ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по производству опережающих исследований для строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов



Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по производству опережающих исследований для строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов

Москва Стройиздат 1986

УДК 624.139:624.131.3

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

Рекомендации по производству опережающих исследований для строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов/ ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 88 с.

Рассмотрены требования к инженерно-геокриологическим исследованиям для обоснования вариантов расположения объектов строительства неглубокого заложения (в первую очередь трасс трубопроводов), сравнения этих вариантов между собой и выбора оптимального из них. Рекомендации достаточны для исследований в неосвоенных и сложных в инженерно-геокриологическом отношении равнинных территориях.

Для инженерно-технических работников проектно-изыскательских и строительных организаций.

Табл. 9, ил. 8.

3202000000 – 429
Р ——————— Инструкт.-нормат., I вып. – 100–86
047 (01) –86

© Стройиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рекомендации по производству опережающих (предстадийных) исследований для строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов учитывают требования действующих нормативных документов СНиП II-9-78 и РСН 36-70, касающихся проведения инженерно-геологических изысканий в районах распространения вечномерзлых грунтов. Рекомендации разработаны впервые в соответствии с решением Секции инженерных изысканий в строительстве и Секции строительства в условиях сурового климата и вечномерзлых грунтов НТС Госстроя СССР и планом научно-исследовательских работ ПНИИИС.

Практика изысканий для строительства, осуществляемых по действующим нормативным документам, не обеспечивает требований к выбору оптимальных по инженерно-геокриологическим условиям территорий и трасс большой протяженности в условиях Крайнего Севера и Сибири, где отсутствует государственная инженерно-геологическая средне- и мелкомасштабная съемка. Опыт показывает, что инженерно-геологические мелко- и среднемасштабные исследования для обоснования строительства традиционно выполняются только при проектировании гидротехнических сооружений. Проектирование промышленно-гражданского строительства, магистральных трубопроводов, обустройства нефтяных и газовых месторождений в необжитых районах Севера и Сибири опережающими инженерно-геологическими исследованиями не обеспечено или обеспечено в недостаточном объеме, что загрудняет аргументацию выбора оптимальных решений при обоснованиях строительства и оценку возможных изменений природных условий в процессе строительства и эксплуатации сооружения. В такой ситуации даже опытный проектировщик не в состоянии выбрать оптимальную по приведенным затратам строительную площадку или трассу. В то же время по опыту институтов ПНИИИС Госстроя СССР, Гипроспецгаз и ЮЖНИИгипрогаз Мингазпрома, выполнявших изыскания и проектирование газопроводных систем из Западной Сибири в Центр, экономическая эффективность учета информации, получаемой при опережающих исследованиях, по расчетам С.Е. Гречищева (ВСЕГИНГЕО) составляет 100–200 тыс. руб. на 1 км трассы в год.

Основой Рекомендаций послужили выполненные институтами ПНИИИС и ЮЖНИИгипрогаз инженерно-геокриологические исследования для сравнения вариантов и выбора оптимальных вариантов расположения трасс магистральных нефте- и газопроводов, построенных и про-

ектируемых в Западной Сибири (Уренгой – Сургут, Уренгой – Ужгород, Ямбург – Центр, Ямал – Центр, Медвежье – Надым – Пунга), а также для обоснования и планирования обустройства Ямбургского, Вынгапуровского, Харасовэйского, Бованенковского и Нейтинского газовых месторождений. При подготовке Рекомендаций учтены региональные и зональные различия инженерно-геокриологических условий, которые обусловливают особые требования к производству инженерных изысканий. В связи с этим содержание, объемы, виды работ и специфика их проведения на этом этапе исследований даются с учетом различий инженерно-геокриологических условий применительно к основным типам мерзлых толщ равнинных территорий: I – эпигенетическим высокотемпературным (условно выше минус 2°С) и пластичномерзлым грунтам; II – низкотемпературным (условно ниже минус 2°С), преимущественно эпигенетическим мерзлым грунтам с крупными залежами пластовых льдов и III – низкотемпературным сильнольдистым, преимущественно *сингенетическим* мерзлым грунтам с мощными повторно-жильными льдами.

Рекомендации разработали кандидаты геол.-мин. наук Дубиков Г.И., Кузнецова И.Л., Пармузин С.Ю., Стремяков А.Я., Черняцьев В.П. и канд. геогр. наук Белопухова Е.Б., Каплина Т.Н. (ПНИИИС Госстроя СССР) при участии канд. геол.-мин. наук Гаврилова А.В. (МГУ), Крицук Л.Н. и Мельникова Е.С. (ВСЕГИНГЕО Мингео СССР), канд. геогр. наук Ивановой Т.Ф., Даниловой Н.С., Суходольского С.Е., инженеров Дорофеева Е.А., Клишес Т.М., Красовского А.Г., Лахтиной О.В., Пакулина В.А. (ПНИИИС Госстроя СССР) и Махонина Г.И. (ЮжНИИгипрогаз Мингазпрома).

Под редакцией д-ра геол.-мин. наук В.В. Баулина.

Замечания и пожелания просим направлять по адресу: 105058, Москва, Окружной проезд, 18, ПНИИИС Госстроя СССР.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации предусматривают производство опережающих инженерно-геокриологических исследований, предшествующих этапу проектирования строительства, и получение информации, достаточной для составления технико-экономического обоснования размещения объектов неглубокого заложения и выбора способа строительства, в первую очередь трасс газо- и нефтепроводов в неизученных районах Севера и Сибири, характеризующихся сложными природными условиями.

1.2. Состав, содержание и последовательность инженерно-геокриологических исследований рассматриваются применительно к осваиваемым равнинным территориям области распространения многолетнемерзлых грунтов – Европейского Севера, Западной Сибири и Приморских низменностей на северо-востоке страны.

