	–2	1	1	1	1	1	–
10	0	59	82	123	149	184	0	1	1	1	0	1	–
11	5	60	82	124	149	185	5	1	0	1	0	1	–
12	7	60	82	126	150	185	2	0	0	2	1	0	–
13	10	61	83	127	150	186	3	1	1	1	0	1	–
14	8	62	85	127	151	186	–2	1	2	0	1	0	–
15	9	63	86	128	151	187	1	1	1	1	0	1	–
16	12	64	87	129	152	188	3	1	1	1	1	1	–
17	19	65	88	131	153	188	7	1	1	2	1	0	–
18	22	65	89	132	155	189	3	0	1	1	2	1	–
19	23	66	91	134	157	189	1	1	2	2	2	0	–
20	24	67	93	135	158	189	1	1	2	1	1	0	–
21	26	67	95	136	160	190	2	0	2	1	2	1	–
22	29	68	97	137	163	–	3	1	2	1	3	–	–
23	31	69	99	138	165	–	2	1	2	1	2	–	–
24	33	70	100	138	166	–	2	1	1	0	1	–	–
25	35	70	101	139	168	–	2	0	1	1	2	–	–
26	36	71	103	140	169	–	1	1	2	1	1	–	–
27	38	71	104	141	171	–	2	0	1	1	2	–	–
28	40	72	107	141	172	–	2	1	3	0	1	–	–
29	41	73	108	–	172	–	1	1	1	–	0	–	–
30	43	73	109	–	174	–	2	0	1	–	2	–	–
31	–	74	111	–	175	–	–	1	2	–	1	–	–
Сумма скоростей							45	31	37	30	34	15	192
Скорость средняя							2,37	1,34	1,42	1,30	1,42	1,15	1,48
Скорость максимальная							5	2	3	3	3	2	5
Длительность календарного периода							20	31	31	28	31	21	162
Длительность периода проявления							19	25	26	23	24	13	130
Длительность периода остановок							0	6	5	5	7	8	31
Длительность периода возвратного оттаивания							1	0	0	0	0	0	1

Начало неустойчивого прямого промерзания 6.XI

Начало устойчивого прямого промерзания 11.XI

Окончание устойчивого прямого промерзания 21.IV

3. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

Систематическое и несистематическое сезонное промерзание и протаивание

3.1. Естественная качественная неоднородность сезонного промерзания и протаивания пород весьма велика (см. рис. 1). Каждая качественная градация этих процессов развивается при строго определенных природных условиях, имеет свои количественные показатели и комплекс сопутствующих литокриогенных процессов, оказывает специфическое влияние на хозяйственную деятельность и требует неодинаковых мероприятий для ее регулирования.

3.2. Точно установить наличие и особенности проявления каждой качественной градации этих процессов можно: путем анализа имеющихся 30-летних и более данных каждодневных наблюдений за их ходом; путем проведения и анализа результатов столь же долговременных каждодневных наблюдений; иногда по материалам короткопериодных 2—5-летних наблюдений не только каждодневных, но и пентадных и даже декадных. Первый и второй методы универсальны, применимы для выявления особенностей любой качественной градации сезонного промерзания и протаивания, третий — лишь некоторых из них. Для суждения о качественных особенностях этих процессов достаточно проследить по многолетним каждодневным данным проявление прямого и возвратного сезонного промерзания и протаивания. Проще всего это сделать путем анализа материалов наблюдений, проводимых АГМС и ГМС, если они имеются в пределах исследуемой территории или по-соседству с ней. Северные районы СССР слабо обеспечены подобными наблюдениями. Интенсификация их промышленного освоения делает необходимым расширение сети станций, следящих за сезонным промерзанием и протаиванием грунтов. Пока нужно знать, как при невозможности проведения каждодневных 30-летних наблюдений организовать натурные исследования этих процессов, чтобы получить возможно большую информацию об их особенностях.

3.3. Установлено, что сезонное промерзание и протаивание грунтов в одних районах проявляется ежегодно или систематически, в других лишь в отдельные годы или несистематически. До сих пор, когда отмечали эту качественную особенность данных процессов, имели в виду лишь одну их модификацию — прямое сезонное промерзание и прямое сезонное протаивание, наиболее широко проявляющиеся в природе. Но те же качественные градации свойственны возвратному сезонному промерзанию и протаиванию.

На территории СССР четко прослеживается зональность проявления систематического и несистематического сезонного промерзания и протаивания грунтов (см. рис. 2, 3). На большей северной части СССР они в основном систематические, но в ее пределах есть участки с несистематическим проявлением этих процессов: неглубокие озера, болота, участки раннего большого снегонакопления и т. д. Число и площадь их возрастают к югу с уменьшением суровости природной обстановки. В южной части СССР сезонное промерзание и протаивание только несистематические, кроме горных районов.

3.4. Установить систематическое или несистематическое прямое сезонное промерзание или протаивание грунтов на том или ином участке можно лишь путем многолетних наблюдений. При наличии на исследуемой территории или по соседству станции, располагающей многолетним рядом наблю-

дений, достаточно анализа таких данных, знания природного многообразия территории и влияния природных факторов на промерзание и протаивание. Уверенно говорить систематическое или несистематическое сезонное промерзание или протаивание на том или ином участке можно лишь при наличии 30-летнего и более ряда данных о ходе этих процессов в его пределах. При коротком периоде наблюдений отсутствие перерывов в сезонном промерзании или протаивании грунтов не может служить показателем его систематического проявления в течение репрезентативного периода. Если даже за 2—5 лет наблюдений зафиксированы годы без сезонного промерзания или протаивания, можно уверенно говорить о несистематическом проявлении здесь этих процессов.

3.5. Наблюдениями нужно охватывать участки, благоприятные для проявления прямого сезонного промерзания и протаивания, и участки, неблагоприятные для них. Это позволит установить, какое сезонное промерзание и протаивание свойственно исследуемой территории — только систематическое или несистематическое, или сочетание того и другого (иногда даже за короткий период наблюдений); позволит определить, при каких зимних погодных условиях, обводнении поверхности и влажности грунтов в том или ином районе не будет проявляться сезонное промерзание, а значит и протаивание грунтов.

3.6. Участки систематического и несистематического сезонного промерзания и протаивания показывают на карте наряду с участками без проявления этих процессов за репрезентативный период. Это позволяет определить, какой процент исследуемой площади занимают участки с систематическим, несистематическим промерзанием (протаиванием) и без их проявления за репрезентативный период.

3.7. Пентадные, декадные и более редкие многолетние стационарные и полустационарные наблюдения в ряде случаев также позволяют определить систематическое или несистематическое прямое сезонное промерзание и протаивание грунтов на том или ином участке. Таких наблюдений достаточно в том случае, когда данные процессы, хотя и несистематические, но проявляются в год их развития не менее 5 — 10 дн. Чем реже сроки наблюдений, тем длительнее должны проявляться процессы, чтобы зафиксировать их развитие.

3.8. В южных районах СССР, где прямое сезонное промерзание и протаивание грунтов нередко длится всего несколько дней и в разное время в разные годы, пентадными, а тем более декадными наблюдениями лишь случайно можно зафиксировать их проявление. Только каждодневные наблюдения дают материал для объективного суждения о частоте проявления здесь прямого сезонного промерзания и протаивания как за год, так и за многолетний период.

3.9. Маршрутные исследования, даже повторные, в основном не позволяют установить систематическое или несистематическое промерзание и протаивание грунтов на том или ином участке и частоту проявления несистематического. Но в сочетании со стационарными и полустационарными, особенно каждодневными, они помогают выявить распространение участков несистематического развития процессов и частоту их проявления. Для этого в период наиболее интенсивного прямого промерзания грунтов на стационарной площадке путем маршрутных работ необходимо проверить наличие промерзших грунтов на неблагоприятных для промерзания участках (болота, днища неглубоких озер и рек, участки большого раннего снегонакопления и т. д.).

3.10. Несистематическое прямое сезонное протаивание в основном предопределяется несистематическим сезонным промерзанием и приурочено к тем же участкам. Значительно реже встречаются участки с несистематиче-

ским сезонным протаиванием при наличии мерзлых грунтов. Это участки летующих снежников, наледей, ледников в зоне перемещения их краевой части. Чтобы установить протаивали или нет грунты на таких локальных участках, наблюдения следует проводить в конце возможного периода протаивания.

3.11. Систематическим и несистематическим бывает не только прямое, но и возвратное сезонное промерзание и протаивание. Наличие и особенности проявления возвратного промерзания во многом определяют особенности криогенного строения сезонномерзлых грунтов, распределение льда в них, длительность и структуру периода промерзания, особенности временной динамики ряда криогенных процессов: пучения, солифлюкции, оседания при протаивании и др.

Возвратное протаивание укорачивает общий период сезонного протаивания грунтов, оказывает влияние на сток талых снеговых и дождевых вод и т. д.

Эта модификация процессов проявляется не столь широко, как первая. Чтобы определить может ли на исследуемой территории проявляться возвратное сезонное промерзание или протаивание, нужно иметь представление об их пространственной приуроченности на территории СССР.

Прямое промерзание и протаивание — сопряженные процессы, всегда проявляются на одной и той же территории, сменяясь во времени в течение года. Возвратное промерзание никогда не сочетается с возвратным протаиванием. Первое проявляется только в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов и сочетается с прямым протаиванием, второе только вне этой области и сочетается с прямым промерзанием.

Проявление систематического и несистематического возвратного промерзания и протаивания подчиняется закону зональности. При температуре пород ниже $-1^{\circ}C$ проявляется систематическое возвратное промерзание, выше $+1^{\circ}C$ — систематическое возвратное протаивание, при температуре пород от $-1^{\circ}C$ до $+1^{\circ}C$ — несистематическим становится как возвратное промерзание, так и протаивание.

3.12. От этого зависит методика исследований: при положении исследуемой территории в области с неглубоким залеганием многолетнемерзлых грунтов наряду с прямым промерзанием и протаиванием возможно изучение возвратного промерзания; наиболее частые наблюдения необходимы весной с началом прямого протаивания, во второй половине лета и в дни похолодания в течение теплого периода; мерзлотомер необходимо проверять на всю длину до отметки, соответствующей мощности протаявших грунтов по предшествующему замеру.

При положении территории вне области многолетнемерзлых грунтов наряду с прямым сезонным промерзанием и протаиванием возможно изучение возвратного протаивания. Наиболее частые наблюдения проводятся со второй половины зимы до окончания протаивания, а также после оттепелей осенью и зимой. Мерзлотомер также проверяется на всю длину до отметки, соответствующей мощности мерзлого слоя по предшествующему замеру. В крайних южных районах СССР с несистематическим прямым промерзанием такие наблюдения следует вести с начала промерзания до полного протаивания мерзлого горизонта.

3.13. Судить об особенностях возвратного промерзания и протаивания пород можно лишь по результатам каждодневных многолетних стационарных наблюдений.

При несистематическом их проявлении пентадные и декадные стационарные наблюдения и маршрутные исследования не всегда позволяют установить даже наличие этих модификаций процессов, а тем более частоту их проявления.

Учитывая неоднородность геокриологических условий исследуемой территории, используя результаты полустационарных и маршрутных исследований, можно установить, свойственно ей только систематическое или только несистематическое возвратное промерзание или протаивание или сочетание этих двух качественных градаций, картографически отобразить участки проявления каждой из них.

3.14. Вопрос об учете частоты проявления несистематических процессов в геокриологической литературе не рассматривался и не предложено их градаций по этому признаку. Но это достаточно важный показатель, его следует изучать и учитывать при классификации процессов, картографировании и районировании территории по особенностям сезонного промерзания и протаивания как прямого, так и возвратного. Можно выделить две градации несистематического сезонного промерзания и протаивания: частое и редкое.

Частым несистематическим можно называть сезонное промерзание и протаивание грунтов, как прямое, так и возвратное, если за репрезентативный или требуемый период средняя продолжительность периодов ежегодного проявления любой из градаций равна и больше средней длительности интервалов между ее развитием. Например, прямое промерзание за 30 лет проявляется подряд в среднем 5 лет со средним перерывом в 2 года.

Редким несистематическим можно называть сезонное промерзание и протаивание грунтов, как прямое, так и возвратное, если за репрезентативный период средняя продолжительность ежегодного проявления любой из градаций меньше средней продолжительности интервалов между ее развитием. Определяется обеспеченность проявления прямого и возвратного несистематического промерзания и протаивания на разных участках за 30 лет.

3.15. Установить частоту их проявления можно только по результатам каждодневных наблюдений за репрезентативный или требуемый период. Пентадные, декадные и более редкие наблюдения как за 30 лет, так и более короткопериодные, в области с многолетнемерзлыми грунтами не позволяют определить характер возвратного промерзания: частое оно или редкое несистематическое, а близ ее южной границы даже наличие этой модификации промерзания. Вне этой области результаты таких наблюдений не позволяют определить характер несистематического возвратного протаивания, а близ границы с областью многолетнемерзлых грунтов даже наличие этой модификации протаивания.

3.16. Неоднородность природных условий в любой зоне может обусловить сочетание систематического и несистематического частого и редкого проявления какой-либо модификации сезонного промерзания и протаивания. Поэтому при детальном изучении этих процессов их ход следует изучать как на благоприятных для систематического проявления той или иной градации участках, так и на неблагоприятных.

3.17. При освоении территории знание особенностей проявления систематического и несистематического сезонного промерзания и протаивания в ее пределах позволяет:

1. Более точно определить глубину заложения фундаментов здания и сооружений, трубопроводов, опор и т. д. Недоучет несистематического прямого промерзания в южных районах СССР может привести к повреждению различных коммуникаций, дорог, аэродромов и т. д.

2. Повысить надежность работы временных автодорог-зимников, временных посадочных площадок и полос: при несистематическом прямом сезонном промерзании даже на отдельных участках, они могут оказаться непригодными для эксплуатации в теплые многоснежные зимы. Своевременный перенос трассы на таких участках или принятие мер по усилению промерзания грунтов на них позволит избежать аварийную ситуацию.

3. Точнее рассчитывать сток талых снеговых и грунтовых вод в реки и высоту весеннего паводка.

4. Техногенное воздействие может как увеличить, так и уменьшить число и площадь участков с систематическим и несистематическим прямым сезонным промерзанием и протаиванием. Знание природного соотношения их площадей позволяет точнее прогнозировать изменение сезонного промерзания и протаивания при нарушении естественной обстановки, изменение геокриологической обстановки в целом на осваиваемом участке, динамику ряда литокриогенных процессов.

5. Правильнее определять комплекс мероприятий по регулированию прямого промерзания и протаивания в целях увеличения или уменьшения площади и числа участков с систематическим или несистематическим их проявлением. Если в данном районе при любой природной высоте и режиме накопления снега прямое сезонное промерзание остается систематическим, бесполезно пытаться изменить его на несистематическое, меняя особенности снегонакопления. Здесь лишь снятие растительного покрова, искусственное обводнение, разные искусственные покрытия локальных участков могут сделать прямое сезонное промерзание несистематическим или вообще исключить его проявление.

В южной части области многолетнемерзлых грунтов и вне ее для исключения в отдельные годы сезонного промерзания на локальных участках достаточно изменить режим снегонакопления и высоту снега. Если известны эти характеристики снежного покрова на участках естественного несистематического прямого сезонного промерзания, можно установить, какой режим накопления и высота снега необходимы, чтобы систематическое сезонное промерзание на локальных участках стало несистематическим или вообще перестало проявляться.

6. Учет соотношения площадей систематического и несистематического частого и редкого промерзания и протаивания грунтов позволяет точнее рассчитывать стоимость земляных работ.

Устойчивое и неустойчивое сезонное промерзание и протаивание

3.18. Наряду с ритмикой проявления процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов за многолетний период немаловажно знать ритмичность их проявления в течение года.

По проявлению за год сезонное промерзание и протаивание, прямое и возвратное, разделяются на устойчивое и неустойчивое (см. п. 1.5).

3.19. Знание особенностей проявления в году прямого и возвратного промерзания и протаивания грунтов помогает:

детальнее разобраться в особенностях ряда криогенных процессов: криогенного выветривания грунтов, морозной сортировки материала, десерпции, пучения, вымораживания различных предметов из грунта, льдообразования и криогенного строения грунтов и. т. д., оказывающих влияние на освоение территории;

более обоснованно определять стоимость и сроки проведения земляных работ;

точнее прогнозировать возможные изменения сезонного промерзания и протаивания на осваиваемых территориях и более обоснованно разрабатывать мероприятия по их регулированию;

точнее определять глубину закладки различных трубопроводов, мощность насыпного слоя под аэродромные покрытия и т. д., с учетом проявле-

ния не только устойчивого, но и глубины неустойчивого в южных районах прямого промерзания и протаивания грунтов;

понять причины вымораживания сеянцев и саженцев и разработать мероприятия по повышению их сохранности;

точнее определять длительность календарного периода проявления промерзания и протаивания при расчете их глубины.

3.20. В природе наблюдаются: только устойчивое прямое сезонное промерзание и протаивание; только неустойчивое; сочетание неустойчивого и устойчивого. Закономерности изменения этих градаций прямого промерзания и протаивания в пространстве противоположны. Устойчивое прямое сезонное промерзание свойственно северным районам СССР, в которых средняя годовая температура близко залегающих многолетнемерзлых грунтов — 1°С и ниже. Прямому сезонному протаиванию в этих районах свойственно сочетание неустойчивого и устойчивого. Крайним южным районам СССР, в которых температура грунтов около + 15°С и выше, свойственно неустойчивое прямое промерзание и протаивание. В остальной части СССР — сочетание устойчивого и неустойчивого характерно как прямому промерзанию, так и прямому протаиванию (см. рис. 2, 3).

3.21. Возвратные сезонное промерзание и протаивание грунтов пока изучены слабо. Есть основания предполагать, что возвратному промерзанию в основном свойственно сочетание неустойчивого и устойчивого, сменяющихся во времени. В северных районах похолодание летом может обусловить короткое проявление возрастного промерзания. Осенью потепления вызывают временное протаивание промерзших снизу пород. В пределах области многолетнемерзлых грунтов чем южнее, тем больше на осень смещается проявление неустойчивого возвратного промерзания.

То же касается возвратного протаивания грунтов вне этой области. Чем южнее, тем больше на весну и даже на конец зимы смещается проявление систематического в многолетнем периоде неустойчивого в году возвратного протаивания.

В крайних южных районах возвратное протаивание, несмотря на потенциальную возможность устойчивого проявления, становится только неустойчивым в году из-за неустойчивости сезонного промерзания грунтов.

В средней зоне, ограниченной геоизотермами $\pm 0{,}5^{\circ}$С, а с учетом многолетней динамики геоизотермами $\pm 1^{\circ}$С несистематически за репрезентативный период и неустойчиво за год проявляется как возвратное сезонное промерзание, так и возвратное протаивание грунтов.

3.22. Начиная исследования сезонного промерзания и протаивания грунтов в любом районе, нужно хотя бы приближенно знать, развитие каких из этих градаций прямого и возвратного промерзания и протаивания возможно в его пределах и какая из них доминирует. Точно установить это можно лишь на основе анализа каждодневных данных о ходе промерзания и протаивания за многолетний период. Но такими данными располагают лишь АГМС, часть ГМС, мерзлотные станции. С учетом неоднородности природных условий это позволит приближенно определить возможные участки проявления неустойчивого и устойчивого прямого или возвратного промерзания и протаивания грунтов или сочетания этих двух градаций. Планировать размещение точек и сроки наблюдений необходимо так, чтобы получить информацию и об устойчивой и неустойчивой градации процессов, если они проявляются. При этом следует учитывать необходимость каждодневных наблюдений не только на доминирующем типе местности, но также на тех, где возможно неустойчивое прямое или возвратное промерзание или протаивание. Положение района нередко определяет возможность изучения в его пределах тех или иных градаций прямого и возвратного промерзания и протаивания грунтов. В

северных районах при температуре грунтов ниже $-1^{\circ}C$ возможно изучение устойчивого прямого, устойчивого и неустойчивого возвратного промерзания, неустойчивого и устойчивого прямого протаивания. В районах, где средняя годовая температура грунтов от $-1^{\circ}C$ до $+1^{\circ}C$, возможно изучение устойчивой и неустойчивой градации обеих модификаций сезонного промерзания и протаивания. Южнее наблюдается лишь прямое промерзание устойчивое и неустойчивое, а протаивание становится более сложным: наряду с прямым проявляется возвратное, причем то и другое как устойчивое, так и неустойчивое. В крайних южных районах — только неустойчивое прямое промерзание, прямое и возвратное протаивание.