1.3. Применяемый в Рекомендациях методический подход, учитывающий специфику геокриологических условий в районах распространения основных выделенных типов мерзлых толщ, может быть применен при подобных исследованиях на всей равнинной территории северной зоны страны, занятой мерзлыми грунтами.

2. ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опережающие инженерно-геокриологические исследования проводятся в три этапа: предполевой (подготовительный), полевой и камеральный. В табл. 1 приводится перечень характеристик, которые необходимо получить для инженерно-геокриологической оценки природной обстановки, прогноза ее изменения и принятия технических решений на этом этапе исследований.

Таблица 1

Характеристика	Источник информации
Рельеф. Глубина и частота эрозионного расчленения. Уклоны поверхности. Абсолютные отметки	Анализ топографических карт, аэрофотоматериалов, наземные наблюдения
Гидрография. Речная сеть, озера, их глубина, площадь, степень заозеренности. Заболоченность территории, тип болот	Анализ топографических и других карт, аэрофотоматериалов, измерения в поле
Химизм поверхностных вод и их агрессивность	Отбор проб и их химический анализ
Климатические характеристики. Температура воздуха (среднегодовая и среднемесячная), количество осадков, высота снежного покрова и распределение по площади, плотность снега; даты установления и схода снега; ветер, его направление и скорость	Климатологические справочники
Растительность. Тип растительности. Для древесной – состав, подлесок, сомкнутость крон; для кустарниковой – состав и высота; для напочвенного покрова – состав, мощность, степень покрытия	Анализ аэрофотоматериалов, геоботанические карты, маршрутные исследования
Геоморфологическое строение. Типы рельефа, генезис и возраст	Анализ топографических, геоморфологических карт, дешифрирование аэрофотоснимков
Геологическое строение. Геолого-структурное положение, направление неотектонического развития	Анализ геологических карт, маршрутные исследования, описание обнажений, анализ аэрофотоснимков
Состав поверхностных отложений, их возраст, генезис, мощность	Бурение скважин, проходка шурфов, геофизические исследования, изучение обнажений
Гидрогеологические условия. Грунтовые воды, состав, водообильность, агрессивность	Описание естественных источников, наблюдения в скважинах, отбор проб и их анализ
Геокриологические условия. Распространение вечномерзлых и талых грунтов, соотношение вечномерзлых и талых грунтов по площади. Мощность вечномерзлых грунтов	Ландшафтно-индикационные наблюдения, бурение, электропрофилирование, дешифрирование аэрофотоматериалов. Бурение скважин, вертикальное электрозондирование

Продолжение табл. 1

Характеристика	Источник информации
Талики, их типы и мощность	Бурение скважин, вертикальное зондирование, радиолокационное зондирование
Состав и мощность сезоннопротаивающих и сезоннопромерзающих грунтов	Шурфы, зондирование щупом, расчетные методы
Температура грунтов	Измерения температуры в скважинах, расчетные методы
Мощность слоя годовых колебаний температуры в грунтах	Расчетный способ, анализ кривой изменения температуры по глубине
Льдистость и криогенное строение грунтов	Осмотр обнажений, описание керна скважин и стенок шурфов
Физико-геологические образования Термокарст	Маршрутные исследования и дешифрирование аэрофотоматериалов (для всех типов образований)
Подземные льды (повторно-жильные и пластовые)	Изучение обнажений, шурфов и керна скважин, геофизические работы
Пучинные (бугры, гряды)	Бурение скважин
Солифлюкционные	Бурение, шурфы
Наледи	Гидрологические наблюдения
Термоэрозионные и эрозионные	Анализ топографических карт, аэрофотоматериалов разных лет
Свойства грунтов	Лабораторные работы

2.1. Основной задачей исследований в *предполевой (подготовительный) этап* является предварительная оценка геокриологических условий в результате анализа уже имеющихся материалов, которая послужит обоснованием выбора перспективных направлений трассы и благоприятных для строительства участков.

В предполевой период анализируют и дешифрируют топографические карты и аэрофотоматериалы, знакомятся с фондовыми и опубликованными источниками информации, составляют предварительные представления о геокриологических условиях, выбирают ключевые участки, намечают направления маршрутов аэровизуальных наблюдений и объемы работ.

В процессе исследований используют топографические карты масштабов 1:300 000–1:25 000 для обзора района работ, проведения аэровизуальных наблюдений и составления отчетных инженерно-геокриологических карт на весь район и на ключевые участки. Аэрофотоматериалы необходимо иметь на весь район в масштабе 1:60 000 и ключевые участки в масштабе не менее 1:25 000.

В этот период собирают сведения о составе поверхностных отложений, рельефе, растительном покрове, заболоченности и заторфованности

территории. На топографических картах проводят границы геоморфологических уровней.

Особое внимание обращают на сбор материалов по распространению вечномерзлых грунтов, их мощности, температуре, составу, криогенному строению, глубине сезонного протаивания и промерзания грунтов, физико-геологическим процессам и образованиям. Большую информацию дает предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов; с их помощью выделяются природно-территориальные комплексы, четко различающиеся на аэрофотоснимках: залесенные участки, безлесные участки (тундровые и торфяники), обводненные болота, бугристые участки (сочетания бугров и заболоченных понижений) и крупные котловины. С помощью аэрофотоматериалов устанавливают состав отложений и их генетическую принадлежность, дают ориентировочную оценку распространения мерзлых и талых грунтов с поверхности, их льдистости.

При сборе материалов о температуре грунтов, глубинах их сезонного протаивания и промерзания, развивающихся процессах (термокарст, растущие жилы льда, новообразования мерзлых грунтов) фиксируются поверхностные условия для установления влияния отдельных природных факторов на геокриологические условия, а также время проведения наблюдений для последующего выявления степени их изменчивости.