Зональность проявления неустойчивого и устойчивого прямого и возвратного промерзания и протаивания необходимо учитывать, если нет возможности проводить каждодневные наблюдения за их ходом в течение всего периода проявления. Пентадные и декадные наблюдения должны дополняться наблюдениями за ходом процессов в периоды заморозков и похолоданий, когда могут проявиться неустойчивое прямое и возвратное промерзание, или в периоды оттепелей, когда возможно неустойчивое прямое или возвратное протаивание.

3.23. При некаждодневных наблюдениях сроки и частота их определяются особенностями в году тех градаций сезонного промерзания и протаивания грунтов, изучение которых составляет цель исследований. Это повышает эффективность полевых работ, информативность их результатов без увеличения стоимости. Наблюдения следует начинать примерно за неделю до наиболее ранней за репрезентативный период даты начала исследуемой модификации сезонного промерзания или протаивания или с этой даты. Если интересуют все качественные градации процесса, наблюдения следует начинать за неделю до наблюденной за репрезентативный период даты начала самой ранней из градаций сезонного промерзания или протаивания. Во всех остальных случаях необходимо четко оговаривать, о начале какой градации промерзания или протаивания идет речь: неустойчивого или устойчивого, прямого или возвратного. При отсутствии многолетних данных о датах начала разных градаций сезонного промерзания и протаивания наблюдения целесообразно начинать с наиболее ранней за 30 лет даты перехода минимальной суточной температуры воздуха через $0^{\circ}C$, за прямым протаиванием — с наиболее ранней даты перехода максимальной суточной температуры воздуха через $0^{\circ}C$. Наблюдения за возвратным промерзанием начинать: систематические со второй половины лета, с начала понижения температуры воздуха, несистематические в периоды похолодания и заморозков в течение теплого периода года; за возвратным протаиванием — со второй половины зимы и в периоды оттепелей. В южных районах с несистематическим промерзанием и протаиванием — на протяжении всего холодного периода до полного протаивания грунта и прекращения заморозков.

Однонаправленное и двунаправленное сезонное промерзание и протаивание и их градации

3.24. В природе проявляется как однонаправленное сезонное промерзание и протаивание грунтов: прямое или возвратное, так и двунаправленное, обусловленное совокупным проявлением обеих этих модификаций. В зависимости от соотношения времени начала прямого и возвратного сезонного промерзания или протаивания двунаправленный процесс разделяется на три градации: прямоупреждающее, возвратноупреждающее и синхронное (см. п. 1.5).

Каждая градация одно- и двунаправленного промерзания или протаивания может систематически или несистематически проявляться в многолетнем периоде, устойчиво или неустойчиво в году.

3.25. Знание этих качественных особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов необходимо при изучении:

закономерностей льдообразования и льдотаяния в грунтах;

основных закономерностей криогенного строения сезонномерзлых и сингенетических многолетнемерзлых грунтов;

особенностей миграции и распределения влаги и воднорастворимых солей в сезоннопромерзающих грунтах;

динамики и интенсивности проявления литокриогенных процессов: пучения, солифлюкции, сплывов, оползней, криозрозии и т. д.;

при прогнозировании изменений сезонного промерзания и протаивания грунтов и разработке методов их регулирования;

при определении оптимальных сроков земляных работ;

при расчете стока талых снеговых и грунтовых вод.

3.26. Установить одно- или двунаправленное сезонное промерзание или протаивание грунтов характерно для той или иной территории, систематическое или несистематическое за репрезентативный период, устойчивое или неустойчивое, в году можно по материалам каждодневных наблюдений за этими процессами на протяжении репрезентативного периода. Те же материалы необходимы для определения градаций однонаправленного (прямое или возвратное) и двунаправленного промерзания и протаивания.

Чтобы определить проявляется на исследуемой территории только однонаправленное промерзание или есть участки и двунаправленного, по материалам каждодневных наблюдений выявляют в основном наличие возвратного сезонного промерзания, так как наличие прямого на таких участках сомнений не вызывает. Иное дело сезонное протаивание. Лишь в тех районах, где систематически, устойчиво проявляется прямое протаивание для определения градации двунаправленного сезонного протаивания грунтов, достаточно проследить особенности возвратного. В крайних южных районах для этого требуется анализ хода как прямого, так и возвратного, поскольку здесь несистематическим является прямое протаивание при систематическом возвратном.

Пентадных, декадных и более редких наблюдений иногда бывает достаточно, чтобы установить одно- или двунаправленное сезонное промерзание или протаивание проявляется на том или ином участке, но недостаточно для выделения их градаций.

Для определения градации каждого из них требуется знать: только прямое или только возвратное промерзание или протаивание на том или ином участке наблюдается за весь период проявления процесса или с определенного времени начинается их одновременное проявление; время начала прямого и возвратного процесса.

3.27. Чтобы иметь представление о соотношении участков с разными градациями одно- и двунаправленного промерзания или протаивания, наряду с ограниченным числом точек долговременных стационарных исследований проводятся полустационарные и маршрутные наблюдения в период возможного начала прямого или возвратного сезонного промерзания или протаивания. Наиболее ранними они должны быть на участках суровых геокриологических условий, где рано начинается возвратное промерзание, и на самых „теплых" участках с ранним началом возвратного протаивания. Применение ландшафтно-индикационного метода, особенно при знании среднегодовой температуры грунтов на разных участках, позволяет картографически показать распределение одно- и двунаправленного промерзания или протаивания и их градаций на исследуемой территории.

3.28. Из-за ограниченности точек, обеспеченных многолетними каждодневными данными о ходе сезонного промерзания и протаивания грунтов, важно знать косвенные показатели разных градаций одно- и двунаправленного промерзания и протаивания. Однонаправленное прямое промерзание характерно территориям, на которых средняя годовая температура грунтов выше $-0{,}5^{\circ}$ С. Однонаправленное прямое сезонное протаивание характерно территориям, на которых средняя годовая температура грунтов ниже $+0{,}5^{\circ}$ С. Двунаправленное сезонное промерзание свойственно территориям со средней годовой температурой грунтов $-0{,}5^{\circ}$ С и ниже. Двунаправленное сезонное протаивание свойственно территориям со средней годовой температурой грунтов $+0{,}5^{\circ}$ С и выше. Отсюда двунаправленное промерзание всегда сочетается с однонаправленным прямым сезонным протаиванием, а двунаправленное сезонное протаивание — с однонаправленным прямым промерзанием. Геоизотермы $\pm 0{,}5^{\circ}$ С отграничивают территорию, на которой однонаправленным прямым является и сезонное промерзание и сезонное протаивание. С учетом многолетней динамики температуры грунтов территории со средними годовыми ее значениями от -1 до $+1^{\circ}$ С можно рассматривать как территории преобладающего во времени сочетания прямого сезонного промерзания и прямого сезонного протаивания.

4. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ КАЛЕНДАРНОГО ПЕРИОДА ПРОЯВЛЕНИЯ И ОСНОВНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

Структура календарного периода и ее классификация

4.1. Количественные показатели разных градаций одно- и двунаправленного сезонного промерзания и протаивания грунтов нельзя объективно оценить и понять закономерности их изменения во времени и пространстве, не зная особенностей календарного периода проявления данных процессов.

Календарным называется период проявления любой качественной градации, сезонного промерзания или протаивания, ограниченный сроками (датами) ее начала и окончания.

Общим календарным периодом двунаправленного промерзания или протаивания грунтов называется период, ограниченный сроком (датой) начала наиболее ранней и окончания наиболее поздней качественной градации данного процесса. Это возможный период проявления процесса или какой-либо его градации, но возможность не всегда полностью реализуется.

4.2. Сезонное промерзание и протаивание, разные их качественные градации не везде и не всегда проявляются непрерывно. Нередко в силу ряда причин процесс временно приостанавливается. Прямое промерзание (протаивание) может на время смениться возвратным протаиванием (промерзанием), которое приведет к частичной или полной ликвидации промерзшего (протаявшего) горизонта.

То же касается возвратного промерзания (протаивания) грунтов, которое временно может приостанавливаться, сменяться частичным или полным прямым протаиванием (промерзанием) возвратно промерзшего (протаявшего) горизонта. Следовательно, как общий календарный период сезонного промерзания (протаивания), так и календарный период $\tau_к$ каждой из двух его модификаций (прямое, возвратное) не всегда соответствует периоду их фактического проявления $\tau_{пр}$. Нередко он равен суммарной величине периода фактического проявления процесса $\tau_{пр}$ и общего периода его остано-

Таблица 2

Тип	Подтип	Вид	Критерий
		А	
Простая $\tau_к^{пр}$	–	–	$\tau_к = \tau_{пр}$
Переходная $\tau_к^{п}$	Северная $\tau_к^{пс}$	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Южная $\tau_к^{пю}$	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
Сложная $\tau_к^{с}$	Двухкомпонентная $\tau_к^{2с}$	–	$\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$
	Промежуточная $\tau_к^{сп}$	Северная $\tau_к^{спс}$	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
		Южная $\tau_к^{спю}$	$n(\tau_к = \tau_{ост} + \tau_{ост}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт})$
	Трехкомпонентная $\tau_к^{3с}$	–	$\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$
		Б	
Простая $\tau_к^{пр}$	–	–	$\tau_к = \tau_{пр}$
Переходная $\tau_к^{п}$	Северная $\tau_к^{пс}$	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
	Южная $\tau_к^{пю}$	–	$n(\tau_к = \tau_{пр}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост})$
Сложная $\tau_к^{с}$	Двухкомпонентная $\tau_к^{2с}$	–	$\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$
	Промежуточная $\tau_к^{сп}$	Северная $\tau_к^{спс}$	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) < n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{п})$
		Южная $\tau_к^{спю}$	$n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}) \geqslant n(\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{п})$
	Трехкомпонентная $\tau_к^{3с}$	–	$\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{п}$

вок $\tau_{ост}$ или сумме $\tau_{пр}$, $\tau_{ост}$ и периода частичного возвратного протаивания (промерзания) при оттепелях (похолоданиях), если исследуется $\tau_к$ прямого или периода частичного прямого промерзания (протаивания), если исследуется $\tau_к$ возвратного, т.е. $\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$ (или $\tau_п$).

4.3. Учет неоднородности структуры календарного периода устойчивого сезонного промерзания и протаивания в каждый конкретный год и за многолетний период позволил разработать ее классификацию [7].

Структура календарного периода устойчивого сезонного промерзания (протаивания) грунтов называется простой $\tau_к^{пр}$ при равенстве периодов календарного и фактического проявления процесса на протяжении 30-летнего периода. В табл. 2 приведена классификация структуры календарных периодов ($\tau_к$) сезонного промерзания (А) и протаивания (Б) грунтов по соотношению числа (n) холодных (теплых) сезонов с разной структурой $\tau_к$.

Переходной $\tau_к^{п}$ называется структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов, если за 30 лет она бывает не только простой однокомпонентной ($\tau_к = \tau_{пр}$), но и двухкомпонентной ($\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$). 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 период числа сезонов с двухкомпонентной структурой $\tau_к$, структура $\tau_к$ сезонного промерзания называется переходной южной, а сезонного протаивания — переходной северной.

4.4. Сложной называется структура календарного периода сезонного промерзания (протаивания) грунтов, 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 промерзания называется промежуточной северной $\tau_к^{спс}$, а протаивания — промежуточной южной. Если преобладает число сезонов с трехкомпонентной структурой, она называется промежуточной южной $\tau_к^{спю}$ применительно к сезонному промерзанию и северной применительно к сезонному протаиванию.

4.5. Структура календарного периода промерзания (протаивания) пород называется сложной трехкомпонентной $\tau_к^{3с}$, если она трехкомпонентная в каждый сезон за 30-летний период: $\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$ (или $\tau_п$).

Структура $\tau_к$ неустойчивого прямого и возвратного промерзания (протаивания) может быть или двухкомпонентной: $\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост}$, или трехкомпонентной: $\tau_к = \tau_{пр} + \tau_{ост} + \tau_{отт}$ (или $\tau_п$).

4.6. Знание продолжительности и структуры календарных периодов сезонного промерзания и протаивания грунтов позволяет:

детальнее изучить и правильнее оценивать начало, длительность проявления и скорость любой их модификации;

точнее прогнозировать изменения этих процессов, как правило, начинающиеся с изменения структуры календарного периода их проявления;

повысить точность расчета глубины прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов; нередко структура календарного периода, если она сложная или переходная, оказывает более существенное влияние на глубину проявления этих процессов, чем его длительность;

более обоснованно судить о динамике комплекса сопряженных с сезонным промерзанием и протаиванием литокриогенных процессов;

детальнее понять и правильнее оценить влияние природных факторов на ход и глубину сезонного промерзания и протаивания, поскольку оно проявляется через вариацию дат начала и окончания, изменение структуры календарного периода и скорости проявления процессов;

более обоснованно и рационально планировать мероприятия по регулированию как сезонного промерзания и протаивания грунтов, так и сопряженных с ними ликтокриогенных процессов;

от ее особенностей во многом зависит льдистость и морфометрические характеристики ледяных шлиров в сезонномерзлых и сингенетических многолетнемерзлых грунтах.

4.7. Для выявления особенностей календарного периода сезонного промерзания или протаивания необходимы каждодневные 30-летние данные о ходе процессов. Более короткопериодные наблюдения позволяют определить структуру календарного периода процессов за время исследований, но не всегда достаточны для выявления доминирующего ее типа или вида и прогноза ее возможных изменений. Пентадные, декадные наблюдения за любой период практически не пригодны для установления особенностей календарного периода даже прямого промерзания или протаивания, а тем более возвратного. Особенности $\tau_к$ изучаются раздельно для каждой модификации этих процессов.

Методика изучения начала и окончания сезонного промерзания и протаивания

4.8. Познание особенностей календарного периода прямого или возвратного сезонного промерзания и протаивания начинается с определения и анализа дат его начала $t_н$ и окончания $t_к$. При наличии непрерывного 30-летнего и более ряда каждодневных данных выписываются и анализируются зарегистрированные наблюдениями $t_н$ и $t_к$ каждой или требуемой градации сезонного промерзания и протаивания грунтов. Указываются наиболее ранние и наиболее поздние $t_н$ и $t_к$, рассчитываются средние за 30 лет их даты $\bar{t}_н$ и $\bar{t}_к$, размах их вариации, среднее квадратическое отклонение частных (за каждый год) дат от средних многолетних. В табл. 3 в качестве примера приведена обработка данных о начале устойчивого прямого сезонного промерзания грунтов на Ханкайской равнине. В зависимости от характера и целей исследований строится региональный вариант или общая для СССР классификация сезонного промерзания и протаивания грунтов по их началу и окончанию, дается характеристика процессов по этим показателям за многолетний период. Целесообразно применение системы баллов. Балл каждой градации соответствует ее порядковому номеру в классификации (см. рис. 1). Это позволяет лаконично передать информацию об этих показателях, применять машинную обработку данных.

4.9. По ряду причин в многолетних каждодневных наблюдениях бывают перерывы. Даже короткий перерыв в наблюдениях осенью иногда приводит к отсутствию точных сведений о начале сезонного промерзания, а весной — о начале сезонного протаивания. То же касается окончания этих процессов, если перерывы наблюдений совпадают с ним. Отсутствие сведений о начале или окончании процессов в отдельные годы делает несравнимыми ряды данных о $t_н$ и $t_к$ и о длительности календарного периода промерзания и протаивания на разных станциях.

Восстановление непрерывности ряда данных о $t_н$ и $t_к$ возможно разными методами. Один из них метод разности: по соседним станциям, без перерыва наблюдений в данный год, рассчитывают разницу между датой

Таблица 3

Зимы, показатели	Гидрометеостанции						
	Новосельское	Свияжино	Спасск-Дальний	Халкидон	Астраханка	Жариково	Тугий Рог
1962/63	9.XI	–	10.XI	15.XI	15.XI	6.XI	11.XI
1963/64	9.XI	9.XI	21.XI	21.XI	9.XI	13.XI	9.XI
1964/65	16.XI	16.XI	17.XI	16.XI	16.XI	10.XI	1.XI
1965/66	6.XI	5.XI	6.XI	1.XI	8.XI	(8.XI)	(5.XI)
1966/67	7.XI	16.XI	20.XI	9.XI	9.XI	9.XI	3.XI
1967/68	8.XI	9.XI	8.XI	9.XI	7.XI	9.XI	7.XI
1968/69	12.XI	16.XI	11.XI	27.XI	16.XI	15.XI	10.XI
1969/70	11.XI	15.XI	1.XI	11.XI	11.XI	(10.XI)	11.XI
1970/71	14.XI	21.XI	11.XI	14.XI	11.XI	11.XI	11.XI
1971/72	17.XI	15.XI	5.XI	5.XI	3.XI	14.XI	6.XI
1972/73	8.XI	–	30.X	8.XI	5.XI	10.XI	30.X
1973/74	11.XI	–	11.XI	11.XI	10.XI	11.XI	1.XI
1974/75	1.XI	9.XI	8.XI	8.XI	8.XI	1.XI	1.XI
1975/76	9.XI	–	19.XI	14.XI	14.XI	14.XI	7.XI
Средняя	10.XI	13.XI	10.XI	12.XI	10.XI	10.XI	6.XI
Ошибка	1	2	2	2	1	1	1
Наиболее ранняя дата	1.XI	5.XI	30.X	1.XI	3.XI	1.XI	30.X
год	1974	1965	1972	1965	1971	1974	1972
Наиболее поздняя дата	17.XI	21.XI	21.XI	16.XI	15.XI	15.XI	11.XI
год	1971	1970	1963	1968	1964 1968	1968	1962, 1969, 1970
Размах вариации R	16	16	22	26	13	14	12
Дисперсия σ^2	17,2	23,4	46,3	43,2	16,0	13,2	19,6
Среднее квадратическое отклонение σ	4,2	4,8	6,8	6,6	4,0	3,6	4,4
% зим с началом устойчивого прямого промерзания: октябрь, III декада	0	0	7	0	0	0	7
ноябрь							
I декада	57	40	43	43	57	64	71
II декада	43	50	43	43	43	36	22
III декада	0	10	7	14	0	0	0

Примечание. Здесь и далее цифры, взятые в скобки, получены косвенными методами.

Таблица 4

АГМС	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	Среднее за многолетний период	Число зим
Леуши	(20.X)	(22.X)	(14.X)	(31.X)	(25.X)	25.X	26
Демьянское	(21.X)	(8.X)	(15.X)	(1.XI)	26.X	28.X	26
Уват	(21.X)	(8.X)	(15.X)	(1.XI)	(26.X)	22.X	26
Тобольск	(20.X)	(8.X)	(14.X)	(1.XI)	(26.X)	27.X	29
Вагайское	21.X	10.X	15.X	1.XI	26.X	27.X	22
Нижняя Тавда	21.X	23.X	16.X	1.XI	26.X	28.X	22
Ярково	14.X	1.XI	15.X	1.XI	26.X	26.X	22
Тюмень	(21.X)	(23.X)	(15.X)	(1.XI)	(27.X)	28.X	29
Балахлей	31.X	14.X	16.X	1.XI	26.X)	24.X	22
Юргинское	21.X	23.X	12.X	1.XI	27.X	30.X	23
Викулово	(21.X)	(11.X)	(1.XII)	(1.XI)	(27.X)	30.X	29
Ялуторовск	(21.X)	(21.X)	15.X	1.XI	(28.X)	27.X	29
Вагай ж. д.	31.X	11.X	16.X	31.X	26.X	30.X	26
Солобоево	21.X	10.X	16.X	1.XI	26X	29.X	21
Голышманово	14.X	14.X	16.X	1.XI	26.X	25.X	22
Абатский	21.X	(14.X)	(16.X)	1.XI	(27.X)	26.X	16
Упорово	22.X	(11.X)	17.X	2.XI	28.X	28.X	11
Ишим	30.X	12.X	16.X	1.XI	27.X	29.X	26
Бердюжье	22.X	11.X	(2.XII)	1.XI	27.X	2.XI	25
Казанское	16.X	12.X	17.X	1.XI	25.X	26.X	14
Сладково	15.X	11.X	16.X	1.XI	28.X	29.X	25
Ильинское	15.X	11.X	23.X	1.XI	25.X	28.X	24

Примечание. В скобках даты, полученные косвенными методами.

начала или окончания процесса в данный год и в предшествующий или последующий. Считая, что на исследуемом участке разница между $t_н$ или $t_к$ в искомый и предшествующий или последующий год равна средней разнице $t_н$ или $t_к$ за те же годы по соседним станциям, определяют $t_н$ или $t_к$ в искомый год. При редкой сети станций то же можно сделать по данным одной станции.

Довольно точно восстановить непрерывность рядов $t_н$ и $t_к$ можно путем анализа их значений по большому числу станций региона или определенной его части за искомый год. В табл. 4 показано воосстановление непрерывности рядов дат начала устойчивого сезонного промерзания в Западной Сибири комплексом методов, включая „анализ по столбам" при небольшой вариации фактических дат.

Если размах вариации $t_н$ или $t_к$ невелик, а в пунктах, ближайших к исследуемому, $t_н$ или $t_к$ одинаковы или разнятся всего на 1—2 дня, можно взять среднее значение $t_н$ или $t_к$ на соседних станциях (или их значение на одной станции за искомый год.

4.10. Дату начала прямого сезонного промерзания и протаивания можно определить по ходу температуры воздуха. Нередко дату перехода средней суточной температуры воздуха через 0° С осенью считают началом сезонного прямого промерзания, а переход ее через 0° С весной началом прямого протаивания грунтов.

Но тот и другой процесс может начинаться и раньше и позже этих дат, причем разница до 30 дней и более. В табл. 5 дано соотношение дат перехода средней суточной температуры воздуха через 0° С и дат начала и окончания устойчивого прямого промерзания грунтов в Западной Сибири. В малоснежные зимы прямое промерзание нередко начинается при положительной невысокой (примерно до 1—1,5°С) средней суточной и отрицательной минимальной за сутки температуры воздуха. При раннем исчезновении невысокого снежного покрова прямое протаивание начинается при отрицательных средних и положительных максимальных за сутки температурах воздуха. В зимы с ранним установлением снежного покрова высотой до 20 см и более начало прямого промерзания, наоборот, запаздывает по сравнению с датой осеннего перехода средней суточной температуры воздуха через 0°С. В районах, где максимальная высота снежного покрова приходится на весну и снег сохраняется какое-то время после перехода даже минимальной суточной температуры воздуха через 0° С, наблюдается запаздывание начала прямого протаивания по сравнению с датой весеннего перехода средней суточной температурой воздуха через 0° С. Поэтому при определении начала прямого сезонного промерзания и протаивания грунтов по температуре воздуха необходимо анализировать ход не только средней суточной температуры воздуха, но и максимальной и минимальной за сутки, а также динамику накопления и схода снежного покрова. При наличии данных о температуре пород на 5, 10, 15 и 20 см полученная дата начала прямого промерзания уточняется путем их анализа.

4.11. Можно также для искомого года рассчитать разницу между датой перехода через 0° С средней суточной температуры воздуха и датой начала промерзания или протаивания на соседних станциях и по ней определить начало этих процессов в искомый год в исследуемом пункте. Например, в трех соседних пунктах в данный год прямое сезонное промерзание грунтов началось соответственно на 5, 7 и 12 дней позднее перехода средней суточной температуры воздуха через 0° С осенью. Средняя разница 8 дней. В исследуемом пункте переход средней суточной температуры воздуха через 0° С пришелся на 10.X. Следовательно, датой начала прямого сезонного промерзания можно считать 18.X. Этот метод может дать довольно точный результат при сопоставлении районов со сходными погодными условиями. При определении начала прямого промерзания это районы с одинаковой или близкой датой перехода средней суточной температуры воздуха через 0° С осенью, сходным режимом накопления и высотой снежного покрова. При определении начала прямого протаивания это районы с одинаковым или близким временем перехода данной температуры воздуха через 0° С весной и одинаковой или близкой высотой, плотностью снега и режимом его схода.

Этими методами можно не только восстанавливать непрерывность ряда данных, но и удлинять ряды до 30-летних или требуемых.

4.12. Если наблюдения не проводились лишь часть года, даты начала и окончания сезонного промерзания и протаивания можно определить графическим методом. При перерыве наблюдений в начале прямого промерзания (протаивания) вычерчивается на миллиметровой бумаге ход процессов: время по оси абсцисс, глубина по оси ординат (рис. 4,*а*). Полученная кривая

Таблица 5

Год	Вагайское	Ярково	Балахлей	Солобоево	Голышманово	Сладково	Ильинское
	Агрометеорологические станции						
	Переход температуры воздуха через 0° С осенью						
1965/66	21.X	21.X	21.X	21.X	21.X	21.X	22.X
1966/67	13.X	13.X	13.X	13.X	13.X	13.X	13.X
1967/68	5.XI	11.XI	5.XI	14.XI	13.XI	5.XI	12.XI
1968/69	18.X	19.X	18.X	18.X	18.X	19.X	19.X
1969/70	16.X	16.X	16.X	17.X	16.X	15.X	16.X
	Начало прямого промерзания						
1965/66	21.X	21.X	22.X	4.XI	21.X	4.XI	3.XI
1966/67	–	13.X	1.XI	13.X	13.X	14.X	18.X
1967/68	12.XI	12.XI	13.XI	14.XI	13.XI	26.X	12.XI
1968/69	26.X	19.X	19.X	26.X	19.X	27.X	19.X
1979/70	17.X	17.X	17.X	17.X	16.X	6.XI	25.X

Год	Демьянское	Тобольск	Тюмень	Юргинское	Ялуторовск	Ишим	Бердюжье
	Переход температуры воздуха через 0° С весной						
1962/63	16.IV	15.IV	5.IV	10.IV	7.IV	15.IV	15.IV
1963/64	18.IV	17.IV	14.IV	17.IV	16.IV	19.IV	20.IV
1964/65	23.IV	15.IV	15.IV	–	15.IV	1.IV	15.IV
1965/66	18.IV	7.IV	27.III	–	6.IV	11.IV	11.IV
	Окончание прямого протаивания						
1962/63	1.IV	–	6.IV	13.IV	–	26.II	–
1963/64	15.IV	28.IV	2.IV	6.IV	30.III	19.IV	–
1964/65	8.III	–	–	25.III	17.II	8.IV	10.IV
1965/66	22.III	–	20.III	25.III	–	30.III	9.IV

продолжается вверх до пересечения с осью абсцисс. Зная из анализа многолетних данных скорость промерзания (протаивания) в первый день его проявления, из точки кривой хода процесса, соответствующей глубине его проявления в первый день, проводят прямую до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения покажет время начала прямого сезонного промерзания (протаивания). Окончание прямого протаивания (промерзания) и начало возвратного графически можно определить, если наблюдения были прерваны примерно за месяц до окончания прямого или начала возвратного. В этом случае кривая их хода продолжаются до взаимного пересечения. Из точки пересечения восстанавливается перпендикуляр, который на оси абсцисс покажет дату окончания одного и начала другого без учета периода стабилизации глубины проявления процесса (рис. 4*б*). Также определяется

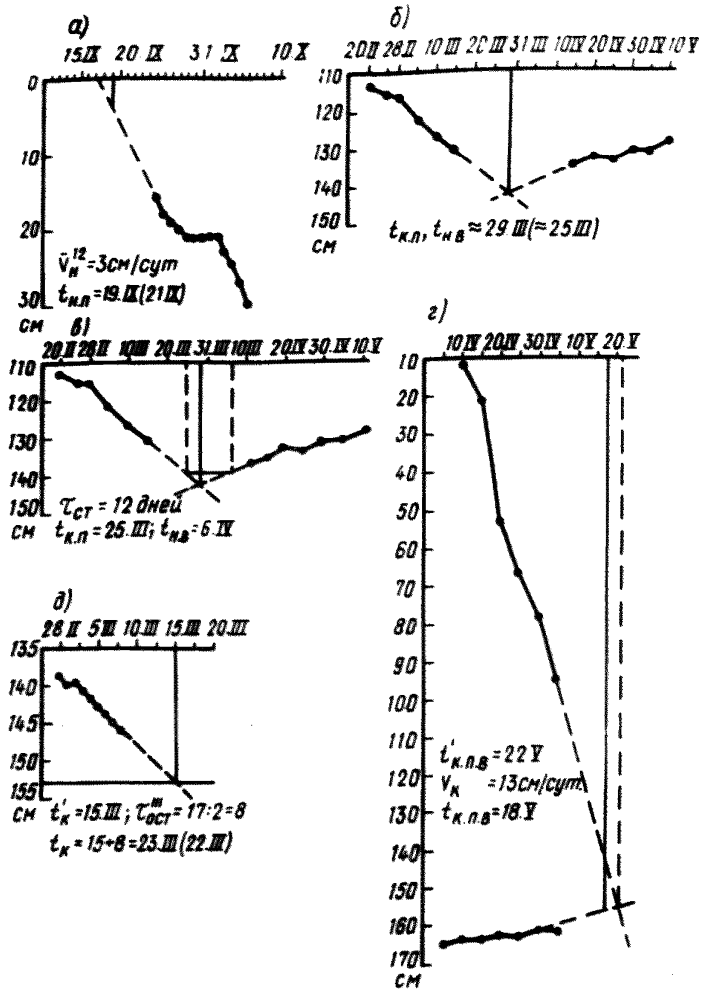


Рис. 4. Графические методы приближенного определения дат начала и окончания разных модификаций сезонного промерзания и протаивания грунтов при перерывах в наблюдениях

а — определение начала прямого промерзания $t_{нп}$ при знании средней за 12 лет начальной (в первый день) скорости процесса $\bar{v}_н^{12}$ (АГМС Демьянское, 1965/66 гг.); *б* — определение дат окончания прямого промерзания $t_{кп}$ и начала возвратного протаивания $t_{нв}$ без учета периода стабилизации глубины промерзания $\tau_{ст}$, (АГМС Абатский, 1965/66 гг.); *в* — в то же, с учетом длительности $\tau_{ст}$ средней по АГМС Ильинское, Упорово, Голышманово, Солобоево в 1965/66 г.; *г* — определение дат окончания прямого и возвратного протаивания без учета их суммарной скорости $v_к$ в последний день проявления $t^1_{кпв}$ и с ее учётом $t_{кпв}$ по аналогии с соседней станцией (АГМС Абатский, 1972/73 г.); *д* — определение даты окончания прямого промерзания $t_{кп}$ при знании мощности сезонномерзлых пород и среднего многолетнего числа дней с остановками процесса за время перерыва в наблюдениях (АГМС Демьянское, 1965/66.; За 9 зим в марте остановок в среднем $\tau^{III}_{ост}$ =17 дн.) В скобках указана фактическая дата начала или окончания процесса.

дата окончания обеих модификаций сезонного промерзания или протаивания (рис. 4,*г*).

4.13. Если по многолетним данным ближайшей станции известна продолжительность периода стабилизации $\tau_{ст}$ глубины прямого сезонного протаивания (промерзания), отделяющего окончание, например, прямого протаивания от начала возвратного промерзания [2, 5], выше точки пересечения кривых их хода проводится прямая, длина которой между этими кривыми равна $\tau_{ст}$. Проекции точек пересечения на ось абсцисс покажут дату окончания прямого протаивания и начала возвратного промерзания (рис. 4, *е*).

Также определяется $t_к$ прямого промерзания и $t_н$ возвратного протаивания.

Если процесс однонаправленный прямой, для определения даты его окончания надо сначала одним из методов определить глубину его проявления (см. п п. 5.15 –5.54). Кривая хода процесса продолжается до пересечения с линией, соответствующей глубине его проявления за сезон. Проекция точки пересечения на ось абсцисс покажет дату его окончания. Зная среднее многолетнее или за данный год по соседним станциям число дней с остановками за время перерыва наблюдений, уточняют $t_к$ с их учетом в исследуемом пункте: дата окончания процесса позднее, чем полученная графически, на число дней с остановками (рис. 4,*д*). Если известна $t_н$ процесса, $t_к$ его можно определить, рассчитав одним из способов длительность календарного периода его проявления (см. п п. 4.18—4.20). Дата окончания определяется путем прибавления к его $t_н$ числа дней, соответствующих длительности календарного периода его проявления. Также можно определить дату начала, если известна дата окончания и рассчитана длительность календарного периода проявления процесса. Но в этом случае от даты окончания отнимается число дней, соответствующее длительности календарного периода.

Такими же методами можно определить начало и окончание неустойчивого и устойчивого промерзания и протаивания.

4.14. Имеется еще один графический метод определения начала и окончания прямого сезонного промерзания по средней месячной температуре воздуха. Точность его низкая и применяется он лишь в крайних случаях. Строится график хода отрицательной средней месячной температуры воздуха. На нем проводится прямая, соответствующая температуре замерзания грунта (например, $-0{,}5^{\circ}$ С). По ее длине между точками пересечения с кривой хода температуры воздуха определяют длительность периода промерзания грунта [11].

Следовательно, проекция этих точек на ось абсцисс покажет время начала и окончания прямого сезонного промерзания пород. Как показала проверка этого метода, он дает неточные результаты: расчетная длительность календарного периода промерзания расходится с действительной местами на 1 — 1,5 мес. [7].

4.15. Из изложенных методов определения дат начала и окончания прямого и возвратного сезонного промерзания и протаивания применяется тот, который при данных условиях дает наиболее точный результат. Обычно для контроля применяется несколько методов, поскольку каждый из них, кроме непосредственных наблюдений, позволяет определить даты начала и окончания процессов лишь приближенно. Обработка данных об этих показателях процессов начинается после того, как восстановлена их непрерывность за сравнимый многолетний или за весь репрезентативный период. Иначе в результате обработки будут получены значения этих показа-

телей, не сравнимые из-за разной длины рядов данных и разновременности перерывов в них на разных станциях.

4.16. Неоднородность природной обстановки обусловливает различия в сроках начала и окончания сезонного промерзания и протаивания на разных участках. Определить эти различия можно или путем организации серии площадок с каждодневными, хотя бы короткопериодными наблюдениями (2—5 лет и более) или путем проведения каждодневных стационарных наблюдений в одной точке и полустационарных наблюдений на маркированных точках, каждодневных в период возможного начала и окончания проявления процесса. Методом разностей короткопериодные данные об этих показателях можно привести к экстремальным и средним за необходимый многолетний период. Такая обработка одногодичных и короткопериодных сведений о датах начала и окончания процессов позволяет использовать их при картографировании и районировании территории по особенностям этих показателей сезонного промерзания и протаивания в год наблюдений и за репрезентативный период, выявить общие закономерности их изменений на исследуемой территории как природных, так и под антропогенным воздействием, если оно не приводит к прекращению проявления данных процессов или каких-либо их градаций.

Методика изучения длительности календарного периода сезонного промерзания и протаивания

4.17. При наличии точных сведений о начале и окончании любой градации сезонного промерзания и протаивания грунтов точно рассчитать длительность календарного периода проявления каждой из них не составляет труда как в год наблюдений, так и за многолетний период. Это отрезок времени между началом и окончанием любой из качественных градаций.

4.18. Длительность календарного периода $\tau_к$ проявления сезонного промерзания или протаивания — показатель весьма изменчивый во времени. Для суждения о закономерностях его пространственно-временных изменений также необходимы непрерывные ряды данных за репрезентативный или за требуемый сравнимый период. Поэтому, прежде чем приступить к обработке данных, необходимо восстановить непрерывность рядов данных о $\tau_к$ исследуемой градации сезонного промерзания или протаивания, и если требуется, удлинить ряды, чтобы получить сравнимые значения этого показателя. Поскольку $\tau_к$ определяется по данным о начале и окончании процессов, то все методы восстановления непрерывности рядов данных о $\tau_н$ и $\tau_к$ и их удлинения являются одновременно такими же методами и применительно к $\tau_к$ этих процессов.

4.19. Можно определить $\tau_к$ в искомый год в исследуемом пункте, рассчитав и проанализировав данные о $\tau_к$ той же градации сезонного промерзания или протаивания пород на соседних станциях. Применяются методы отношений и разностей между $\tau_к$ в искомый год и в предшествующий или последующий, или средним его значением за определенный период. По величине среднего значения этого отношения или разности на соседних станциях и величине $\tau_к$ в год, предшествующий искомому или в следующий за ним, или средней для того же периода, что и на соседних станциях, рассчитывается $\tau_к$ в искомый год на исследуемом участке. Этими же методами приводят одногодичные и краткопериодные данные о $\tau_к$ разных градаций сезонного промерзания и протаивания к средним и экстремальным значениям за репрезентативный период.

4.20. Есть еще один метод восстановления непрерывности рядов данных о $\tau_к$ в основном устойчивого прямого сезонного промерзания и прота-

Таблица 6

Зимы	Гидрометеостанции					
	Новосельское	Спасск-Дальний	Халкидон	Астрахань	Жариково	Турий Рог
1962/63	3131	3353	3333	1523	4131	1323
1963/64	3111	1333	1211	3211	2111	2311
1964/65	1323	1433	2232	1423	3423	4524
1965/66	4323	4212	5132	3332	3333	3334
1966/67	4535	1535	3445	3445	3344	3433
1967/68	3313	3323	3142	4232	3143	3312
1968/69	3535	3535	1455	1333	1545	2345
1969/70	3423	5433	3333	3322	3333	1333
1970/71	2355	3455	3434	3455	3355	1343
1971/72	1131	4322	4323	5221	2222	3131
1972/73	3233	5211	4232	5333	3311	5333
1973/74	3435	3333	3433	3345	3433	4433
1974/75	5232	3232	4323	3523	5434	4243
1975/76	3253	1254	3354	2153	2354	3153
1976/77	5434	3131	1111	5333	5211	5355
Частоты баллов						
1	2323	4122	3322	3112	1334	3222
2	1331	0423	1324	1343	3221	2121
3	8486	7586	7575	7666	8655	5968
4	2301	2301	3422	1321	1333	3232
5	2224	2233	1022	3223	2122	2122

ивания грунтов по значениям его составляющих. Метод отношений или разностей применяется для определения не сразу $\tau_к$, а отдельно $\tau_{пр}$, $\tau_{ост}$ и $\tau_{отт}(\tau_п)$. Суммарная их величина даст значение $\tau_к$ в искомый год на исследуемом участке. В том случае, когда наблюдения проводились лишь часть сезона промерзания или протаивания грунтов, $\tau_к$ также можно довольно точно рассчитать по суммарному значению составляющего календарного периода в данном пункте (см. пп. 4.23 – 4.28).

4.21. После того, как рассчитаны значения $\tau_к$ по имеющимся фактическим сведениям о начале и окончании той или иной градации сезонного промерзания и протаивания за многолетний период, ликвидированы перерывы в данных и ряды приведены к одинаковой длине, можно начинать обработку материалов. Определяется среднее многолетнее и экстремальные значения $\tau_к$, размах его вариации, среднее квадратическое отклонение σ, ошибка среднего значения $m_{\bar{x}}$, коэффициент вариации и т.д. По среднему значению и среднему квадратическому отклонению определяются критерии классификационных градаций $\tau_к$ и составляется частный вариант классификации процесса по этому показателю.