Собранный материал анализируют и привязывают к намеченным геоморфологическим уровням и выделенным ландшафтам, что позволяет выявить изменчивость геокриологических характеристик.

В итоге должна быть составлена схема геокриологического районирования территории, по которой в первом приближении можно получить характеристику ее пригодности для строительства. Эту схему, наряду с предварительной ландшафтной картой, используют для выбора ключевых участков и направлений залетов при аэровизуальных наблюдениях.

Инженерно-геокриологические исследования на ключевых участках проводятся в масштабе 1:25 000, позволяющем устанавливать взаимосвязь поверхностных и геокриологических условий. Материалы съемки на ключевых участках в дальнейшем используют при изысканиях.

Ключевые участки намечают таким образом, чтобы в итоге инженерно-геокриологической съемки были охарактеризованы все геоморфологические уровни, а в их пределах все основные природно-территориальные комплексы.

Площадь ключевого участка определяется сложностью геокриологической обстановки и транспортными возможностями и из опыта съемочных работ ПНИИИС составляет 30–100 км^2. Общая площадь ключевых участков на территории со сравнительно однородными природными условиями должна составлять примерно пятую часть картируемой площади.

В районах распространения эпигенетически мерзлых льдистых грунтов, характеризующихся засоленностью и содержанием мощных залежей пластовых льдов, а также в районах труднопроходимых болот северной тайги ключевые участки должны составлять не менее 1/3 площади съемки.

2.2 *В полевой период* выполняют основные работы по инженерно-геокриологической съемке, на основе которой избирают оптимальное направление трассы линейных сооружений, определяют рациональное размещение строительных объектов и намечают проектные решения. Так как съемку проводят с применением ландшафтно-индикационного ме-

тода, то полевые работы выполняют только в теплый (бесснежный) период.

Полевые работы начинают с аэровизуального обследования территории (полосы трассы), в ходе которого уточняют местоположение ключевых участков. При производстве аэровизуальных работ используют космические снимки, отличающиеся большим обзором. Основную часть времени полевого периода используют для инженерно-геокриологической съемки ключевых участков.

В процессе съемки определяют: распространение и мощность вечномерзлых грунтов, состав, криогенное строение, льдистость и физические характеристики грунтов; температуру талых и вечномерзлых грунтов; глубины сезонного протаивания и промерзания грунтов; проявление, залегание, режим и химический состав грунтовых вод; физико-геологические явления.

Перечисленные характеристики получают в маршрутах, в процессе горно-буровых и геофизических работ, термометрических наблюдений, полевых лабораторных определений.

Маршрутные исследования дают возможность оценить общую инженерно-геокриологическую обстановку района работ, наметить опорные профили и места заложения скважин за пределами профилей. При исследованиях под магистральные трубопроводы основной профиль задается по намечаемой оси сооружения; остальные (2–3 профиля) задаются так, чтобы пересечь основные элементы рельефа и наибольшее число типов природно-территориальных комплексов.

По профилям проводится электропрофилирование, которое сопровождается описанием поверхностных условий и измерением глубин сезонного протаивания грунтов. По результатам электропрофилирования закладываются скважины и точки вертикального электрозондирования (ВЭЗ), которые располагаются на типичных отрезках профиля и в местах аномалий.

Буровые работы выполняют по намеченным профилям и за их пределами. Разрезы всех скважин документируют: отбирают монолиты и образцы для определения характеристик грунтов.

На протяжении всего полевого периода ведут дешифрирование аэрофото- и космоснимков, выявляют индикаторы геокриологических характеристик и устанавливают их дешифровочные признаки. Все точки наземных наблюдений и границы выделенных природно-территориальных комплексов наносят на снимки.

В скважинах проводят измерения температуры грунтов, а при наличии водоносного горизонта – наблюдения за уровнем грунтовых вод и отбирают пробы на анализы.

В конце работ на каждом ключевом участке проводят предварительную обработку полученных материалов, в результате которой представляют: а) колонки скважин с кривыми распределения плотности, влажности (льдистости) и температуры грунтов; б) графики электропрофилирования; в) кривые ВЭЗ с предварительной интерпретацией; г) отдешифрированные снимки; д) ландшафтно-индикационные таблицы.

На этом же этапе выбирают, обосновывают и оборудуют пункты для стационарных наблюдений за тепловым режимом грунтов, динамикой процессов, режимом уровня грунтовых вод и др.

2.3. *Камеральный этап* заключается в подготовке и выдаче материалов, необходимых для окончательного выбора направления трассы, размещения строительных площадок и обоснования метода использования грун-

тов в качестве основания сооружений. На этом этапе рассчитывают некоторые физико-механические характеристики грунтов, максимальные глубины сезонного протаивания и промерзания грунтов для основных литологических типов грунтов; проводят статистическую обработку результатов определения характеристик грунтов; окончательно интерпретируют геофизические данные; составляют инженерно-геокриологические карты на ключевые участки; окончательно дешифрируют аэрофотоснимки и составляют ландшафтную карту на всю территорию работ; составляют: инженерно-геокриологическую карту и инженерно-геокриологический разрез; общий прогноз изменения инженерно-геокриологических условий в результате хозяйственного освоения территории и текст отчета.

Заключительный этап завершается выбором территории, пригодной по инженерно-геокриологическим условиям для строительства.

3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАБОТ

3.1. *Дешифрирование аэрофотоматериалов и космоснимков* широко используется для изучения инженерно-геокриологических условий, поскольку существуют тесные взаимосвязи между геокриологическими характеристиками и комплексом поверхностных условий. Поэтому обязательной частью инженерно-геокриологических исследований является составление по аэрофотоматериалам ландшафтной карты или карты природных микрорайонов, которая служит основой инженерно-геокриологической карты.