Проведение полустационарных наблюдений на разных участках исследуемой территории и получение сравнимых значений $\tau_к$ позволит выявить закономерности его изменения во времени и пространстве, районировать исследуемую территорию по особенностям $\tau_к$ разных градаций сезонного промерзания и протаивания. При изучении $\tau_к$ также применима систе-

ма баллов: балльная оценка каждой градации соответствует ее порядковому номеру в классификации (см. рис. 1). Балльная оценка $\tau_к$ и других количественных показателей может служить кодированной записью сведений о них: первая цифра означает балл по началу процесса; вторая — по длительности $\tau_к$, дн.; третья — по скорости, см/сут; четвертая — по глубине проявления, см; дана по аналогии с количественными показателями процесса формирования сезонномерзлых грунтов (табл. 6)

Методика изучения составляющих календарного периода сезонного промерзания и протаивания

4.22. Лишь при простом типе структуры календарного периода длительность фактического проявления процесса $\tau_{пр}$ равна $\tau_к$. Во всех остальных случаях это разные величины: $\tau_{пр}$ составляет часть $\tau_к$. Следует оговорить, что применяемый в настоящее время мерзлотомер Данилина позволяет определить изменения глубины промерзания и протаивания с точностью до 1 см. Поэтому днем проявления сезонного промерзания или протаивания грунтов считаются сутки, в течение которых глубина промерзания или протаивания изменилась на 1 см и более по сравнению с предшествующим ее значением. Малая точность этого прибора — причина не только несколько заниженного значения $\tau_{пр}$, но слабой до сих пор изученности возвратного промерзания и протаивания, скорость которых, видимо, нередко меньше 1 см/сут.

4.23. При наличии результатов каждодневных наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания за репрезентативный или имеющийся многолетний период $\tau_{пр}$ неустойчивого и устойчивого прямого и возвратного промерзания и протаивания определяется простым подсчетом числа дней с проявлением данной градации процесса за каждый месяц и год. Работа несколько упрощается, если по каждодневным данным сначала рассчитать суточную скорость процесса формирования мерзлых или талых грунтов, обозначив нулями дни его остановок, а цифрой с минусом дни временной смены промерзания протаиванием и наоборот (см. табл. 1).

4.24. При перерывах в наблюдениях значение $\tau_{пр}$ за каждый искомый год определяется также методом отношений или разности, если на соседней или нескольких ближайших станциях в этот год не было перерыва в наблюдениях (см. п п. 4.9, 4.19).

4.25. Если имеются сведения о $\tau_{пр}$ процессов по большому числу станций исследуемого региона, восстановить непрерывность многолетних рядов данных помогает анализ значений за искомый год („анализ по столбам"). При небольшом размахе вариации $\tau_{пр}$ на этих станциях искомое значение $\tau_{пр}$ можно принять равным среднему его значению на ближних станциях. Можно использовать данные и одной соседней станции, особенно при сходстве природных условий района ее расположения и исследуемой территории.

4.26. Если известна длительность календарного периода $\tau_к$, можно определить $\tau_{пр}$ по величине отношения $\tau_{пр}/\tau_к$: среднему за весь остальной период, за предыдущий или последующий год. В двух последних случаях лучше взять среднее значение этого отношения по исследуемому пункту и соседним.

4.27. При частичном отсутствии наблюдений за время проявления процесса нужно предельно использовать имеющийся фактический материал. Расчетом определять $\tau_{пр}$ процесса только за тот отрезок времени, за который нет данных. Это позволяет более точно определить $\tau_{пр}$ в искомый год.

Таблица 7

Показатели	Гидрометеостанции							
	Новосельское	Свиягино	Спасск-Дальний	Халкиндон	Астраханка		Жариково	Турий Рог
Число зим	14	10	14	16	14	22	13	14
$\tau_{пр}^{XI}$	12	9	13	10	13	14	15	19
$\tau_{к}^{XI}$	21	18	20	18	21	21	21	25
$\tau_{пр}^{XI}/\tau_{к}^{XI}$,%	57,1	50,0	65,0	55,6	61,9	66,7	71,4	76,0
$\tau_{пр}^{XII}$	26	21	23	22	25	25	28	30
$\tau_{к}^{XII}$	31	31	31	31	31	31	31	31
$\tau_{пр}^{XII}/\tau_{к}^{XII}$,%	83,9	67,7	74,2	71,0	80,6	80,6	90,3	96,8
$\tau_{пр}^{I}$	25	21	23	23	25	26	28	29
$\tau_{к}^{I}$	31	31	31	31	31	31	31	31
$\tau_{пр}^{I}/\tau_{к}^{I}$,%	80,6	67,7	74,2	74,2	80,6	83,9	90,3	93,6
$\tau_{пр}^{II}$	18	15	17	15	19	18	22	25
$\tau_{к}^{II}$	28	28	28	28	28	28	28	28
$\tau_{пр}^{II}/\tau_{к}^{II}$,%	64,3	53,6	60,7	53,6	67,9	64,3	78,6	89,3
$\tau_{пр}^{III}$	5	5	5	5	6	6	11	14
$\tau_{к}^{III}$	14	11	13	14	14	13	24	25
$\tau_{пр}^{III}/\tau_{к}^{III}$,%	35,7	45,4	46,1	35,7	42,8	46,2	45,8	56,0

В связи с этим важно при расчете $\tau_{пр}$, кроме суммарной ее величины за весь период проявления процесса, определять ее значение за каждый месяц. Методом отношений или разности получить величину $\tau^{I}_{пр}$ за искомый месяц. Суммировав ее с фактическим знанием $\tau^{II}_{пр}$ за остальные месяцы, обеспеченные наблюдениями, получаем искомое знание $\tau_{пр}$. При небольшом размахе вариации $\tau_{пр}$ в искомый месяц в течение многолетнего периода в исследуемом пункте можно взять среднее ее значение в этот месяц за все остальные годы (табл. 7).

4.28. Остальные составляющие календарного периода сезонного промерзания и протаивания грунтов как устойчивого, так и неустойчивого, т.е. длительность периода остановок процесса $\tau_{ост}$ и периода частичного возвратного протаивания $\tau_{отт}$ после начала промерзания или возвратного промерзания после начала протаивания $\tau_{п}$, определяют теми же методами, что и $\tau_{пр}$.

4.29. Средние и экстремальные приближенные значения $\tau_{пр}$ и $\tau_{ост}$ за многолетний период можно получить и по одногодичным каждодневным наблюдениям за ходом сезонного промерзания и протаивания, но лишь при двух- и трехкомпонентной структуре их календарных периодов. Для этого необходимо наличие хотя бы на одной соседней станции непрерывного ряда каждодневных данных о ходе процессов за тот же период, по которым рассчитывают среднее многолетнее и экстремальные знания $\tau_{пр}$ и $\tau_{ост}$ и величину отношения или разницы между ними и $\tau_{пр}$ и $\tau_{ост}$ в данный год на этой станции. Затем принимая, что величина этого отношения или разницы на соседней станции одинакова или близка к значению их в исследуемом пункте, рассчитывают среднее многолетнее и экстремальные значения $\tau_{пр}$ и $\tau_{ост}$ в исследуемом пункте по одногодичным наблюдениям.

4.30. Сложнее определить $\tau_{ост}$ при переходной структуре календарного периода: в год наблюдений остановок процесса может не быть. В таком случае значение $\tau_{ост}$ приходится принимать таким, каково оно на соседних станциях. То же касается определения среднего многолетнего и экстремальных значений $\tau_{отт}$ и $\tau_{п}$ по одногодичным и короткопериодным каждодневным наблюдениям в районах с промежуточным подтипом сложной структуры календарного периода (см. п. 4.4).

4.31. После получения непрерывных рядов данных о каждой из составляющих календарного периода разных модификаций сезонного промерзания и протаивания за репрезентативный или многолетний сравнимый период приступают к их обработке. Указывают максимальные и минимальные их значения, рассчитывают размах вариации и среднюю многолетнюю величину показателей, дисперсию σ^2, среднее квадратическое отклонение σ частных вариант от среднего их значения, коэффициент вариации c_v, определяют точность расчета средней c_s, % или ошибку средней $m_{\bar{x}}$ и т. д. Получение сравнимых величин позволяет судить о закономерностях их изменения в пространстве, если исследуется большая территория с несколькими пунктами долговременных наблюдений. Если сеть стационарных площадок достаточна густая, охватывает все или основные типы местности, то после обработки и приведения одногодичных или короткопериодных данных к значениям за репрезентативный период, можно дать сравнительную оценку особенностей структуры календарного периода проявления процессов и ее составляющих на исследуемой территории. Длительность периода фактического проявления процесса служит классификационным признаком. Количественные критерии каждой градации $\tau_{пр}$ назначаются исходя из среднего многолетнего значения $\tau_{пр}$ и среднего квадратического отклонения σ частных значений от среднего (см. рис. 1). Нередко достаточно деления $\tau_{пр}$ на три, а не на пять градаций, особенно если эта величина слабо варьирует. В таком случае исключаются две крайние и изменяются крите-

рии оставшихся трех: $\tau_{пр} < \tau_{пр} - \sigma$; $\tau_{пр} - \sigma \leqslant \tau_{пр} \leqslant \tau_{пр} + \sigma$ $\tau_{пр} > \tau_{пр} + \sigma$. При анализе и записи знаний $\tau_{пр}$ также применима система баллов (см. табл. 7).

4.32. Длительность фактического проявления той или иной градации сезонного промерзания или протаивания — одна из величин, непосредственно влияющих на глубину их проявления. Знание $\tau_{пр}$ позволяет выявить зональность процессов по этому признаку, восстановить непрерывность рядов данных о глубине их проявления, определить ее значение за сезон в тех случаях, когда каждодневные наблюдения проводятся лишь часть календарного периода проявления процессов. Например, известно, что на данном участке $\tau_{пр}$ прямого сезонного промерзания при двухкомпонентной структуре $\tau_к$ равна 80 дн. Через 50 дней ежедневных наблюдений, из которых промерзание наблюдалось 40 дней, глубина его достигла 60 см. Следовательно, глубина сезонного промерзания за этот год составляет около 120 см (60 см:40 × 80).

4.33. При наличии сведений о длительности календарного периода наряду со сведениями о $\tau_{пр}$ и знании глубины сезонного промерзания в какой-либо год можно ориентировочно указать, насколько возрастет глубина промерзания при нарушенных поверхностных условиях: удаленном снежном и растительном покрове только за счет изменения структуры $\tau_к$. Например, естественные изменения $\tau_к$ прямого устойчивого сезонного промерзания грунта за 30 лет в данном районе от 120 ло 150 дней. Структура календарного периода двухкомпонентная. По имеющимся данным, при $\tau_{пр} = 90$ дн. глубина сезонного промерзания в ненарушенных условиях 110 см. Допустим, что удаление растительного и снежного покрова приведет к смене двухкомпонентной структуры календарного периода проявления процесса на простую. Следовательно, $\tau_{пр} = \tau_к$ и изменяется за 30 лет от 120 до 150 дн. Глубина сезонного прямого промерзания на оголенном участке в многолетнем периоде будет изменяться примерно от 146 см (110: 90x120) до 183 см (110: 90x150). Отсюда изменение структуры обусловило увеличение глубины прямого сезонного промерзания грунта на величину от 36 до 73 см даже без учета изменения скорости процесса.

Также можно рассчитать изменение глубины проявления возвратного сезонного промерзания и обеих модификаций сезонного протаивания за счет изменения структуры календарного периода их проявления при наличии необходимых данных.

5. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

Виды глубин промерзания и протаивания и особенности их измерения

5.1. Изучение глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов — один из сложных и пока нерешенных вопросов данной проблемы. Отсутствие корректной методики ее изучения нередко приводит к ошибочным представлениям о ее значениях и закономерностях изменений. Приступая к организации работ по изучению глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов, необходимо знать следующее: знание какой глубины проявления этих процессов требуется; какой качественной их градации; что принимать за точку отсчета при измерении глубины сезонного промерзания и протаивания; в каком состоянии должны находиться грунты (талом или мерзлом) при измерении глубины их сезонного промерзания или протаивания; какое

репрезентативный период изучения разных видов этого показателя. От этого зависят: объем и стоимость исследований; сроки и вид полевых работ; специфика оборудования опытных площадок; особенности обработки полученных материалов и выводов на их основе.

5.2. В натоящее время термины „глубина сезонного промерзания" и „глубина сезонного протаивания" грунтов стали собирательными, объединяющими разные виды этого показателя. В современной геокриологии различают: просто глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов; максимальную; потенциальную; нормативную; расчетную двух видов. Термин „глубина сезонного промерзания (протаивания)" без уточняющих определений трактуется или как синоним полной за данный год глубины проявления этих процессов независимо от их качественной градации, или как глубина их проявления к любому сроку раньше достижения ею наибольшего за данный год значения. Но максимальная за сезон глубина проявления этих процессов и есть глубина сезонного, т. е. за весь сезон промерзания или протаивания грунтов. Уточнение „максимальная" в данном случае лишено смысла, поскольку в каждой точке за год глубина сезонного промерзания (протаивания) имеет только одно значение, которое не может быть ни максимальным, ни минимальным, ни средним. Следовательно, глубина сезонного промерзания или протаивания грунтов — это полная глубина проявления данного процесса 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 по нескольким точкам.

5.3. Поскольку термин "глубина сезонного промерзания (протаивания)" стал собирательным, его нежелательно во избежание путаницы применять также и для обозначения одного из видов этого показателя, в частности глубины их проявления в природных ненарушенных или нарушенных условиях, если нарушения отличаются от требуемых для определения потенциальной, нормативной и расчетной глубины. Глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов в ненарушенных природных условиях можно назвать естественной, а в нарушенных условиях, в целях эксперимента или при освоении территории, — экспериментальной глубиной проявления этих процессов.

5.4. Потенциальной называют глубину сезонного промерзания (протаивания), на которую за холодный (теплый) сезон одного года может проявиться процесс при наиболее благоприятных для его развития условиях.

Имеются также определения нормальной и расчетной глубины сезонного промерзания и протаивания (или оттаивания) грунтов, требующие уточнений и дополнений.

5.5. Нормативная глубина сезонного оттаивания грунтов определяется как наибольшая его глубина за период не менее 10 лет на участке многолетнемерзлых грунтов, лишенном растительного и торфяного покрова, с которого весной удаляется снег (СНиП II-18-76[22]).

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта принимается равной средней из ежегодных глубин сезонного промерзания грунтов по данным наблюдений за период не менее 10 лет за фактическим промерзанием грунтов на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов. При отсутствии данных многолетних наблюдений рекомендуется определять нормативную глубину на основе теплотехнического расчета (СНиП 2.02.01-83). Столь разная организация наблюдений при определении нормативной глубины оттаивания и промерзания и столь разные

значения глубины этих процессов, принимаемые за нормативные, никак не обоснованы. Не оговорена также предельная толщина торфяного покрова, подлежащая удалению при определении только нормативной глубины сезонного оттаивания.

5.6. Понятие „расчетная глубина" сезонного промерзания или протаивания имеет два разных толкования. Обычно так называют ее значения, полученные путем расчета по формулам, моделированием на аналоговых машинах и ЭВМ. Согласно [22] расчетной называется глубина сезонного протаивания грунтов непосредственно у фундаментов, в зависимости от которой определяется минимальная глубина их заложения. Также определена глубина сезонного промерзания. Следовательно, термин „расчетная глубина сезонного промерзания и протаивания грунтов" неоднозначен и требует уточнения. Кроме того, в ее определении, предложенном авторами [22], не оговорена длительность репрезентативного периода полевых наблюдений за глубиной сезонного промерзания и протаивания грунтов непосредственно у фундаментов и ее значение за этот период, принимаемое как расчетная глубина. Указано лишь, что она может быть и больше и меньше нормативной.

5.7. 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 просто как глубину промерзания или протаивания грунтов в естественных или определенным образом нарушенных условиях на такое-то число, оговаривая качественную градацию процесса. Например, глубина систематического устойчивого однонаправленного прямого промерзания на 15 декабря 1983 г. в естественных условиях 40 см, на площадке без снежного покрова — 60 см, без снежного и растительного — 100 см.

5.8. Организация работ по изучению глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов зависит не только от вида этого показателя, но и от качественной градации данных процессов, глубина проявления которой исследуется. К настоящему времени установлено 22 качественных градации сезонного промерзания и протаивания (см. рис. 1). Каждая качественная градация проявляется в определенных условиях. В зависимости от того, какая из них интересует исследователя, определяются место и время ее изучения. Поэтому, приступая к изучению глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов, нужно знать, какие виды глубины и каких качественных градаций этих процессов являются целью исследований.

5.9. Все виды глубин этих процессов, кроме потенциальной и расчетной, получаемой расчетом по формулам и моделированием на аналоговых машинах и ЭВМ, требуют полевых исследований, специфических для каждой из них. Это следует из существующих их определений.

5.10. Изучение глубины проявления любой качественной градации сезонного промерзания и протаивания грунтов не требует систематических ежедневных наблюдений за ходом процессов в том случае, когда известны сроки окончания и их пространственно-временная вариация. Наблюдения проводятся, начиная от наиболее раннего за репрезентативный период срока окончания данной градации процесса до наиболее позднего. При изучении глубины систематического устойчивого промерзания или протаивания применимы все виды полевых исследований: стационарные, полустационарные, маршрутные, комплексные на естественных и нарушенных участках. Сложнее с несистематическим и неустойчивым промерзанием и протаиванием. Установление их глубины в основном требует наблюдений в течение всего их возможного проявления.

5.11. Изучение нормативной и расчетной (близ фундаментов) глубины разных качественных градаций сезонного промерзания и протаивания тре-

бует организации специальных опытных площадок в соответствии с требованиями, оговоренными в их определении, которые необходимо уточнить. По-видимому, было бы правильнее нормативной считать максимальную за репрезентативный период (30 лет) глубину как сезонного протаивания, так и сезонного промерзания при одинаковых требованиях к организации опытных площадок: горизонтальные, лишенные растительного и торфяного покрова.

5.12. Мощность торфяного покрова, подлежащего удалению, видимо, должна быть не более 20—30 см. При большей мощности торфа его удаление на опытной площадке приведет к образованию заметного понижения даже в южных районах, а в северных — к вскрытию поверхности многолетнемерзлых грунтов и развитию термокарста. В крайних северных и южных районах, где глубина сезонного промерзания и протаивания нередко не превышает 15—20 см, торфяной покров не следует удалять, так как это будет означать полную ликвидацию естественного слоя грунтов с проявлением сезонных циклов промерзания-протаивания и формирование нового.

5.13. При определении нормативной глубины этих процессов как в области многолетнемерзлых грунтов, так и вне ее снег с опытных площадок правильнее полностью удалять на протяжении всего периода его возможного существования, поскольку на глубину сезонного промерзания и протаивания грунтов влияет и степень их охлаждения за зиму, и оттепели, и режим снегонакопления. Нередко при отсутствии снежного покрова в течение зимы могут проявиться иные, чем при его наличии качественные градации этих процессов. Устройство навеса над опытной площадкой обеспечит отсутствие снега на ней в течение зимы. Весной с прекращением снегопадов навес следует снять, чтобы не затенять площадку, не препятствовать проникновению дождевых вод.

5.14. Глубина проявления любой качественной градации сезонного промерзания и протаивания в естественных и нарушенных условиях — переменная во времени величина. Для обоснованных выводов об особенностях ее пространственно-временных изменений, зависимости от разных составляющих природных условий и специфики их нарушения необходимы данные о ее величине за репрезентативный (30 лет) или требуемый сравнимый период. Но 30-летние наблюдения, как и 10-летние, предусматриваемые СНиП II-18-76 и СНиП 2.02.01-83, не всегда возможны, особенно при освоении территории. Чаще они одногодичные или короткопериодные. Такие данные необходимо теми же методами, что и другие количественные показатели этих процессов, приводить к сравнимым значениям за 30 лет или требуемый период (см. п. 4.29.) Теми же методами восстанавливается непрерывность многолетних рядов данных о глубине промерзания и протаивания.

Методы прямого определения глубины сезонного промерзания и протаивания

5.15. К настоящему времени разработаны методы определения мощности сезонноталого слоя в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов и сезонномерзлого слоя вне этой области по разовым разновременным данным о мощности промерзшего и протаявшего горизонта к определенному сроку, о температуре грунтов, об особенностях их криогенного строения. Их называют методами определения глубины сезонного промерзания и протаивания, что не совсем правильно.

5.16. Результаты определения любого вида глубины сезонного промерзания и протаивания (см. пп. 5.3 — 5.7) разными методами, включая непос-

редственные измерения при полевых работах, даже при самом строгом соблюдении методики их проведения, несравнимы между собой. Чтобы знать, как сделать их сравнимыми, необходимо прежде всего решить два важнейших вопроса: о точке отсчета глубин промерзания и протаивания — от поверхности талых или мерзлых грунтов или по-разному в разных случаях; о состоянии грунтов при измерении глубины проявления этих процессов (в мерзлом или талом состоянии они в этот момент должны быть и как определить глубину промерзания и протаивания, если грунты лишь частично протаяли или промерзли). Решение этих вопросов позволит показать:

несостоятельность современного отождествления глубины сезонного протаивания в области многолетнемерзлых пород и мощности сезоннталого слоя, а также мощность сезонномерзлого слоя и глубины сезонного промерзания вне ее;

методы пересчета мощности этих слоев в глубину сезонного протаивания и промерзания;

преимущества криотекстурного метода определения глубины прямого однонаправленного сезонного протаивания;

несравнимость результатов современных методов определения глубины сезонного промерзания и протаивания без дополнительных поправок и способов получения сравнимых данных.

5.17. В геокриологии вопрос о точке отсчета глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов поднимался [1], но пока не решен. До сих пор при полевых и лабораторных исследованиях глубина сезонного промерзания измеряется от поверхности мерзлых или частично протаявших грунтов и считается численным аналогом толщины или глубины залегания подошвы слоя грунтов, промерзших за холодный период года. Так она определяется при бурении, проходке горных выработок, мерзлотомерами Данилина и Ратомского, методом интенсивности, отношения и др.

При определении на аналоговых машинах и математическим расчетом глубина сезонного промерзания считается от поверхности талых грунтов, за исходное берется талое их состояние, и величина пучения при промерзании не учитывается.

5.18. То же касается точки отсчета и состояния пород при определении глубины сезонного протаивания: в зависимости от методов определения точкой отсчета считается то поверхность талых, то мерзлых, то частично талых или мерзлых грунтов. При определении щупом, мерзлотомерами, бурением и проходкой горных выработок в период завершения протаивания она измеряется от поверхности протаявших за теплый сезон и осевших грунтов, считается равной их мощности. Также определяется она методами интенсивности и отношения. При применении температурного метода (по кривой температуры) за точку отсчета принимается поверхность частично протаявшего или промерзшего грунта, а при определении ее в области многолетнемерзлых пород криотекстурным методом точкой отсчета считается поверхность мерзлых или частично протаявших грунтов. Ясно, что различия точек отсчета и состояния грунтов при применении разных методов неизбежно приводят к разным значениям глубины сезонного промерзания и протаивания в одной и той же точке. Расхождения тем больше, чем больше криогенное пучение грунтов и осадка их при протаивании.

5.19. По существу вопросы о точке отсчета глубины сезонного промерзания и протаивания и о состоянии грунтов при ее измерении не требуют директивного решения. Однозначные ответы на них вытекают из самой сущности этих процессов [8].

Сезонное протаивание — это протаивание мерзлых грунтов. Его глубина

соответствует мощности горизонта мерзлых грунтов, протаявшего за теплый период года. Следовательно, при определении любого вида глубины прямого сезонного протаивания точкой отсчета должна служить поверхность грунтов в мерзлом состоянии, а возвратного — нижняя поверхность грунтов, промерзших за холодный период года.

Сезонное промерзание — это промерзание талых грунтов. Его глубина соответствует мощности горизонта талых грунтов, промерзающего за холодный период года, и должна отсчитываться от поверхности не мерзлых, а талых грунтов после завершения сезонного протаивания. Точкой отсчета глубины прямого сезонного промерзания должна быть верхняя поверхность талых грунтов, а возвратного — нижняя поверхность протаявшего за данный теплый сезон слоя пород.

Глубина однонаправленного или суммарная глубина двунаправленного сезонного промерзания соответствует мощности горизонта талых грунтов, промерзающего в данный холодный период года.

5.20. Такое решение вопросов о точках отсчета и о состоянии грунтов при определении глубины прямого и возвратного сезонного промерзания и протаивания заставляет по-новому оценить применяемые методы прямых и косвенных определений этого показателя и дать определение понятий „глубина сезонного протаивания" и „глубина сезонного промерзания" грунтов. Глубиной сезонного промерзания грунтов называется глубина, до которой промерзают талые грунты за один холодный период года. Численно она соответствует мощности горизонта талых грунтов, промерзающего за холодный период одного года, как в области многолетнемерзлых грунтов, так и вне ее. Глубина сезонного протаивания — это глубина, до которой за теплый сезон одного года протаивают мерзлые грунты, численно она равна мощности горизонта мерзлых грунтов, протаивающего за теплый период года.

5.21. Глубину сезонного промерзания проще определить в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов, чем вне ее. Вопреки сложившемуся мнению, мощность сезонноталого слоя — численный аналог глубины не сезонного протаивания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов, а их сезонного промерзания. Следовательно, все методы определения мощности сезонноталого слоя являются также методами прямых измерений глубины сезонного промерзания грунтов в следующий холодный сезон. Это методы ее определения с помощью щупа, бурением, шурфованием — по глубине залегания подошвы грунтов, протаявших за теплый период. При однонаправленном процессе это глубина прямого сезонного промерзания, при двунаправленном — суммарная глубина прямого и возвратного. В последнем случае мощности сезонноталого слоя без дополнительных стационарных исследований или наличия многолетних данных о ходе сезонного промерзания нельзя определить раздельно глубину прямого и возвратного промерзания талых грунтов. Лишь натурные наблюдения за обеими модификациями промерзания и за обусловленным каждой из них пучением позволяют определить, какая часть этого слоя соответствует глубине возвратного и какая глубине прямого сезонного промерзания.

5.22. На большей части области многолетнемерзлых грунтов прямые измерения глубины сезонного промерзания возможны по мерзлотомеру Данилина, но при правильной его установке. Мерзлотомер лучше устанавливать зимой после завершения сезонного промерзания, совмещая его нуль с поверхностью мерзлых грунтов. При установке его летом в полностью или частично талые грунты и совмещении нуля с поверхностью талых грунтов пучение их при промерзании приведет к тому, что нуль прибора в ходе промерзания окажется ниже поверхности грунтов на высоту их пучения, нередко на 10 см и более. Это затрудняет наблюдения за ходом

процессов. При установке прибора зимой временная динамика величины криогенного пучения хотя и обусловит нестабильное положение нуля относительно поверхности мерзлых грунтов, но менее значительное. Чаще он будет на уровне их поверхности или несколько выше ее, что не затрудняет наблюдения, хотя и требует соответствующей поправки к показаниям прибора. В журнале записи результатов наблюдений по мерзлотомеру должна быть графа, в которой указывается положение нуля прибора относительно поверхности грунтов. При наличии снега для этого измеряется надземная часть мерзлотомера. Если его нуль оказался выше или ниже поверхности грунтов, то при стандартной длине надземной части мерзлотомера 0,5 и 1м ее фактическая длина будет больше или меньше стандартной длины на величину смещения нуля. В журнале положение нуля мерзлотомера относительно поверхности записывается со знаком„минус", если нуль выше поверхности, и со знаком „плюс", если он ниже ее.

5.23. В области многолетнемерзлых грунтов заглубление мерзлотомера должно быть не менее чем на двойную мощность сезонноталого слоя. В этом случае он работает как репер, обеспечена стабильность его положения. Поскольку длина подземной части мерзлотомера Данилина не превышает 3 м, надежную его работу можно гарантировать только в северных районах, где мощность сезонноталых грунтов не более 1 м. При их мощности менее 0,5 м надежные показания дает также мерзлотомер с 1,5-метровой подземной частью. В остальных районах с многолетнемерзлыми грунтами не исключено выпучивание мерзлотомера из года в год и искажение вследствие этого его показаний. Нулевая отметка мерзлотомера потеряет стабильность: не только поверхность грунтов, пучащихся при промерзании, перемещается вдоль мерзлотомера, но и сам он с определенного момента начинает смещаться вместе с грунтом, выпучивается. По такому мерзлотомеру трудно следить за временной динамикой глубины промерзания без специальных наблюдений за пучением грунтов, но можно определить глубину его за сезон. Для этого необходимо знать глубину залегания подошвы сезонноталых грунтов h_1 по мерзлотомеру Данилина и расстояние от их поверхности до нуля мерзлотомера h_2, включающее величину осадки при протаивании и величину выпучивания мерзлотомера. Разница между h_1 и h_2 покажет возможную в следующий холодный сезон глубину сезонного промерзания. Чтобы знать величину выпучивания мерзлотомера, необходимы наблюдения после промерзания грунтов: у такого мерзлотомера нулевая отметка выше поверхности мерзлых грунтов на величину его выпучивания.

5.24. Вне области многолетнемерзлых грунтов и при их глубоком залегании прямое измерение глубины сезонного промерзания возможно пока лишь с помощью мерзлотомера Данилина и только в районах с однонаправленным прямым протаиванием. При таком протаивании осадка приводит к смещению поверхности грунтов относительно нулевой отметки мерзлотомера. Мерзлотомер же при этом не оседает. Разница между нулем мерзлотомера и поверхностью грунтов после полного их протаивания за теплый сезон соответствует величине их осадки при оттаивании, а расстояние от поверхности грунтов после их протаивания до уровня подошвы сезонномерзлого слоя по мерзлотомеру Данилина соответствует глубине их сезонного промерзания в предшествующую зиму. Чтобы в следующий год показания мерзлотомера были правильными, после завершения протаивания и измерения осадки грунтов, его необходимо вновь заглубить нажимом сверху до совмещения его нуля с поверхностью талых грунтов.

5.25. В районах двунаправленного протаивания применение этого метода едва ли даст точные результаты, поскольку при возвратном протаивании мерзлотомер оседает вместе с возвратнопротаивающими грунтами. Обу-

словленная этим нестабильность положения нуля мерзлотомера исключает возможность определения криогенной осадки при протаивании по разнице его с положением поверхности грунтов, а значит и непосредственное определение глубины их сезонного промерзания в предшествующий холодный сезон.

5.26. Следует особо подчеркнуть, что одновременные прямые измерения глубины сезонного промерзания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов и вне ее дают разновременные сведения о ее значениях: в области многолетнемерзлых грунтов — это глубина сезонного промерзания (только прямого или суммарная величина прямого и возвратного) в следующий холодный сезон, а вне этой области — глубина прямого сезонного промерзания грунтов в предшествующий холодный сезон. Это необходимо учитывать при анализе и обработке данных.

5.27. Глубину сезонного протаивания легче определить вне области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов, где она соответствует мощности промерзшего за зиму слоя. Прямые ее измерения здесь возможны несколькими методами: бурением, шурфованием, с помощью мерзлотомера Данилина после завершения сезонного промерзания, но раньше начала сезонного протаивания. При однонаправленном протаивании мощность сезонномерзлого слоя численно равна глубине прямого или возвратного сезонного протаивания, при двунаправленном — суммарной глубине прямого и возвратного. Определение глубины проявления каждой из этих его граций пока невозможно без стационарных наблюдений или наличия их результатов по соседним районам с той же градацией протаивания грунтов. Каким бы прямым методом ни определялась глубина сезонного протаивания вне области многолетнемерзлых грунтов, это ее значение в следующий теплый сезон. Например, если сезонное промерзание завершилось в марте 1983 г., мощность сезонномерзлого слоя соответствует глубине сезонного протаивания пород за теплый сезон 1983 г.

5.28. На территории, в пределах которой температура грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями выше 0°С, но ниже +1°С, на отдельных участках сезонномерзлые грунты в некоторые теплые сезоны протаивают неполностью. Сохраняется их остаточный мерзлый горизонт, часто называемый перелетком, мощность которого можно определить лишь после завершения сезонного протаивания. Глубина сезонного протаивания в таком случае равна разнице между общей мощностью сезонномерзлых грунтов и мощностью их остаточного горизонта. Ее непосредственное определение на таких участках требует по крайней мере двукратных замеров: до начала протаивания определяется общая мощность сезонномерзлых грунтов, а после завершения сезонного протаивания — мощность их остаточного горизонта. Разница между ними соответствует глубине сезонного протаивания за теплый сезон этого года.

5.29. В области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов измерения глубины сезонного протаивания возможны двумя методами: криотекстурным; по мерзлотомеру Данилина. Тот и другой метод применимы в определенных условиях.

5.30. Криотекстурный метод позволяет непосредственно замерить глубину сезонного протаивания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов лишь при применении его в холодный сезон после завершения сезонного промерзания и до начала протаивания. Сущность его изложена в [3, 4]. Талые летом грунты, полностью или в нижней части супесчаного и суглинистого состава, увлажненные выше максимальной молекулярной влагоемкости, при промерзании приобретают криогенное строение, особенности которого зависят от особенностей сезонного промерзания.

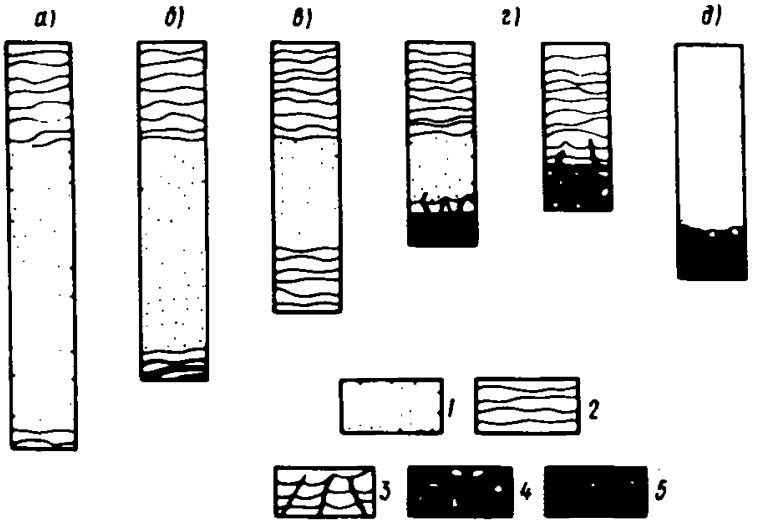


Рис. 5. Определение глубины сезонного протаивания грунтов по криогенной текстуре

По шлировой криотекстуре нижнего горизонта протаивающих грунтов при их температуре в зоне с нулевыми годовыми колебаниями: *а* — от −0,5 до −1,0°С — граница сезонного протаивания ниже поверхности нижнего шлирового горизонта на 2—5 см; *б* — от −1,0 до −3,0°С — ниже ее на 5–10 см; *в* — от −3,0 до −5,0°С — на 10—20 см

По базально-атакситовой криотекстуре нижнего горизонта протаивающих грунтов при температуре: *г* — от −5,0 до −7,0°С — граница сезонного протаивания на 2—5 см ниже поверхности горизонта с атакситовой криотекстурой и на 5—7 см при более низкой температуре; *д* — примерно на 5—10 см ниже поверхности горизонта с базальной криотекстурой

Криотекстура: *1* — массивная; *2* — слоистая или сетчато-слоистая; *3* — сетчатая; *4* — атакситовая; *5* — базальная

В районах, где температура грунтов в зоне с нулевыми годовыми колебаниями от −0,5 до −5°С, маркирующей глубину сезонного протаивания является прослойка со слоистой и сетчато-слоистой криотекстурой, мощность которой с понижением температуры грунтов меняется от 2—5 до 15—20 см (рис. 5, *в, б, в*). При ином составе этих грунтов возникает искаженное, незакономерное криогенное строение, не позволяющее по криотекстуре определить былую границу их сезонного протаивания.

В южной части области многолетнемерзлых грунтов, где их температура выше −0,5°С, а с учетом частых колебаний выше −1°С, криотекстурный метод пока неприменим. Большая нижняя часть сезонномерзлых грунтов как супесчаных и суглистых, так и более грубых, имеет преимущественно массивную криотекстуру, что не позволяет достаточно точно установить по ней глубину сезонного протаивания.

5.31. В крайних северных районах, где температура грунтов −5°С и ниже и где упреждающим является возвратное сезонное промерзание, в нижней части сезоннопромерзающих грунтов формируется прослойка с атакситовой криогенной текстурой мощностью 4—7 см (см. рис. 5, *г*). Она играет маркирующую роль при определении глубины сезонного протаивания в предшествующее лето: подошва горизонта, который протаивал в предшествующее лето, проходит на 4—7 см ниже верхней поверхности про-

слойки с атакситовой криотекстурой, понижаясь с понижением температуры грунтов. В этих районах глубину сезонного протаивания криотекстурным методом можно определить и в грубозернистых грунтах (гравий, галька, щебень и т. д.). Маркирующей является первая сверху прослойка с базальной криотекстурой: граница протаивания в предшествующее лето на необводненных участках проходила примерно на таком же расстоянии от верхней поверхности этой прослойки, что и от прослойки с атакситовой криотекстурой (см. рис. 5, *д*).

5.32. Криотекстурный метод определения глубины однонаправленного прямого протаивания в предшествующее лето применим не только зимой и весной, когда грунты полностью мерзлые, но и в теплый период года, пока протаивание не достигнет верхней поверхности прослойки с маркирующей криотекстурой. В этом случае, чтобы определить глубину протаивания в предшествующее лето, надо замерить мощность талых грунтов в момент наблюдений, прибавить к ее значению величину их осадки при оттаивании и мощность мерзлых грунтов до границы протаивания, определенной криотекстурным методом. Например, мощность талых грунтов в момент наблюдений 30 см, известна осадка их при оттаивании — 10 см, поверхность маркирующей прослойки после начала прямого протаивания на глубине 100 см. При температуре грунтов около минус 2 — 3°С граница протаивания на глубине примерно 15 см от поверхности маркирующей прослойки или на глубине 115 см от дневной поверхности. Следовательно, глубина сезонного протаивания в предшествующее лето была равна: 115 см + 10 см = 125 см, т. е. расстоянию от поверхности грунтов до границы протаивания, определенной по криотекстуре, плюс осадка протаявшей их части.

5.33. Непосредственное измерение глубины сезонного протаивания по мерзлотомеру Данилина в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов возможно при тех же условиях, что и глубины сезонного промерзания, т. е. при установке его зимой после окончания сезонного промерзания и совмещении его нуля с поверхностью мерзлых грунтов, при гарантированной стабильности положения нуля или с учетом поправки на выпученность мерзлотомера. В условиях, исключающих выпучивание мерзлотомера, глубина сезонного протаивания измеряется расстоянием от нуля мерзлотомера до границы протаивания после его окончания, но до начала промерзания как прямого, так и возвратного, т. е. без учета осадки грунтов, которая влияет на мощность протаявшего горизонта, а не на глубину протаивания. Если мерзлотомер выпучивается, после окончания промерзания определяется высота выпучивания. В этом случае глубина сезонного протаивания равна расстоянию от нуля мерзлотомера до границы протаивания в момент его окончания за вычетом величины выпучивания мерзлотомера, т. е. также без учета осадки протаявших грунтов.