Для выделения на этой карте природно-территориальных комплексов (микрорайонов) устанавливают закономерности пространственной изменчивости природных факторов, которые определяют геокриологические условия (растительность, рельеф, состав поверхностных отложений и др.). Комплекс поверхностных природных факторов находит отражение в структуре аэрофотоизображений или космических снимков.

Аэрофотоснимки применяются на всех этапах исследований и методика их использования достаточно отработана. Космические снимки еще не нашли такого широкого применения.

Для получения общих представлений о районе исследований рекомендуется использовать мелкомасштабные космические снимки. На подготовительном этапе они могут служить как источником информации, так и основой для анализа и обобщения имеющихся материалов. При оценке заозеренности, заболоченности и залесенности территории роль этих снимков определяющая.

На этом же этапе рекомендуется применять и локальные космические снимки высокого разрешения, характеризующиеся высокой обзорностью (охват одним снимком 3,5—4 тыс.км^2 и более) и идентичностью изображения однотипных природных объектов на больших площадях. Эти свойства космических снимков способствуют значительному ускорению дешифрирования и повышают его достоверность. Предпочтительное использование наиболее информативных синтезированных многозональных (красная или зеленая зона + инфракрасная зона) или спектрозональных космоснимков. Учитывая недостаточную обеспеченность ими территории с вечномерзлыми грунтами, допустимо употребление черно-белых космических снимков. Целесообразно применение локаль-

ных космических снимков также непосредственно для трассирования, так как один снимок охватывает территорию с листом топографической карты масштаба 1:200 000.

В полевой период основными материалами для дешифрирования являются аэрофотоснимки. К ландшафтной карте обязательно прилагается ландшафтно-индикационная таблица, позволяющая расшифровать геокриологические условия выделенных природных комплексов.

3.2. *Горно-буровые работы* служат одним из основных средств получения информации об инженерно-геокриологических характеристиках территории. Для изучения вечномерзлых грунтов бурение скважин производится без промывки с полным отбором керна. Керноотборниками служат специальные наконечники, обеспечивающие сохранность керна в мерзлом состоянии. В том случае, когда скважина задается только для изучения температуры грунтов, бурение может производиться с нарушением сложения мерзлых грунтов.

При исследованиях для линейных сооружений рекомендуется бурение опорных скважин до подошвы слоя с годовыми колебаниями температуры в основном глубиной 10–15 м и зондировочных глубиной 3–5 м. Бурение опорных скважин производится для определения состава, криогенного строения, льдистости, температурного режима грунтов. При бурении термометрических скважин необходимо избегать нарушений поверхностных условий, иначе при повторных измерениях температуры получаются искаженные результаты.

Бурением также устанавливается мощность вечномерзлых грунтов в районах островного их распространения при неглубоком залегании подстилающих талых грунтов, а также мощность таликовых зон, заранее установленных геофизическими работами.

Зондировочное бурение применяется для определения состава и льдистости верхнего льдонасыщенного горизонта грунтов; мощности, состава и льдистости торфа на торфяниках; состояния грунтов на торфяниках с островным или массивно-островным распространением вечномерзлых грунтов; ориентировочной глубины проникновения ледяных жил, мощности льдистого ядра в буграх пучения, глубины залегания кровли пластовых льдов; глубины сезонного протаивания и промерзания грунтов; глубины залегания, водообильности и состава грунтовых вод.

Количество основных и зондировочных скважин на каждом ключевом участке определяется пестротой геокриологических условий: в среднем на ключевом участке для каждого выделенного типа ландшафта должны приходиться 1–2 скважины глубиной 10–15 м. Число зондировочных скважин определяется сложностью геокриологических условий. В районах прерывистого распространения вечномерзлых грунтов количество зондировочных скважин на ключевом участке должно быть значительно больше, чем в районах со сплошным их распространением. Шурфы проходятся по возможности около каждой термометрической скважины для определения состава и водно-физических свойств грунтов сезонно-талого или сезонно-мерзлого слоя, а также для установления стадии развития и размеров ледяных жил, размеров псевдоморфоз по повторно-жильным льдам, следов проявления склоновых и других процессов, водообильности надмерзлотных вод.

Расчистка обнажений пород по берегам рек, озер, на морском побережье используется для изучения криогенного строения, льдистости

отложений, их фациальной изменчивости, криогенных явлений, образований и др., что существенно дополняет данные бурения и шурфовочных работ.

3.3. *Термометрические наблюдения.* Для измерения температуры грунтов в скважинах применяются психрометрические термометры с ценой деления 0,2°, упакованные в металлические или пластмассовые футляры с прорезью против шкалы. Для придания термометрам тепловой инерции термометры "заленивливаются", т.е. ртутные шарики их зацельваются в малотеплопроводный материал. Длительность выстойки таких термометров с тепловой инерцией в 1–2 мин составляет 1–2 ч.

В районах распространения высокотемпературных и пластичномерзлых грунтов температура в скважинах измеряется на глубинах 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 м и далее через 1 м; для грунтов с температурой ниже минус 3°С интервал измерений рекомендуется постоянным в 1 м по всей скважине.

Рекомендуются расчетные методы определения средней годовой температуры грунтов, позволяющие оценить влияние на ее формирование различных природных факторов. Расчетные температуры пород сравниваются с натурными данными, и в случае хорошего их совпадения выбранная расчетная схема применяется при съемке.

Наиболее широко расчетные методы определения средних годовых температур грунтов должны применяться в зоне распространения мерзлых грунтов с низкими температурами, что может значительно сократить объемы бурения термометрических скважин.

В районах с высокими отрицательными температурами грунтов применение расчетных методов определения их среднегодовой температуры ограничено, так как точность методов сопоставима с фактическими температурами грунтов.

Для дистанционных измерений температуры рекомендуется использование термоэлектрических термометров (термопар) и терморезисторов (термометры сопротивления). Из термоэлектрических термометров наиболее распространены медь-константановые термопары, которые достаточно стабильны при длительном применении, но отличаются невысокой чувствительностью и погрешностями.