5.34. Величина пучения грунтов при промерзании переменна во времени, что обусловливает нестабильное положение их поверхности относительно *нуля мерзлотомера даже при установке его зимой. Если нулевая отметка* прибора оказывается ниже или выше поверхности грунтов после промерзания, при определении глубины сезонного протаивания в показания мерзлотомера вносится поправка, учитывающая реальное положение их поверхности. Например, по мерзлотомеру за сезон протаяло 100 см мерзлого грунта, но к началу протаивания нуль прибора был на 5 см ниже поверхности из-за большего, чем в зиму установки мерзлотомера, криогенного пучения. Отсюда действительная глубина сезонного протаивания не 100, а 105 см.

5.35. До сих пор мерзлотомеры устанавливают в разное время, наиболее часто летом при полном или частичном протаивании грунтов. Нулевая отметка их совмещается с поверхностью то талых, то мерзлых или ча-

стично талых или мерзлых грунтов, величина заглубления никак не учитывается. Все это лишает надежности их показания. При исследованиях сезонного промерзания и протаивания в области многолетнемерзлых грунтов стабильность положения мерзлотомера — основное необходимое условие правильности его показаний.

5.36. Время установки мерзлотомера вне области многолетнемерзлых грунтов не имеет особого значения, поскольку при сезонном промерзании мерзлотомер поднимается вместе с грунтом, и его нулевая отметка соответствует поверхности мерзлых грунтов, даже если он установлен летом. После завершения протаивания нуль мерзлотомера необходимо вновь совместить с поверхностью талых грунтов, чтобы не получить в следующий год искаженных данных о глубине сезонного протаивания. В противном случае при определении глубины сезонного протаивания необходимо как поправку с отрицательным знаком учитывать величину выпучивания мерзлотомера.

5.37. Следует помнить, что в области многолетнемерзлых грунтов криотекстурный метод позволяет определить глубину сезонного протаивания в предшествующий теплый сезон, а мерзлотомер Данилина — в тот теплый сезон, в который проводятся наблюдения. Вне этой области по мощности сезонномерзлых грунтов определяется глубина сезонного протаивания в следующий теплый сезон. Эту разногодичность необходимо учитывать при обработке и анализе данных.

Методы косвенного определения глубины сезонного промерзания и протаивания

5.38. Нередко в качестве метода прямого измерения глубины как сезонного промерзания, так и протаивания рекомендуется метод ее определения по температуре грунтов. Это косвенный метод, имеющий ряд недостатков, которые необходимо знать и учитывать, так как он может оказаться единственным методом определения глубины проявления данных процессов. В настоящее время ГМС и АГМС, ведущих систематические наблюдения за температурой грунтов до глубины 3,2 м, значительно больше, чем станций, следящих за ходом их сезонного промерзания и протаивания, особенно в области многолетнемерзлых грунтов. Применяя этот метод, определяют не глубину промерзания или протаивания, а температуру грунтов на разной глубине в момент измерения. Принимая определенное ее значение за температуру промерзания или протаивания, путем интерполяции определяют глубину „проникновения" этого значения температуры в грунты за холодный или за теплый период года. Чаще всего это нулевая или случайная отрицательная температура (глинистые грунты), поскольку истинное ее значение в момент завершения промерзания или протаивания, как правило, не определяется. Неизвестна и влажность горизонта, промерзающего или протаивающего последним. Определение их сложнее, чем глубины промерзания или протаивания, и также требует проходки горных выработок. Это может вносить существенную ошибку в определение глубины сезонного промерзания и протаивания по температуре грунтов, причем разную в разные годы из-за колебаний их влажности.

5.39. При интерполяции температуры принимается одинаковый ее градиент между последней точкой с отрицательной и первой по разрезу точкой с положительной температурой или наоборот, что не всегда так из-за смены состава и состояния грунтов. Размещение термометров по глубине на АГМС и ГМС стандартное: 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 м, интервалы между точками замера большие, что отрицательно сказывается на точности определения „глубины проникновения" 0°С или конкретной отрицательной температу-

ры, принятой за точку промерзания или протаивания грунтов, путем интерполяции. При специальных исследованиях назначаются произвольные, но обычно меньшие интервалы между термометрами по глубине, что повышает точность ее определения, но такие исследования пока единичные по сравнению с огромной сетью АГМС и ГМС, ведущими систематические наблюдения за температурой верхнего горизонта грунтов мощностью до 3,2 м.

5.40. Причиной неточности определения глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов по их температуре является также выпучивание кос термометров, реек или обсадных труб, в которые они помещены, при проявлении сезонных циклов промерзания-протаивания, что обусловливает нестабильное положение нулевой отметки косы и каждого из термометров.

Пучение грунтов при промерзании даже без нарушения положения нулевой отметки термокос, установленных непосредственно в грунт, неизбежно приводит к смещению датчиков по глубине, что практически невозможно учесть. Особенно сильно смещаются при промерзании нижние датчики, расположенные в зоне промерзания. Вне области многолетнемерзлых грунтов и при их глубоком залегании смещение этих датчиков ежегодно равно высоте криогенного пучения при промерзании. В отличие от мерзлотомера термокосу, если она не взята в рейку, нельзя простым нажимом вновь заглубить до нулевой отметки. При протаивании она деформируется, изгибается в грунте, причем деформация возрастает от года к году, хотя об этом нельзя судить по положению нулевой отметки. Из-за гибкости такой термокосы, установленной непосредственно в грунт, ее выпучивание может быть много меньше, чем изгибание внутри грунта. В итоге датчики будут показывать температуру грунтов совсем не на той глубине, на которую они были установлены первоначально.

5.41. Термокосы, помещенные в рейки или трубы, дают более точные результаты, поскольку они не изгибаются внутри грунта при проявлении сезонных циклов промерзания-протаивания. Но рейки и трубы вместе с термокосами выпучиваются, как и мерзлотомеры. Вне области многолетнемерзлых грунтов они также ежегодно после завершения протаивания вновь заглубляются до совмещения нулевой отметки с поверхностью грунтов. В осадной трубе смещают вниз термокосу на величину выпучивания трубы, но из-за конвективных потоков воздуха замеры по термометрам, опущенным в обсадную трубу, неточны.

5.42. В области многолетнемерзлых грунтов стабильное положение рейки с термокосой обеспечивается лишь в том случае, если рейку заглублять на двойную мощность сезонноталого слоя. Но и при этом условии, при установке рейки зимой и совмещении нулевой отметки термокосы с поверхностью мерзлых грунтов из-за разного от года к году криогенного пучения реальное положение каждого датчика будет меняться. Как и при работе с мерзлотомером, каждый раз необходимо знать положение нулевой отметки рейки с термокосой относительно поверхности грунтов. Разницу между ними с отрицательным знаком, если их поверхность ниже нуля рейки, или положительным, если она выше его, учитывать, указывая глубину положения датчиков.

5.43. Для определения глубины сезонного промерзания и протаивания по разовым разновременным данным о мощности сезонномерзлых или сезонноталых грунтов применяется комплекс косвенных методов: интенсивности, отношения или разности, по средней многолетней скорости и величине периода проявления процесса, по температуре грунтов, криотекстурный метод.

5.44. Наиболее часто применяется метод интенсивности или экстрапо-

ляции, предложенный В. Ф. Тумелем в 1947 г. Сущность его в следующем. Под интенсивностью сезонного промерзания (протаивания) грунтов в настоящее время понимают выраженное в процентах или долях единицы отношение глубины проявления однонаправленного прямого промерзания (протаивания) в данный момент к глубине его проявления за холодный (теплый) период года. В действительности это интенсивность изменения не глубины сезонного промерзания или протаивания, а мощности промерзающих или протаивающих грунтов, поскольку рассчитывается отношение мощности горизонта, протаявшего или промерзшего к какому-либо числу, к мощности сезонноталых или сезонномерзлых грунтов за тот же год. Например, мощность промерзшего горизонта к 20 декабря вне области многолетнемерзлых грунтов 50 см. Интенсивность их формирования к этому числу на других площадках или в среднем за многолетний период 40 %. Отсюда мощность сезонномерзлых грунтов за данный год 125 см (50 : 40 × 100). При сходных природных условиях значение интенсивности этих процессов можно брать даже по удаленным точкам.

5.45. Доказано, что в ряде регионов интенсивность формирования сезонноталых и сезонномерзлых грунтов мало меняется с изменением их состава, влажности и временными колебаниями их мощности [5, 23]. Это позволяет рассчитывать их мощность по мощности протаявшего или промерзшего к данному числу горизонта и значению интенсивности формирования этих грунтов на данное число этого года на других площадках или среднему за многолетний период ее значению на данной площадке.

Но в некоторых районах ее значение за многолетний период варьирует в широком диапазоне. Такова, например, южная половина Западной Сибири. В таких районах точность расчета мощности сезонномерзлых грунтов выше, если использовать значения интенсивности их формирования на это число по ближайшей станции или среднее ее значение по ряду АГМС, особенно вокруг исследуемого района. То же касается и определения мощности сезонноталых грунтов методом интенсивности при неустойчивых весенне-летних погодных условиях за многолетний период.

5.46. Для того чтобы по мощности сезонноталых грунтов, полученной методом интенсивности, определить глубину сезонного протаивания, а по мощности сезонномерзлых грунтов — глубину сезонного промерзания, к первой надо прибавить величину осадки при протаивании, а вторую уменьшить на величину пучения при промерзании.

5.47. Метод интенсивности применим также для раздельного определения мощности прямо- и возвратнопромерзающей (протаивающей) части грунтов в районах двунаправленного сезонного промерзания или протаивания, а значит и глубины проявления каждой из этих двух градаций процессов. Для этого надо знать раздельно интенсивность формирования сезонномерзлых (сезонноталых) грунтов за счет прямого и возвратного промерзания (протаивания).

Целесообразно до начала полевых работ ознакомиться с данными об интенсивности формирования сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, а при их отсутствии рассчитать интенсивность этих процессов как за счет прямого, так и возвратного промерзания (протаивания) по материалам наблюдений ГМС, АГМС, мерзлотных и болотных станций. При маршрутных и комплексных полевых исследованиях это позволит определять в области многолетнемерзлых грунтов мощность сезонноталого слоя и глубину сезонного промерзания в следующую зиму, в вне ее — мощность сезонномерзлого слоя и глубину сезонного протаивания в следующее лето по разовым и кратковременным замерам. Обычно интенсивность рассчитывают или на конец каждой декады, или на каждое 15 и 30 число или только на конец

каждого месяца. Значит, и замеры мощности протаявшего или промерзшего горизонта по возможности нужно приурочивать к этим срокам, а результаты замеров пересчитывать в мощность сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, глубину сезонного промерзания и протаивания как однонаправленного, так и двунаправленного.

5.48. Метод отношения применяется в том случае, если наблюдения ведутся на серии площадок, а перерыв лишь на части из них или при наличии в исследуемом районе станции с непрерывными наблюдениями. Рассчитывается во сколько раз к моменту перерыва в наблюдениях мощность промерзших (протаявших) грунтов на площадке 1 отличалась от мощности их на площадке 2, где был перерыв в наблюдениях. То же соотношение их мощностей на этих площадках принимается и за время перерыва наблюдений на площадке 2. Зная мощность грунтов, промерзших (протаявших) за это время на площадке 1, и значение отношения мощности их на данных площадках, определяют возможную мощность промерзших (протаявших) грунтов на площадке 2 за время перерыва наблюдений. Полученное значение суммируют с фактическим до перерыва и получают мощность сезонномерзлых (сезонноталых) грунтов. Например, к 20 января на площадках 1 и 2 мощность промерзшего грунта была 50 и 25 см, т. е. на площадке 2 в два раза меньше. С этого времени наблюдений на площадке 2 не было, а на площадке 1 мощность сезонномерзлых грунтов составила 150 см, т. е. с 20 января сформировался мерзлый горизонт мощностью в 100 см. На площадке 2 за это время мог образоваться мерзлый горизонт лишь в 50 см. Следовательно, мощность сезонномерзлых грунтов на ней около 75 см (25 + 50).

5.49. Точность определения глубины сезонного промерзания и протаивания методом отношения повышается, если по обеим площадкам имеются данные за несколько лет наблюдений. В этом случае берется средняя многолетняя величина отношения мощностей мерзлых (талых) грунтов, сформировавшихся на площадках за период, соответствующий перерыву наблюдений. Например, перерыв с 5 февраля. С этого времени до окончания промерзания на площадке 1 за 5 лет формировался слой мерзлых грунтов в 1,5 раза больший, чем на площадке 2. К 5 февраля мощность их на площадках 1 и 2 была соответственно 50 и 30 см. К моменту окончания промерзания мощность сезонномерзлых грунтов на площадке 1 была 100 см, т. е. увеличилась на 50 см. Судя по 5-летним наблюдениям, на площадке 2 она за это время увеличилась в 1,5 раза меньше. Следовательно, за время перерыва она на площадке 2 возрасла на 33 см (50 : 1,5), а мощность сезонномерзлых грунтов на ней 63 см (30 + 33 см).

5.50. Метод интенсивности применим лишь для определения глубины однонаправленного устойчивого прямого сезонного промерзания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов в следующий холодный период и той же качественной градации сезонного протаивания вне этой области в следующий теплый период.

5.51. Методом средней скорости и периода фактического проявления процесса мощность сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, глубину сезонного промерзания и протаивания можно рассчитать при наличии многолетних данных о них на исследуемой площадке или по сведениям об их значениях в период перерыва в наблюдениях на других площадках, желательно со сходными условиями. Например, за 10 лет наблюдений в марте фактическая скорость промерзания на площадке в среднем была 1,2 см/сут, а период проявления не превышал 10 дн., в среднем составлял 7 дн. Следовательно, за март не могло промерзнуть более 12 см, а, если погодные условия в марте несуровые, то 8 см. Допустим, к марту мощность мерзлого

горизонта была 70 см, а погодные условия в марте несуровые. Следовательно, мощность сезонномерзлых грунтов в год с перерывом наблюдений составит на площадке 78 см.

5.52. Чем ближе к окончанию периода проявления процесса перерыв в наблюдениях, тем точнее по интенсивности формирования сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, по отношению мощности промерзших (протаявших) грунтов, по скорости процесса и длительности периода его фактического проявления за время перерыва в наблюдениях определяются мощность сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, возможная глубина промерзания в следующую зиму в области многолетнемерзлых грунтов и протаивания за следующее лето вне этой области, а при наличии данных о величине криогенного пучения и оседания также глубина сезонного протаивания и промерзания в предшествующий теплый или холодный сезон.

5.53. Наименее точен метод температурной кривой. По данным замера температуры грунтов перед перерывом в наблюдениях строится график, отражающий ее изменение по глубине. Кривую температуры продолжают до пересечения с вертикалью, соответствующей 0°С. Глубина залегания подошвы сезонноталых грунтов в области близко залегающих многолетнемерзлых или сезонномерзлых грунтов вне этой области определяется по положению точки их пересечения. Но, во-первых, температура промерзания грунтов не всегда 0°С, чаще ниже 0°С, во-вторых, не учитывается величина осадки их мерзлой части при определении глубины сезонного промерзания или пучения талой их части при определении глубины сезонного протаивания. Определяя мощность сезонноталых грунтов этим методом, суммируют мощность талого к какому-либо числу горизонта и мощность еще мерзлого до глубины возможного проникновения за теплый период 0°С без учета его осадки при оттаивании, а при определении мощности сезонномерзлых грунтов суммируют мощность наблюденной мерзлой части и мощность талой части грунтов, температура которой за холодный период предположительно ниже 0°С, без учета ее пучения при промерзании.

5.54. Точность метода несколько повышается, если учитывать реальную температуру промерзания и величину осадки мерзлой или пучения талой части грунтов. Поэтому при изучении глубины разных градаций сезонного промерзания и протаивания на стационарных площадках необходимы систематические наблюдения не только за ходом этих процессов, но и за осадкой грунтов при протаивании и пучением при промерзании.

5.55. После восстановления непрерывности многолетних сравнимых рядов данных о глубине сезонного промерзания и протаивания в целом или отдельных их качественных градаций приступают к их статистической обработке, расчету сравнимых значений, построению регионального варианта классификации этих процессов по глубине проявления (общей или какой-либо из их градаций), используя для этого критерии, приведенные на рис. 1, или назначая другие в соответствии с задачами исследований. Применима система баллов. Балл каждой классификационной градации этого показателя назначается в соответствии с ее порядковым номером в классификационной схеме (см. рис. 1).

5.56. На основе полученных данных выявляют основные закономерности пространственно-временных изменений глубины сезонного промерзания и протаивания на исследуемой территории, влияние разных факторов на ее изменение. Вырабатываются региональные принципы районирования с учетом природной неоднородности данной территории, картографически отображают пространственное изменение глубины проявления разных ка-

чественных градаций этих процессов в ее пределах. Предметом отображения может быть среднее или требуемое экстремальное (максимальное или минимальное) ее значение за многолетний период, за исследуемый год, прогнозное, нормативное и т. д.

5.57. На обзорных геокриологических картах по возможности следует показывать пространственную дифференциацию средней за репрезентативный период естественной глубины сезонного промерзания, и протаивания, а в пределах выделенных зон и районов указывать ее экстремальные значения за это время. На целевых картах отражается неоднородность территории по требуемому виду глубины исследуемой качественной градации сезонного промерзания и протаивания. Любая из таких карт должна иметь четкое полное название, в котором указывается, какой вид глубины сезонного промерзания или протаивания и какой качественной градации этих процессов отображен на карте. Например, „Карта-схема средней 30-летней естественной глубины систематического устойчивого прямого сезонного протаивания грунтов" или „Карта-схема экспериментальной общей глубины двунаправленного сезонного промерзания (двухлетнее отсутствие снежного и растительного покрова)".

5.58. При отображении на карте естественной глубины всех встречающихся на исследуемой территории качественных градаций сезонного промерзания или протаивания, кроме названия вида показателя указывается, какое его значение и для какого периода времени отражено на карте, например, „Карта естественной глубины сезонного протаивания грунтов в 1983 г.". Каждая карта должна сопровождаться пояснительной запиской, содержащей описание методов определения глубины сезонного промерзания и протаивания, восстановления непрерывности рядов данных, приведения разовых данных к среднему или экстремальному значению за многолетний период, детальное описание характера нарушения условий и т. д.

6. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ СКОРОСТИ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

6.1. Знание скорости сезонного промерзания и протаивания необходимо в следующих случаях: при изучении криогенного строения сезонномерзлых грунтов; криогенного пучения и оседания грунтов при оттаивании; солифлюкации и сплывов; для определения толщины мерзлого или талого горизонта к определенной дате при оценке проходимости дорог-зимников, при расчете стоимости земляных работ в определенную часть года; при изучении стока талых снеговых, дождевых и грунтовых вод; при разработке мероприятий по регулированию сезонного промерзания и протаивания; при определении глубины проявления этих процессов.

6.2. Длительность периода фактического проявления $\tau_{пр}$ и скорость v — два фактора, непосредственно влияющих на глубину проявления процесса. Остальные факторы воздействуют на нее опосредованно, через изменение или $\tau_{пр}$, или v, или той и другой величины вместе. Знание начальной скорости устойчивого промерзания и протаивания в первый день их проявления позволяет довольно точно графическим методом определять даты начала этих процессов при отсутствии фактических данных (см. п. 4.12).

6.3. В настоящее время нет сведений о скорости даже прямого сезонного промерзания. До сих пор за скорость сезонного промерзания принимают скорость формирования сезонномерзлых грунтов, поскольку рассчитывают ее делением мощности мерзлого горизонта к определенному сроку на время

проявления процесса или мощности сезонномерзлых пород на весь период сезонного промерзания.

Скорость сезонного промерзания измеряется толщиной слоя талых грунтов, промерзающего за сутки. Она меньше скорости формирования мерзлых грунтов на величину криогенного пучения за сутки.

6.4. Скоростью сезонного протаивания до сих пор называют скорость формирования сезоннталых грунтов, поскольку ее значение определяют делением мощности этих грунтов или мощности протаявшего к определенному времени горизонта на длительность всего или соответствующей части календарного периода сезонного протаивания. Скорость сезонного протаивания измеряется толщиной слоя мерзлых грунтов, протаивающего за сутки. Она в основном больше скорости формирования сезоннталых грунтов на величину осадки при оттаивании.

6.5. Различия криотекстуры разных генетических градаций сезонномерзлых грунтов и их разных горизонтов, неодинаковое количество льда в них *обусловливают неодинаковое соотношение скорости промерзания и скорости* формирования сезонномерзлых грунтов, а также скоростей сезонного протаивания и формирования сезоннталых грунтов.

6.6. В настоящее время АГСМ и ГСМ, мерзлотные и болотные станции не проводят синхронных наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания и ходом пучения или осадки грунтов. Поэтому даже при наличии каждодневных данных о ходе промерзания и протаивания нельзя точно определить скорость проявления этих процессов. Для получения таких данных необходимо изменить методику наблюдений за ходом этих процессов. Это касается: выбора наиболее точного метода определения изменений глубины сезонного промерзания и протаивания, правильной установки приборов, наблюдений за положением их нулевой отметки относительно дневной поверхности грунта, учета качественной градации этих процессов; дополнения наблюдений за их ходом синхронными наблюдениями за криогенным пучением и оседанием грунтов.

6.7. Требования к организации наблюдений при изучении скорости сезонного промерзания и протаивания грунтов те же, что и при изучении глубины их проявления. Необходимы каждодневные наблюдения за ходом этих процессов по мерзлотомеру Данилина в совокупности с наблюдениями за пучением и осадкой грунтов по пучиномерам или путем нивелирования специальных марок. Пентадные, декадные и более редкие наблюдения мало пригодны для этого. Средние пентадные, средние декадные значения скорости этих процессов, полученные по таким данным, часто несравнимы между собой из-за разной структуры периода проявления процессов за один и тот же отрезок времени. Некоторые качественные градации сезонного промерзания и протаивания нередко проявляются меньше 5 или 10 дн. подряд, вследствие чего пентадные и декадные наблюдения могут не дать никаких сведений не только о скорости процесса, но даже о его наличии на данном участке, т. е. привести к ложным выводам.

6.8. Необходимость каждодневных наблюдений лимитирует вид полевых исследований: изучение скорости сезонного промерзания и протаивания требует организации стационарных наблюдений за ходом процессов в течение всего периода их проявления. Для выявления воздействия антропогенных изменений природной обстановки на скорость разных градаций сезонного промерзания и протаивания такие наблюдения проводятся как на площадках с ненарушенными, так и с нарушенными природными условиями.

6.9. Наибольшую информацию дают многолетние, особенно 30-летние наблюдения. Восстановление непрерывности и удлинение рядов данных о

скорости процессов проводится теми же методами, что и $\tau_к$, $\tau_{пр}$: методами разности или отношения, осреднения ее значений по нескольким соседним станциям с теми же качественными градациями сезонного промерзания и протаивания и сходными природными условиями, по аналогии с ее значением на одной соседней станции со сходными природными условиями и т. д.

Накопление данных о скорости сезонного промерзания и протаивания позволит уточнить длительность репрезентативного периода ее изучения.

Короткопериодные некаждодневные полустационарные и особенно разовые маршрутные исследования практически непригодны для изучения скорости этих процессов, даже устойчивых систематических, если они не сочетаются со стационарными каждодневными на аналогичных по обстановке участках. При комплексных исследованиях их применение позволяет существенно расширить территорию изучения скорости этих процессов.

6.10. Скорость каждой качественной градации сезонного промерзания и протаивания изучается отдельно с учетом структуры календарного периода ее проявления. Приступая к изучению этого показателя, нужно знать, какие градации сезонного промерзания и протаивания пород свойственны исследуемой территории, и в зависимости от этого и целей исследования планировать работу по изучению их скорости.

6.11. Фактическая суточная скорость разных градаций сезонного промерзания и протаивания пород определяется путем наблюдений. Мерзлотомер Данилина позволяет определять суточную скорость формирования сезонномерзлых и сезоннталых грунтов с точностью 1 см/сут. При наличии сведений о пучении и осадке грунтов этой точности достаточно для определения скорости быстро протекающих градаций процессов, в основном прямого сезонного промерзания и протаивания в большинстве районов и возвратного протаивания в южных районах с синхронным и возвратно-упреждающим двунаправленным протаиванием. Для определения скорости возвратного промерзания в северных районах и возвратного протаивания при упреждающем развитии прямого такой точности недостаточно. Применение этого метода дает возможность получить лишь среднее календарное значение их скорости за период времени, в течение которого мощность возвратно-промерзающих или возвратно-протаивающих грунтов изменится не менее чем на 1 см, при наличии данных об их пучении или осадке.

6.12. Для установления закономерностей изменения скорости разных градаций сезонного промерзания и протаивания в течение года для каждого месяца, а при необходимости декады, рассчитывается фактическая средняя суточная скорость процесса, определяются ее максимальное и минимальное значения, размах вариации, среднее квадратическое отклонение частных значений от среднего за данный период, коэффициент вариации. Это позволяет выявить общую направленность изменений скорости процесса за год на одном или нескольких участках, время ее наибольших значений, наибольшего варьирования. Сопряженный анализ погодных, поверхностных, грунтовых условий и скорости процесса позволяет установить зависимость скорости сезонного промерзания и протаивания от их особенностей и сделать более обоснованной экстраполяцию полученных данных при картографировании территории. При наличии многолетних данных анализ годовой динамики скорости разных качественных градаций сезонного промерзания и протаивания даст возможность установить типичные кривые ее годичных изменений и выявить причины нетипичных.

6.13. Знание фактических пентадных, декадных, средних месячных скоростей процессов и структуры календарных периодов их проявления за многолетний период позволяет восстанавливать непрерывность рядов данных при отсутствии наблюдений в отдельные месяцы или части месяца. Многолетние сведения о скорости разных качественных градаций сезонного

промерзания и протаивания грунтов позволяют установить особенности ее изменения за репрезентативный или любой по длительности период. Для этого рассчитывается средняя за каждый год и за многолетний период фактическая суточная скорость процесса, определяются пределы и показатели ее варьирования в многолетнем периоде, ее классификационная градация (см. рис. 1) за каждый год, выявляется типичная градация и причины отклонений от нее, зависимость от естественных или антропогенных изменений природных условий.

6.14. Короткопериодные каждодневные наблюдения за ходом сезонного промерзания и протаивания дают возможность охарактеризовать особенности скорости их проявления лишь в данный год или период. Но при наличии на исследуемой территории хотя бы одной точки с многолетними наблюдениями результаты одногодичных данных об их скорости могут быть пересчитаны в средние многолетние методами отношения или разности. Это позволяет получить сравнимые значения скорости той или иной качественной градации этих процессов и охарактеризовать пространственные закономерности ее изменений на значительной по площади территории с разновременными наблюдениями за ходом процессов, выявить индикационные признаки разных ее классификационных градаций, картографически отобразить ее особенности.

6.15. Сравнение скорости одних и тех же качественных градаций процесса на естественных и нарушенных участках позволяет проследить ее изменение при нарушении условий, установить время, необходимое для ее стабилизации в соответствии с новыми условиями, ее среднее годовое, среднее многолетнее значение и вариационные характеристики в новых условиях. Это делает возможным прогноз изменения скорости проявления разных качественных градаций сезонного промерзания и протаивания при освоении территории.

6.16. В соответствии с видами глубины сезонного промерзания и протаивания (см. пп. 5.4—5.7, 5.11—5.13) скорость их проявления, как и другие количественные показатели, должна, очевидно, разделяться на те же виды: естественную, экспериментальную, расчетную, нормативную, потенциальную. Определение каждого вида средней суточной скорости процессов, как и тех же видов глубины их проявления, требует разной организации наблюдений. Анализировать в целях выявления закономерностей пространственно-временных изменений можно лишь данные по одному и тому же виду скорости одной и той же качественной градации процесса.

6.17. Мощность сезонноталых грунтов в области многолетнемерзлых — это мощность горизонта, который может промерзнуть в следующую зиму или глубина сезонного промерзания. Поэтому зная их мощность и длительность календарного периода промерзания, можно определить среднюю за данную зиму календарную, а при знании структуры этого периода фактическую скорость сезонного промерзания в целом без разделения на прямое и возвратное. Если известна мощность прямо- и возвратно-промерзшего горизонта в талом состоянии, можно определить календарную или фактическую скорость каждой из этих градаций. При определении средней календарной скорости сезонного промерзания по имеющимся данным о мощности сезонноталого слоя и длительности периода их промерзания точные сведения о ней можно получить только в том случае, если мощность сезонноталого слоя определялась щупом, бурением, шурфованием. Имеющиеся сведения о мощности этого слоя по мерзлотомеру Данилина не всегда точны, так как до сих пор практически не учитывалось возможное выпучивание прибора и неустойчивое положение его нуля относительно поверхности талых грунтов из-за различий из года в год их пучения и осадки.

6.18. Представления о скорости сезонного протаивания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов по имеющимся к настоящему времени данным можно получить, если: мощность протаивающих грунтов определялась криотекстурным методом до начала протаивания, т. е. известна мощность мерзлых грунтов, протаявших за лето; известны качественные градации сезонного протаивания, проявляющиеся на данном участке; известна длительность календарного или фактического периода проявления каждой градации протаивания в данном районе по собственным наблюдениям или по материалам соседней станции в сходных условиях.

6.19. Вне области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов проще по сведениям о мощности сезонномерзлого слоя определить скорость протаивания, чем промерзания. Для определения скорости протаивания кроме мощности сезонномерзлых грунтов, определенной по мерзлотомеру Данилина, бурением или шурфованием, необходимо знать качественные градации процесса, проявляющиеся на исследуемом участке, и длительность календарного или фактического периода проявления каждой из них. Каждодневные наблюдения за ходом сезонного протаивания, проводимые АГМС и ГМС, позволяют определить скорость разных градаций этого процесса, судить о закономерностях ее пространственно-временных изменений и о влиянии на скорость протаивания природных и антропогенных факторов. Исключение составляют южные районы с возвратноупреждающим сезонным протаиванием. Здесь протаивание грунтов сопровождается их осадкой вместе с мерзлотомером Данилина, а потому для определения скорости возвратного протаивания требуется знание величины осадки грунтов наряду с мощностью возвратнопротаявшего горизонта.

6.20. Скорость сезонного промерзания вне области многолетнемерзлых грунтов по данным о мощности сезонномерзлого слоя и длительности периода промерзания определить нельзя, если нет сведений о величине их пучения при промерзании в той же точке. Исключение могут составлять крайне редкие случаи, когда известна глубина залегания какого-либо маркирующего горизонта ниже сезонномерзлого слоя до начала и после завершения сезонного промерзания. По разнице глубины его залегания летом и зимой после окончания сезонного промерзания можно определить величину пучения, а по разнице между мощностью сезонномерзлых грунтов и величиной пучения — мощность талого горизонта, промерзшего за данную зиму. Деление последней на календарный или фактический период проявления устойчивого прямого сезонного промерзания даст его среднезимнюю скорость в год наблюдений.

7. О ПРИНЦИПАХ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПО ОСОБЕННОСТЯМ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

7.1. Наиболее наглядным и информативным способом показа особенностей сезонного промерзания и протаивания служит картографическое отображение их неоднородности. Набор признаков этих процессов, отображаемый на карте, определяется в основном их изменчивостью на исследуемой территории, масштабом карты и требованиями к ее тематике. Составлению карты любого масштаба обязательно предшествует систематизация процессов по качественным и количественным показателям. При построении региональных классификаций за основу целесообразно брать общую клас-

сификацию сезонного промерзания и протаивания (см. рис. 1). Это поможет избежать разнобоя в отображаемых показателях и сделает сравнимыми карты. Все классификационные показатели этих процессов, как качественные, так и количественные, могут быть отображены на картах, если они изменяются на исследуемой территории.

7.2. На обзорных мелкомасштабных картах рационально отражать качественную неоднородность процессов (см. рис. 2, 3). Все качественные показатели процессов могут рассматриваться как возможные принципы районирования при составлении соответствующих карт. Важен не столько масштаб карты, сколько изменчивость качественных показателей сезонного промерзания и протаивания в пределах картографируемой или районируемой территории и площадь участков с проявлением разных градаций процессов. Показать на карте можно только тот из признаков, диапазон изменения которого позволяет разделить его на две или более градации, проявляющиеся на участках, которые можно отобразить в масштабе карты (рис. 6). Качественные показатели могут быть отображены на картах любого масштаба, но при мелком масштабе карт они единственные, которые можно корректно отразить картографически.

7.3. Иерархическое соподчинение качественных признаков при районировании территории может быть иным, чем в общей классификации сезонного промерзания и протаивания, поскольку классификация строится по принципу логических возможностей и учитывает все возможное качественное многообразие процессов, а при выработке принципов картографирования и районирования территории учитываются качественные особенности сезонного промерзания и протаивания грунтов только в ее пределах.

7.4. Региональная классификация этих процессов по качественным признакам составляется с учетом их изменчивости на исследуемой территории и требований к ее районированию. Применяя метод ландшафтной индикации, поэтапно выделяют территориальные единицы, сходные сначала по наименее изменчивому признаку, затем по все более изменчивым. Каждая из них обособляется только по одному признаку, хотя при описании области, района, подрайона может указываться комплекс качественных признаков этих процессов. Например, на исследуемой территории можно выделить две области, в одной из которых сезонное промерзание однонаправленное, в другой — двунаправленное. В первой оно только прямое, вторую можно разделить на два района: синхронного и метахронного прямоупреждающего промерзания. Хотя области выделены по одному признаку — направленности процесса, при характеристике сезонного промерзания в первой из них, не расчленяющейся на районы, указывается не один, а два признака: область однонаправленного прямого промерзания. То же касается районов в пределах второй области. При описании указывается, что один из них — район двунаправленного синхронного, а другой — двунаправленного прямоупреждающего сезонного промерзания, т. е. также два признака.

7.5. Количественные показатели этих процессов не только труднее определить, но труднее и отобразить на карте. Большая пространственная изменчивость делает нецелесообразным показ их на мелкомасштабных картах. В этом случае неизбежно осреднение их значений для больших неоднородных по условиям территорий. Но такие осредненные данные мало что дают для познания закономерностей изменения этих показателей.

7.6. До сих пор глубина сезонного промерзания и протаивания, а точнее мощность сезонноталого слоя в области неглубоко залегающих многолетнемерзлых грунтов и сезонномерзлого вне ее считается показателем, отображаемым на геокриологических и инженерно-геокриологических картах любого масштаба. На мелкомасштабных картах в пределах крупных

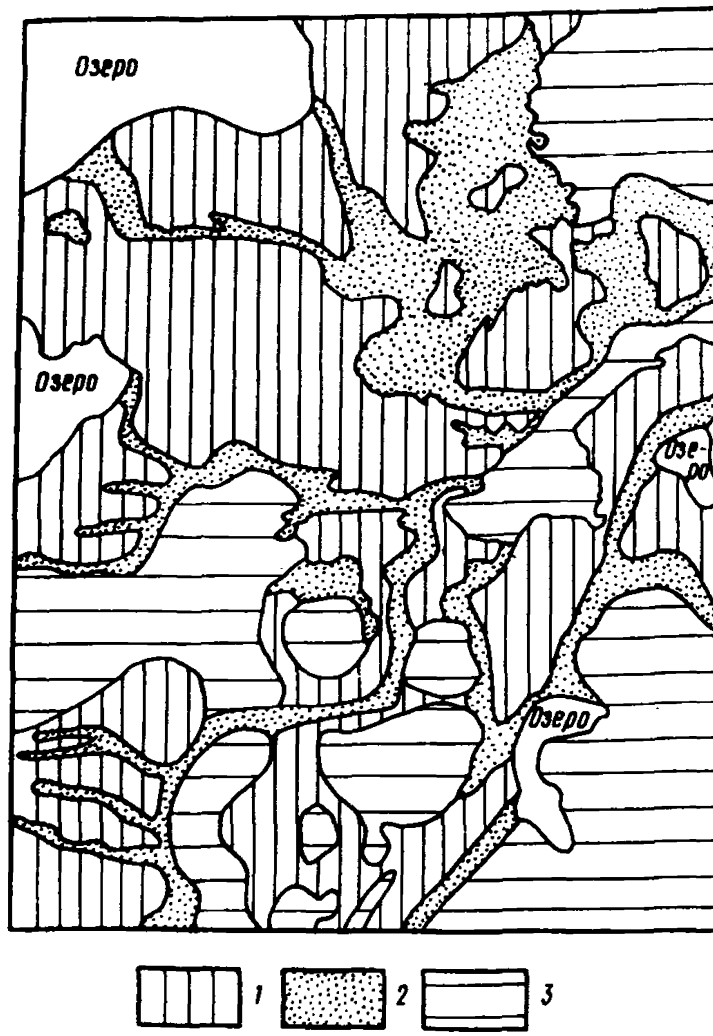


Рис. 6. Карта-схема районирования центральной части Уренгойского месторождения по качественным особенностям сезонного промерзания грунтов

1 — систематическое двунаправленное прямоупреждающее сезонное промерзание грунтов; *2*—несистематическое двунаправленное, в многолетнем периоде чередующееся с однонаправленным прямым; *3* — несистематическое однонаправленное прямое, в холодные годы сменяющееся на двунаправленное прямоупреждающее

контуров без конкретной привязки цифрами показывают в основном случайные интервальные значения мощности сезонноталого слоя („глубины протаивания") и сезонномерзлого слоя („глубины промерзания"). Практически эти цифры лишь загружают карты, не повышая их информативности. Даже при наличии корректных сведений о количественных показателях сезонного промерзания и протаивания отразить их особенности на картах мелкого масштаба практически невозможно. По-видимому, на картах, масштаб которых мельче 1 :100 000, следует показывать лишь качественную неоднородность этих процессов. Предельный для отображения количественных показателей масштаб карт зависит от размера участков с той или иной градацией требуемого или наиболее изменчивого в пространстве показате-

ля. В последнем случае, если контур такого участка различим в масштабе карты, на ней могут быть отражены все основные количественные показатели процесса.

7.7. Путем одногодичных полевых исследований можно получить полный комплекс кондиционных данных о сезонном промерзании и протаивании или о требуемых их качественных градациях лишь для сравнительно небольшого участка. Они позволяют корректно показать на карте качественные и количественные или только количественные особенности этих процессов в год исследований на данном участке, а если в его пределах или по-соседству есть станции с длинным рядом наблюдений за ходом сезонного промерзания и протаивания, то и за многолетний период. Но в большинстве случаев при составлении карт используются все имеющиеся сведения об этих процессах на исследуемой территории. Они, как правило, неодногодичные, разновременные в году, получены разными методами, а результаты режимных стационарных наблюдений неполны, имеют перерывы. Прежде, чем использовать эти данные в картографических целях, их необходимо тщательно проанализировать, отбраковать непригодные и правильно обработать оставшиеся. Выбраковке в первую очередь подлежат сведения без указания места и даты их получения, а также сведения, полученные методами, заведомо не позволяющими точно определить данный количественный показатель и без возможности внести необходимую поправку. Таковы, например, результаты определения глубины сезонного промерзания пород по мерзлотомеру Ратомского; приколками, шурфованием, бурением в слабовлажных песках и более грубых породах; по нулевой температуре глинистых грунтов без знания реальной температуры замерзания воды в них и т. д.

7.8. Выбраковывая данные, необходимо помнить, что фактический материал — основной фонд любой науки, предельно бережно относиться к нему, используя из имеющихся данных все, что помогает распознать особенности изучаемого объекта. Оставшиеся после выбраковки сведения группируют в соответствии с качественными градациями сезонного промерзания и протаивания. Если требуется общая характеристика процессов, дальнейшей обработке подлежат все эти данные. Если нужно показать особенности определенной качественной градации этих процессов, обработке подлежат лишь относящиеся к ней материалы. Следующий этап группировки — разделение данных о каждой качественной градации процесса по видам количественных показателей: естественная глубина, скорость, начало, длительность процесса или нормативная, или экспериментальная глубина и т.д.