Металлические проволочные терморезисторы (термометры сопротивления) наиболее полно удовлетворяют метрологическим требованиям к стабильности, взаимозаменяемости, долговечности и устойчивости относительно внешних воздействий при эксплуатации.

Большие требования предъявляются к состоянию скважин для термометрических наблюдений. Ориентировочное время выстойки пробуренных скважин перед измерением в них температуры грунтов в зависимости от метода бурения и характеристик вечномерзлых грунтов дается по В.С. Мелентьеву в табл. 2.

Таблица 2

Состав вечномерзлых грунтов	Температура пород до бурения	Методы бурения	Температура воздуха в момент бурения	Время выстаивания скважин после бурения (в долях от продолжительности бурения)
Сильнольдистые, нескальные	Ниже минус 4°С	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до –5 От +10 до +25	0,5

Продолжение табл. 2

Состав вечномерзлых грунтов	Температура пород до бурения	Методы бурения	Температура воздуха в момент бурения	Время выстаивания скважин после бурения (в долях от продолжительности бурения)
		То же	От −10 до −25	1
		колонковое с промывкой	От +5 до −5	
			От −10 до −25	1
		То же	От +10 до +25	1,5–2
Слабольдистые, нескальные, скальные	То же	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до −5	1
			От +10 до +25	
			От −10 до −25	
		Колонковое с промывкой	От +5 до −5	
			От −10 до −25	2–2,5
			От +10 до +25	3,5–4
Сильнольдистые	Ниже 0°, но выше минус 4°С	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до −5	1
			От +10 до +25	
			От −10 до −25	1–1,5
		колонковое с продувкой	От +5 до −5	
			От −10 до −25	2–2,5
			От +10 до +25	2,5–3,5
Слабольдистые	Ниже 0°, но выше минус 4°С	Ударно-канатное и колонковое с продувкой	От +5 до +25	1–1,5
			От +10 до +25	
			От −10 до −25	2–2,5
			От +5 до −5	
		колонковое с промывкой	От −10 до −25	3–3,5
		То же	От +10 до +25	5–6

Для стационарных термометрических наблюдений рекомендуются медные термометры сопротивления II класса. Контрольные и переносные комплекты целесообразно изготовлять из платиновых чувствительных элементов.

В качестве измерительной аппаратуры рекомендуются мосты типа МО-62 (УПИП-60М) или близкие к ним по характеристикам. Из нестандартной аппаратуры можно рекомендовать приборы, разработанные в ПНИИИС: электротермометр (ЭТС-1) и мосты постоянного тока (МО-21/10 и МО-40-10).

3.4. *Геофизические работы.* Широкое применение получила электроразведка на постоянном токе, методика и способы интерпретации результатов которой хорошо разработаны. При изучении разрезов, сложенных вечномерзлыми и талыми грунтами, используется стандартная аппаратура (АЭ-72, ЭСК-1).

Электроразведка на постоянном токе подразделяется на электропрофилирование (ЭП), вертикальное электрозондирование (ВЭЗ) и электрический каротаж.

Электропрофилирование рекомендуется применять для выявления неоднородностей геоэлектрического разреза в плане, для определения распространения вечномерзлых грунтов, оконтуривания таликов, окон-

туривания участков с различной глубиной протаивания и различной льдистостью, выявления пластовых и повторно-жильных льдов, выявления контактов грунтов различного состава.

Максимальная глубина исследования при ЭП оценивается по приближенной формуле

$$\frac{h}{L} \leqslant 0{,}4-0{,}5,$$

где L – расстояние между центром приемной линии и питающим электродом; h – глубина погружения верхней границы объекта с измененным удельным электрическим сопротивлением (УЭС), размеры которого в плане превышают $2L$.

Для изучения разреза на глубину 10–15 м целесообразно применять установку с $L = 20–30$ м. Излишнее увеличение разносов не рекомендуется, так как оно снижает разрешающую способность профилирования при частом изменении геоэлектрического разреза по профилю.

Результаты электропрофилирования представляются в виде графиков, на которых по оси абсцисс откладываются расстояния по профилю, а по оси ординат – величина ρ_K для обоих разносов. В результате интерпретации результатов электропрофилирования выделяются зоны с повышенным или пониженным значением ρ_K. При точечном профилировании графики ρ_K получаются произвольно осредненными, со сглаженными или искаженными экстремумами над контактами, поэтому положение контактов устанавливается по некоторой величине ρ_K, которая для каждого участка определяется экспериментально.

Сопоставление графиков ρ_K на большом и малом разносах помогает при разделении аномалий, вызванных неоднородности поверхностных условий, и аномалий от более глубоких объектов. По разнице значений ρ_K на больших и малых разносах можно предположительно судить о строении геоэлектрического разреза. Для облегчения интерпретации на графики ρ_K наносятся типы ландшафтов и глубина сезонного протаивания грунтов. Для достоверности интерпретации графиков и для составления геокриологического разреза привлекаются материалы ВЭЗ и бурения опорных скважин.

При необходимости детализации отдельных объектов рекомендуется применять непрерывное электропрофилирование методом ρ_K (с шагом изменения, не превышающим длину измерительной линии MN) или электропрофилирование двух составляющих.

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) применяется:

для определения глубины залегания верхней и нижней границ вечномерзлых грунтов;

для выделения в разрезе слоев грунтов различного литологического состава в мерзлом и талом состоянии и оценки их мощности;

для выявления изменения характеристик мерзлой толщи по вертикали, в частности для выделения верхнего горизонта грунтов с повышенной льдистостью.

Чтобы выявить неоднородности в верхней части разреза (до 10–15 м) рекомендуются разносы АВ до 100–200 м в зависимости от типа разреза. Следует выбирать места ВЭЗ в середине однородных участков, чтобы при максимальных разносах питающей линии не пересекать границы этих участков и можно было осуществить стандартное зондирование симметричной 4-электродной установкой АМВ. Если однородный участок для этого мал, выполняется 3-электродное ВЭЗ по схеме $AMNB \to \infty$ так, чтобы разнос ОА находился в однородных условиях. Если же питающая линия будет пересекать границу однородной зоны, а также на участках с резко меняющимися приповерхностными условиями (например, на мерзлых торфяниках с большим количеством заболоченных понижений с увеличенной мощностью сезонно-талого слоя) применяется двустороннее трехэлектродное зондирование ($AMNC \to \infty$ $BMNC \to \infty$) с измерением по методу двух составляющих (МДС).

При расположении нескольких ВЭЗ с интервалом, меньшим АВ, целесообразно все их ориентировать по линии профиля. Это облегчает учет вертикальных неоднородностей.

Интерпретация результатов ВЭЗ осуществляется в несколько этапов. На первом этапе производится отработка кривых, искаженных негоризонтальными границами раздела. На следующем этапе производится количественная интерпретация результатов ВЭЗ, заключающихся в определении УЭС и мощностей слоев разреза. Кривые ρ_K интерпретируются стандартными методами с помощью палеток, вычисленных при построенных эталонных кривых. Точность интерпретации высока и вполне пригодна для практических целей, если известны заранее УЭС или мощность промежуточных горизонтов (например, с помощью бурения). При отсутствии этих данных определить эти параметры точно нельзя из-за действия принципа эквивалентности разрезов. В этом случае оцениваются только возможные пределы изменения этих параметров.

Форма представления результатов количественной интерпретации кривых ВЭЗ ρ_K зависит от расположения точек ВЭЗ на местности. Если точки ВЭЗ расположены далеко друг от друга по профилю, то результаты интерпретаций представляются в виде колонок, на которых показывают глубину залегания каждого слоя и обозначают его УЭС. В большинстве случаев результаты интерпретации ВЭЗ ρ_K представляются в виде геоэлектрических разрезов по профилям. Результаты интерпретации ВЭЗ МДС всегда представляются в виде геоэлектрического разреза. На этих разрезах в заданном масштабе проводят границы слоев, обладающих близкими значениями УЭС. При опережающих исследованиях по каждому ключевому участку строится рабочий геоэлектрический разрез в масштабах: горизонтальном 1:5000 или 1:10000 и вертикальном 1:200 или 1:500. Отчетный геоэлектрический разрез совмещается с геологическим или строится отдельно.

Последним этапом интерпретации электроразведочных работ является геокриологическая интерпретация геоэлектрического разреза. Она проводится на основании совместного анализа всех имеющихся по району материалов о геологическом строении и электрических свойствах грунтов в талом и мерзлом состоянии для установления природы каждого выделенного геоэлектрического горизонта.

3.5. *Стационарные режимные наблюдения* на стадии опережающих исследований организуются на выбранных в процессе инженерно-геокриологической съемки экспериментальных площадках для комплексного исследования и количественной оценки роли природных факторов в формировании теплового режима грунтов и динамики развития основных криогенных процессов. Стационарные режимные наблюдения должны быть продолжены на последующих стадиях проектирования и при необходимости в строительный период (СНиП II-9-78, п. 3.33). Продолжительность этих наблюдений должна быть не менее года, они организуются и выполняются специализированными организациями.

Стационарные наблюдения должны включать:

общие метеорологические и теплобалансовые наблюдения (выполняются, если в районе освоения или вблизи нет метеостанций);

тепловые измерения (температура и теплопотоки) в грунтах, растительном и снежном покровах;

наблюдения за высотой снежного покрова, плотностью и структурой снега;

наблюдения за динамикой развития криогенных процессов.

Методика проведения метеорологических и теплобалансовых наблюдений разработана в Гидрометслужбе СССР. Для этих целей используется стационарная аппаратура, позволяющая осуществлять непрерывную и периодическую запись. Для получения среднесуточных данных при периодической записи используются стандартные сроки: 0^{30}, 6^{30}, 9^{30}, 12^{30}, 15^{30} и 18^{30}.

Тепловые измерения в грунте, растительном и снежном покровах осуществляются с помощью датчиков. Для измерения температуры грунтов рекомендуется использовать термометры сопротивления, а температура поверхности измеряется "термопауком", в котором датчиком служат термопары или термометры сопротивления.

Датчики устанавливаются по глубине до подошвы слоя годовых колебаний температуры. Во избежание конвекции после установки датчиков скважины засыпаются песком. Интервал между датчиками в верхнем слое определяется глубиной сезонного протаивания или промерзания грунта и не должен превышать 0,1–0,5 м; ниже глубины сезонного промерзания-протаивания интервал увеличивается до 0,5–2,5 м. Для того чтобы не произошло искажения температурного поля из-за большого количества датчиков и подводящих проводов, установку датчиков осуществляют не менее чем в двух скважинах, расположенных рядом.

Сроки измерения температуры зависят от глубины расположения датчиков, глубины сезонного протаивания и промерзания грунтов, хода снегонакопления и наличия растительных напочвенных покровов. В слое с суточными колебаниями температуры наблюдения выполняются 4 или 6 раз за сутки. С глубины более 2 м измерения рекомендуется проводить раз в 5 дней.

В снежном и растительном покровах термодатчики устанавливаются с интервалом не более 0,1 м. В напочвенных покровах незначительной мощности датчики устанавливаются на верхней и нижней их поверхностях.

Теплопоток через поверхность грунта и покровы измеряется теплomерами специального изготовления. Теплomеры устанавливаются над покровом и на поверхности грунта. Теплофизические характеристики растительного и снежного покровов определяются только при установившемся температурном режиме.