7.9. Все количественные показатели каждого вида каждой качественной градации процесса, прежде чем получают картографическую интерпретацию, должны быть приведены: к одному сравнимому периоду (к одному и тому же году или одинаковому по длительности и временной привязке многолетнему периоду, оптимально — к репрезентативному); к одному и тому же сравнимому значению за многолетний период (максимальному, среднему, минимальному или всем трем). Сравнимость данных — обязательное требование при картографировании сезонного промерзания и протаивания грунтов по количественным показателям.

7.10. Дальнейшая работа над фактическим материалом сводится к классификации проявляющихся на исследуемой территории или требуемой качественной градации этих процессов по количественным показателям. В зависимости от изменчивости в пространстве и детальности исследований каждый показатель разделяется на пять (см. рис. 1) или три градации с учетом среднего многолетнего его значения $\bar{x}$ и среднего квадратического отклонения σ частных значений x_i от среднего: $x_i > \bar{x} + \sigma$; $\bar{x} + \sigma \geqslant x_i \geqslant \bar{x} - \sigma$; $x_i < \bar{x} -$

$-\sigma$. При составлении карты по одногодичным данным градации количественных показателей определяются с учетом максимального и минимального их значения и размаха вариации на заданной территории или в соответствии со специальными требованиями к карте. В последнем случае градаций может быть и больше пяти при очень большом размахе вариации показателя и меньше трех. Целесообразно назначать такое их число, чтобы каждая градация могла быть отражена в масштабе карты. При составлении специальных карт, когда главным является правильное отображение особенностей изменения того или иного требуемого показателя, его изменчивостью определяется необходимый для этого масштаб карты.

7.11. При составлении карты сначала отображают неоднородность территории по качественным признакам сезонного промерзания и протаивания грунтов, а при их качественной однородности по количественным показателям, всегда начиная с признака наименее изменчивого в пространстве. Критерии количественных показателей должны назначаться так, чтобы их градации не пересекались. Например, на картах в пределах выделенных районов нередко указываются такие интервальные значения глубины сезонного промерзания и протаивания: от 0,5 до 1,5 м в одном районе, от 1 до 2 м в соседнем. Очевидно, что во втором районе есть такие же ее значения, как и в первом. Нечеткость критериев, перекрытие одних градаций другими делают необоснованными границы районов, выделенных по этому показателю.

7.12. При составлении специальных карт на них отражаются лишь требуемые показатели. Например, если составляют карту нормативных значений количественных показателей сезонного промерзания грунтов, на ней должна быть показана не только нормативная глубина проявления процесса, но и нормативные значения остальных количественных показателей, т. е. полученные для тех же условий, что и нормативная глубина сезонного промерзания.

7.13. При построении карт естественного сезонного промерзания и протаивания грунтов по комплексу признаков с использованием многолетних данных немаловажен вопрос, какие из их многолетних значений отражать на карте. Это может быть максимальное (наиболее позднее для дат начала), или минимальное (наиболее раннее), или среднее за определенный срок их значение, или требуемое их сочетание.

7.14. Целью составления обзорных карт естественного сезонного промерзания и протаивания грунтов является корректное, возможно детальное в масштабе карты отражение основных особенностей этих процессов на исследуемой территории. Такие карты имеют многоцелевое назначение. Ценность их тем выше, чем больше их информативность. На таких картах должны быть показаны как качественные особенности процессов, так и особенности количественных показателей каждой качественной градации, если позволяет масштаб карты. Наиболее информативным является отражение на карте трех многолетних значений количественных показателей: среднего максимального и минимального. Рационально составление серии карт, каждая из которых отражает дифференцию одного количественного показателя процессов. В совокупности они позволяют составить карту районирования территории по комплексу показателей сезонного промерзания и протаивания.

8. О ПРОГНОЗЕ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И ПРОТАИВАНИЯ ГРУНТОВ

8.1. Процессы сезонного промерзания и протаивания, вследствие их проявления в самом верхнем горизонте литосферы, претерпевают изменения при любом виде освоения территории. Очень важно уметь предвидеть их из-

менения, во-первых, потому, что сами показатели сезонного промерзания и протаивания грунтов учитываются при освоении территории, во-вторых, потому, что с их изменения начинаются любые преобразования геокриологических условий.

8.2. Для прогноза изменений этих процессов необходимо: иметь правильное представление об их качественных особенностях, количественных показателях и их временной динамике в природных условиях; знать характер предстоящих нарушений естественной обстановки и возможное их влияние на данные процессы. Поэтому прогнозу изменений должна предшествовать детальная характеристика особенностей и пространственно-временных изменений качественных и количественных показателей этих процессов в естественной обстановке, влияния на них различных природных факторов на основе полевых работ, анализа имеющихся данных, включая материалы многолетних наблюдений за их ходом на ближайших АГМС, ГМС, мерзлотных и болотных станциях. Составляется карта предстоящих нарушений природной обстановки.

8.3. Прогноз должен быть комплексным — включать возможные изменения не только количественных, но и качественных показателей сезонного промерзания и протаивания. Ограничивать его определением глубины проявления этих процессов в новых условиях оправдано только в том случае, если есть уверенность, что качественные особенности процессов останутся неизменными.

8.4. В настоящее время более просто прогнозировать качественные изменения этих процессов. Такой прогноз стал возможен после выявления природных качественных градаций сезонного промерзания и протаивания и установления их зависимости от температуры грунтов в зоне нулевых годовых колебаний [8]. Поэтому прогноз качественных преобразований данных процессов по сути дела сводится к прогнозу изменений средней годовой температуры пород t_o.

Они совершаются в тот же год, как только произойдут критические для каждой качественной градации изменения t_o. Если известно, какой будет t_o после нарушений условий и диапазон ее возможных колебаний за тот или иной период, можно предсказать, как изменяются качественные особенности сезонного промерзания и протаивания грунтов.

8.5. Изменения t_o при нарушении условий, особенно существенном, продолжаются несколько лет. Вместе с ней изменяются грунты, в которых сезонные циклы промерзания-протаивания проявляются хотя бы раз за репрезентативный период [8], учитываемые при расчете t_o. Поэтому прогноз качественных изменений целесообразно проводить в несколько этапов. Значение t_o на всех этапах прогноза рассчитывается по той из имеющихся формул, которая дает наиболее точный результат, поскольку от его точности зависит правильность прогноза изменений как сезонного промерзания и протаивания, так и ряда других литокриогенных процессов, а также геокриологической обстановки в целом. Лишь на первом этапе при расчете t_o в первый год после нарушения условий в качестве исходных используются имеющиеся или полученные при изысканиях сведения о природных особенностях сезоннопромерзающих и сезоннопротаивающих грунтов.

8.6. Преобразования этих грунтов и сезонного промерзания и протаивания в первый год после нарушения условий в свою очередь вызовут дополнительные изменения t_o, а значит и новые изменения процессов сезонного промерзания и протаивания и грунтов, в которых они проявляются. Этим обусловлен второй и все последующие этапы прогноза. На каждом из них t_o уточняется в соответствии с новыми измененными характеристиками грунтов, а вместе с ней уточняются изменения особенностей проявления сезон-

ного промерзания и протаивания. Так продолжается до тех пор, пока t_o не будет соответствовать новым условиям, установившимся после нарушений.

8.7. Поэтапный прогноз изменений сезонного промерзания и протаивания и грунтов, в которых они проявляются, позволяет также проследить связанное с этим постепенное изменение комплекса литокриогенных процессов и охарактеризовать особенности как их комплекса, так и годовой динамики каждого из них, т.е. практически определить общее изменение геокриологической обстановки на нарушенном участке.

8.8. Значительно сложнее прогнозировать изменение количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов. В настоящее время, применяя аналоговые и электронно-вычислительные машины, многочисленные формулы, пытаются прогнозировать изменение лишь глубины прямого сезонного протаивания в области близко залегающих многолетнемерзлых грунтов и прямого сезонного промерзания вне ее. Однако недостаточная корректность используемых данных, отсутствие натурных контрольных значений делает результаты такого прогноза недостаточно надежными и малоинформативными. Используя метеорологические данные без учета различий периодов их осреднения, получают в основном среднее многолетнее (50%-я обеспеченность) для неопределенного периода ее значение при строго оговоренном составе и влажности грунтов.

8.9. Контрольной величиной прогнозного значения глубины сезонного протаивания необоснованно считается мощность сезонноталого слоя в области многолетнемерзлых грунтов, которая всегда на величину криогенной осадки меньше глубины сезонного протаивания. Кроме того, контролем служит не средняя за тот же многолетний период фактическая мощность сезонноталого слоя, а произвольная, полученная в любой год наблюдений, в основном вообще еще не учитываемый при расчете нормы температуры воздуха (1881 — 1961 гг.), высоты и плотности снега, используемых при расчете глубин сезонного протаивания.

8.10. То же касается проверки прогнозного значения глубины сезонного промерзания. Контрольной величиной необоснованно считается случайная мощность сезонномерзлых грунтов, которая всегда превышает глубину сезонного промерзания на высоту криогенного пучения и не является средней многолетней для того же периода, для которого рассчитана норма температуры воздуха или высота и плотность снега.

8.11. При таком прогнозе считается неосвещенной также временная динамика этого показателя, свойственная ему и в измененных условиях. Знать размах его вариации не менее важно, чем среднее значение. Для обеспечения устойчивости инженерных сооружений и зданий необходим учет не среднего многолетнего, а максимального за требуемый период значения глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов.

8.12. Другие количественные показатели этих процессов практически не изучены и методик прогноза их изменения нет. При моделировании хода процессов можно получить лишь осредненные их значения для столь же неопределенного многолетнего периода, как и глубины протаивания и промерзания и с той же низкой точностью.

8.13. До разработки новой методики прогноза глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов в целях повышения его точности и информативности необходимо более строго учитывать климатические данные, особенности этих процессов и среды их проявления.

8.14. Характеристика изменений геокриологической обстановки должна включать не только указание прогнозного значения глубины сезонного протаивания и промерзания, но и характеристику возможных качественных изменений этих процессов и основных показателей каждой их градации.

При расчете средних многолетних значений глубины проявления этих процессов необходимо оговаривать длительность многолетнего периода, осредненные значения температуры воздуха, высоты и плотности снега рассчитывать для этого конкретного периода

8.15. При определении глубины сезонного протаивания в области многолетнемерзлых грунтов необходимо учитывать закономерности их реального криогенного строения, поскольку в одних случаях увеличение глубины протаивания приводит к уменьшению средней влажности протаивающих грунтов, в других — к ее существенному увеличению.

8.16. Необходимо более строгое назначение длительности периода проявления сезонного протаивания и промерзания с учетом реальной его структуры, особенно в районах с проявлением возвратного промерзания и протаивания.

8.17. Контрольной для расчетных значений глубины сезонного протаивания должна быть не просто мощность сезонноталого слоя в области многолетнемерзлых грунтов за тот же год или период, а ее величина в сумме с величиной осадки грунтов при протаивании. При прогнозе глубины сезонного протаивания необходимо указывать ее экстремальные значения за исследуемый период наряду со средним. Повышение точности прогноза глубины сезонного протаивания приведет неизбежно к повышению точности определения дат начала, скорости процесса и длительности периода его фактического проявления.

8.18. В области близко залегающих вечномерзлых грунтов наиболее сложным является промерзание грунтов, с изменениями которого связаны коренные изменения промерзающих грунтов и комплекса литокриогенных процессов, оказывающих отрицательное влияние на освоение территории. Поэтому здесь прогнозировать нужно изменение комплекса качественных и количественных показателей не только сезонного протаивания, но и сезонного промерзания грунтов. Вне этой области прогноз также должен быть комплексным, включать характеристику не только качественных и количественных показателей сезонного промерзания и их временной динамики в измененных условиях, но и столь же детальную характеристику сезонного протаивания грунтов. Протаивание здесь — процесс более сложный и учет его особенностей не менее важен, чем сезонного промерзания.

8.19. При прогнозировании изменения качественных и количественных особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов целесообразно более широкое применение метода экспертных оценок. Имеющиеся фактические данные о глубине сезонного промерзания и протаивания, мощности сезонноталого и сезонномерзлого слоя, о температуре грунтов в зоне нулевых годовых амплитуд в естественных и нарушенных условиях позволяют в ряде случаев установить основные качественные и количественные особенности сезонного промерзания и протаивания грунтов до и после нарушений природной обстановки. Результаты их анализа могут быть использованы для экспертной оценки возможных изменений сезонного промерзания и протаивания в других сходных по условиям районах с теми же нарушениями природной обстановки.

8.20. В районах предстоящего освоения детальные исследования особенностей сезонного промерзания и протаивания должны проводиться до и после нарушения условий до их стабилизации в соответствии с новыми условиями. Их результаты являются не только основой экспертной оценки возможных изменений этих процессов в других сходных районах, но и объективным контролем точности прогноза их изменений.

8.21. Итогом многоэтапного прогноза должна быть возможно полная характеристика изменений комплекса основных или требуемых качествен-

ных и количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов на осваиваемой территории с указанием их естественной динамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бредюк Г. П.** Об учете пучения при исследованиях процессов промерзания-оттаивания глинистых грунтов//Материалы VIII Всесоюзного межведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). — Якутск, 1966. Вып. 4. — С. 226 — 233.
2. **Васильев И. С.** Закономерности сезонного протаивания грунтов в Восточной Якутии. — Новосибирск: Наука, 1982. — 133 с.
3. **Втюрина Е. А.** Основные закономерности формирования криогенной текстуры пород сезоннопротаивающего слоя и криотекстурный метод определения его мощности//Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 8 — 30.
4. **Втюрина Е. А.** Криогенное строение пород сезоннопротаивающего слоя. — М.: Наука, 1974. — 127 с.
5. **Втюрина Е. А.** О временной изменчивости мощности сезоннопротаивающего слоя горных пород// Сезонно- и многолетнемерзлые горные породы.— Владивосток, 1976. — С. 107 — 114.
6. **Втюрин Б. И., Втюрина Е. А.** Принципы классификации литокриогенных процессов и явлений//Геоморфология. — 1980. — № 3. — С. 13 — 22.
7. **Втюрина Е. А.** О прерывности и расчетной длительности периода устойчивого сезонного промерзания горных пород// Известия АН СССР, Сер. географическая. — 1981. — № 4. — С. 101 — 109.
8. **Втюрина Е. А.** Сезоннокриогенные горные породы. — М.: Наука, 1984. — 119 с.
9. **Втюрина Е. А.** Принципиальная схема классификации сезонного промерзания и протаивания горных пород//Криогенные процессы и явления. — М.: Стройиздат, 1984. — С. 13 — 23.
10. **Достовалов Б. П., Кудрявцев В. А.** Общее мерзлотоведение. — М.: МГУ, 1967. — 403 с.
11. **Лукьянов В. С., Головко М. Д.** Расчет глубины промерзания грунтов. — М.: Трансжелдориздат, 1957. — 164 с.
12. **Мерзлотоведение.** — М : МГУ, 1981. — 239 с.
13. **Методика** мерзлотной съемки. — М.: МГУ, 1979. — 358 с.
14. **Методические** рекомендации по прогнозу изменения инженерно-геокриологических процессов при линейном строительстве в северотаежной зоне Западной Сибири. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1976. — 47 с.
15. **Общее** мерзлотоведение/Сумгин М. И., Качурин С. П., Толстихин Н. И., Тумель В. Ф. — М.: Изд-во АН СССР, 1940. — 340 с.
16. **Общее** мерзлотоведение. — М.: МГУ, 1978. — 463 с.
17. **Основы** геокриологии (мерзлотоведение). — М.: Изд-во АН СССР, 1959.— Ч. I. — 460 с.
18. **Павлов А. В.** Теплообмен промерзающих и протаивающих грунтов с атмосферой. — М.: Наука, 1965. — 254 с.
19. **Павлов А. В.** Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. — Якутск, 1975. — 302 с.
20. **Полевые** геокриологические (мерзлотные) исследования: (Методическое руководство). — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 423 с.
21. **Прогноз** теплового состояния грунтов при освоении северных районов/ Чернядьев В. П., Чеховский А. Л., Стремяков А. Я., Пакулин В. А. — М.: Наука, 1984. — 137 с.

22. **Руководство** по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах. — М.: Стройиздат, 1980. — 303 с.
23. **Северский Э. В., Попов М. В.** Интенсивность сезонного промерзания почвогрунтов в Заилийском Алатау//Строение и тепловой режим мерзлых пород. — Новосибирск: Наука, 1981. — С. 46 — 50.
24. **Соловьев П. А.** Классификация типов сезонного промерзания и протаивания в геолого-географическом аспекте//Региональные и тематические геокриологические исследования. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 86—97.
25. **Соловьев П. А.** Объект исследования и геокриологии//Проблемы геокриологии. — Новосибирск: Наука, 1973. — С. 8 — 18.
26. **Соловьев П. А.** Мощность поверхностной сезонномерзлой толщи на территории Якутии//Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. — Якутск, 1978. — С. 3 — 12.
27. **Федотова Е. Д.** Сезонное промерзание почвы в Татарской АССР и смежных областях Среднего Поволжья. — Казань, 1965. — 155 с.
28. **Фельдман Г. М.** Методическое пособие по прогнозу температурного режима вечномерзлых грунтов (на примере севера Западной Сибири). — Якутск, 1974. — 41 с.
29. **Хромов С. П., Мамонтова Л. И.** Метеорологический словарь. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 41 с.
30. **Шур Ю. Л.** Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса). — М.: Недра, 1977. — 80 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Основные положения 5
Общая классификация процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов как основа методики их изучения 5
О репрезентативном периоде изучения сезонного промерзания и протаивания грунтов 9
2. Виды полевых исследований сезонного промерзания и протаивания грунтов, их информативность и организация 12
Стационарные исследования 12
Полустационарные исследования 14
Маршрутные исследования 15
Комплексные исследования 16
Организация полевых исследований сезонного промерзания и протаивания 17
Порядок проведения наблюдений 20
Первичная обработка данных 21
3. Методика изучения качественных особенностей сезонного промерзания и протаивания грунтов 24
Систематическое и несистематическое сезонное промерзание и протаивание 24
Устойчивое и неустойчивое сезонное промерзание и протаивание . . 28
Однонаправленное и двунаправленное сезонное промерзание и протаивание и их градации 30
4. Методика изучения особенностей календарного периода проявления и основных количественных показателей сезонного промерзания и протаивания грунтов 32
Структура календарного периода и ее классификация 32
Методика изучения начала и окончания сезонного промерзания и протаивания 35
Методика изучения длительности календарного периода сезонного промерзания и протаивания 42
Методика изучения составляющих календарного периода сезонного промерзания и протаивания 44
5. Методика изучения глубины сезонного промерзания и протаивания грунтов 47
Виды глубин промерзания и протаивания и особенности их изменения 47

Методы прямого определения глубины сезонного промерзания и протаивания 50
Методы косвенного определения глубины сезонного промерзания и протаивания 57
6. Методика изучения скорости сезонного промерзания и протаивания грунтов 62
7. О принципах картографирования и районирования территории по особенностям сезонного промерзания и протаивания грунтов 66
8. О прогнозе изменений сезонного промерзания и протаивания грунтов 70
Литература 74

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации по методике изучения процессов сезонного промерзания и протаивания грунтов

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор Л. Д. Дутко
Младший редактор Г. А. Полякова
Технический редактор Н. Е. Поплавская
Корректор М. П. Кудрявцева

Н/К

Подписано в печать 31.10.85 Формат 84x108/32
Бумага кн.журн. Печать офсетная Усл. печ. л. 4,20
Усл. кр.-отт. 4,41 Уч.-изд.л. 5,84 Тираж 5000 экз.
Изд. № XII—1602 Заказ 2227 Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли

129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46

gost.e-ecolog.ru