Измерение температуры и теплопотоков осуществляется дистанционно специальной коммутационной и измерительной аппаратурой АСИ-500-1, разработанной в ПНИИИС и работающей в ручном, автоматизированном и автоматическом режимах.

Измерения влажности грунтов на всех площадках и точках наблюдений ведутся в течение годового цикла с интервалом от 15 до 30 дней. В начале и конце промерзания пробы грунтов на влажность берутся из шурфов, а в процессе промерзания и протаивания точечный отбор проб осуществляется с помощью зондировочного бурения скважин на глубину слоя сезонного промерзания-протаивания грунта. Наблюдения за сезонным промерзанием и протаиванием грунтов осуществляются мерзлотомерами Данилина, Ротомского и зондировочным бурением. При промерзании мелкодисперсных грунтов более достоверные данные о глубине промерзания можно получить по мерзлотомеру Ротомского. Глубина протаивания (при глубине не более 1 м) определяется металлическим щупом.

Наблюдения за изменением высоты снежного покрова ведутся по снегомерным рейкам. Высота снежного покрова фиксируется ежедневно. Плотность снега определяется весовым снегомером (ВС-43) 1–2 раза в декаду в зависимости от скорости снегонакопления и ветрового режима. Наблюдения за строением снега проводятся 1–2 раза в месяц в шурфе, в стороне от площадки в идентичных условиях. При значительном перераспределении снежного покрова по территории проводится снегомерная съемка по заранее намеченным профилям. Эпизодические наблюдения за высотой снежного покрова и плотности снега по профилям должны быть не реже 1 раза в месяц.

Организуются наблюдения за динамикой развития ведущих криогенных процессов осваиваемой территории.

Наблюдения за термокарстом организуются для изучения факторов, способствующих развитию термокарста и стабилизирующих его для

определения влияния просадочных образований на тепловое состояние грунтов на участках, затронутых термокарстом, и для получения исходных данных, необходимых при создании статистических и математических моделей развития термокарста.

Наблюдения за развитием термокарста проводятся на участках с льдистыми и сильнольдистыми грунтами. Для проведения наблюдений необходимо создать искусственные условия, катализирующие развитие термокарста в начальной стадии. Для этого организуются площадки с различной степенью нарушения поверхностных условий (уничтожение растительного покрова, создание выемки глубиной от 20 до 50 см в зависимости от глубины сезонного протаивания грунтов).

В состав наблюдений за динамикой развития термокарста включаются:

наблюдения за температурным режимом грунтов в скважинах глубиной 10–15 м на экспериментальных площадках и за их пределами;

наблюдения за изменением во времени глубины сезонного протаивания грунтов;

наблюдения за влажностью сезоннопротаивающих грунтов;

систематические наблюдения за увлажненностью площадок, определение коэффициента фильтрации грунтов;

наблюдения за скоростью отступления термоабразионных уступов и переносом дисперсного материала по акватории термокарстовых озер.

На каждой площадке изучается геологическое и криогенное строение грунтов до глубины 10–15 м, определяются физические и теплофизические характеристики вечномерзлых и талых грунтов, их просадочность при протаивании, деформация дневной поверхности в пределах опытных площадок путем повторного высокоточного нивелирования специальных марок.

Рекомендуемый комплекс наблюдений позволяет выявить потенциальную возможность просадочных процессов, прогнозировать их развитие и разрабатывать мероприятия по борьбе с их влиянием.

Для наблюдений за пучением промерзающих грунтов выбираются площадки с мелкодисперсными грунтами. На каждой из площадок в течение периода промерзания грунтов проводится следующий комплекс наблюдений и исследований:

подробно изучается геологическое строение площадки;

определяется гранулометрический, минеральный состав и состав обменных катионов грунтов;

проводятся наблюдения за влажностью и плотностью грунтов в процессе промерзания, за изменением уровня грунтовых вод;

выполняются наблюдения за скоростью и глубиной промерзания, а также температурным режимом промерзающих грунтов;

в лабораторных условиях исследуется компрессионная усадка грунта при кристаллизации свободной воды, определяются плотность, пористость, предзимняя влажность грунтов под давлением;

организуются полигоны для определения нормальных и касательных сил пучения [13];

производятся наблюдения за величиной пучения грунтов с помощью поверхностных марок-реперов, устанавливаемых до начала сезонного промерзания грунта на опытных площадках. Наблюдения за перемещениями поверхности промерзающего грунта ведутся посредством нивелирования марок-реперов в сроки, предусмотренные задачами исследования. Для определения послойной величины пучения используют глубинные марки-репера.

Материалы режимных наблюдений необходимы для прогноза криогенного пучения грунтов, а экспериментальные исследования касательных и нормальных сил пучения для расчета несущей способности свай проектируемых объектов строительства.

Для наблюдений за морозобойным растрескиванием грунтов в районе стационаров выбираются площадки с полигональным рельефом и участки без него, но где при освоении территории прогнозируется морозобойное растрескивание грунтов. Площадки без полигонального рельефа должны быть размером не менее 50х50 м, на них убирается снег и растительность. Наблюдения ведутся в зимний период.

На площадках с полигональным рельефом выполняется следующий комплекс наблюдений [2]:

измеряется температура воздуха, снега, растительного покрова и грунтов до глубины 2—3 м;

измеряются теплопотоки в снежном и растительном покровах для последующего расчета коэффициентов теплопроводности и температуропроводности;

определяется влажность, объемный вес грунта и гранулометрический состав по разрезу;

поперек трещин устанавливаются тонкие проволоки для определения растрескивания грунта под снегом. Обрыв проволоки, соответствующий образованию трещин, фиксируется пропусканием тока;

определяется величина температурных деформаций пород в ходе охлаждения путем измерения ширины естественных морозобойных трещин на поверхности грунта специальными трещиномерами (или динамометрами в искусственно созданных щелях). Температурные деформации грунтов могут быть измерены и в лабораторных условиях.

На участках, где морозобойное растрескивание в естественных условиях не проявляется, но предполагается его развитие при измененных условиях, рекомендуется выполнять тот же комплекс работ, что и на площадках с полигональным рельефом.

По результатам стационарных режимных наблюдений прогнозируется возможность образования морозобойных трещин и параметры полигональной системы трещин.

Для наблюдений за солифлюкцией выбираются опытные площадки с естественным развитием солифлюкционных форм рельефа и площадки, где при освоении территории возможны солифлюкционные процессы. На выбранных площадках рекомендуется комплекс наблюдений, который проводится в летнее время [4]:

определяется скорость протаивания вечномерзлых грунтов с помощью мерзлотомеров или наблюдениями за положением нулевой изотермы;

устанавливаются криогенное строение и льдистость сезонноталого слоя и верхних горизонтов вечномерзлых грунтов;

определяется коэффициент фильтрации грунтов контактного слоя;

выполняются наблюдения за скоростью перемещения солифлюкционных тел. Расположение измерительных марок должно быть сделано с расчетом на то, чтобы выяснить особенности движения отложений по склонам и специфику движения отдельных солифлюкционных форм рельефа в пределах выбранной площадки, изучить зависимость скорости движения от состава, свойств и состояния отложений, от формы, крутизны, экспозиции и относительной высоты склонов, от глубины сезонного протаивания грунтов, от видового состава растительного пок-

рова и т.д. Измерение скоростей солифлюкционного потока производится высокоточной теодолитной или фототеодолитной съемкой или механическим способом с помощью кинеметров или кинеграфов;

измеряется движение грунтового потока по глубине с помощью деревянной шашки, гибкой ленты, закладываемых в слое сезонного протаивания грунтов или дифференциальным электрическим измерителем смещения и тензодатчиками [4];

ведутся наблюдения за изменением объемного веса и влажности грунтов солифлюкционного тела;

выполняется детальная топографическая съемка опытных площадок;

в лабораторных условиях определяются длительная прочность, пористость, максимальная гигроскопическая влажность, полная влагоемкость, набухание, водопроницаемость, коэффициент влагопоглощения талых грунтов;

в полевых условиях определяется длительное сопротивление дернины разрыву с помощью прибора, представляющего собой захват из двух рифельных площадок, соединенных через динамометр с лебедкой.

4. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Учитывая сложность и разнообразие инженерно-геокриологических условий в районах распространения мерзлых толщ выбор методов их изучения должен осуществляться с учетом особенностей рассматриваемых типов мерзлых толщ, так как каждый метод имеет ограничения в отношении применимости, свою разрешающую способность, точность и стоимость. Существенное различие инженерно-геокриологических условий каждого из выделенных типов мерзлых толщ неизбежно вызывает необходимость решения общих и индивидуальных задач в процессе инженерно-геокриологических исследований, комплексирования различных методов исследований. Так, в Западной Сибири, в районах распространения I типа мерзлых толщ, инженерно-геокриологические условия характеризуются наибольшей сложностью и разнообразием. Объем требуемой информации при инженерно-геокриологических исследованиях в этих районах существенно больше по сравнению с районами распространения III типа мерзлых толщ (например, Колымская низменность). В связи с этим методика производства инженерно-геокриологических исследований должна основываться на рациональном комплексировании методов изучения характеристик мерзлых грунтов.

В районах распространения мерзлых толщ I типа важнейшей задачей инженерно-геокриологических исследований должно быть площадное картирование вечномерзлых и талых грунтов, участков новообразования мерзлых грунтов и несливающихся мерзлых грунтов, тогда как для районов распространения II и III типов эта задача практически не стоит. В районах распространения мерзлых толщ II–III типов, характеризующихся сплошным по площади и разрезу развитием мощных и прочных мерзлых грунтов, сложность инженерно-геокриологических условий определяется наличием участков, сложенных сильнольдистыми грунтами или практически чистым подземным льдом, и участков с интенсивным развитием криогенных процессов. В самых северных районах (например, Ямал, Гыдан) важное значение имеет изучение засоленности

мерзлых грунтов, слагающих морские равнины и лайду, а также мощности мерзлых пород, так как вдоль побережья и в устьях рек развиты маломощные мерзлые толщи, подстилаемые охлажденными засоленными породами и криопэгами.

Бурение, горные выработки и изучение обнажений до сих пор являются основным и самым достоверным источником получения информации о ведущих характеристиках мерзлых грунтов для всех выделенных типов мерзлых толщ. Количество выработок, их глубина, места заложения определяются главным образом соображениями геологического и геокриологического характера: необходимостью выявления условий залегания и степени прерывистости мерзлых грунтов, их состава, состояния, криогенного строения, физико-механических и химических свойств грунтов, необходимостью выявления и оконтуривания участков распространения особых в строительном отношении грунтов (например, сильнольдистых, засоленных) и криогенных процессов.

Способы бурения, не обеспечивающие качественной геологической документации (шнековое, ударно-канатное), решают ограниченный круг задач и рекомендуются для массового бурения при установлении глубины сезонного промерзания-протаивания грунтов и границ многолетнемерзлых грунтов. Для получения качественных образцов мерзлых грунтов ненарушенного сложения и естественной влажности (льдистости) бурение должно проводиться колонковыми способами без промывки, укороченными рейсами, с пониженным числом оборотов снаряда и диаметром, превышающим диаметр отбираемых образцов мерзлого грунта в полтора-два раза.

Цели, задачи и методы проведения стационарных наблюдений в районах распространения выделенных типов мерзлых толщ, где развиты криогенные и иные процессы и явления, существенно различаются и носят специфический характер. Так, если в районах развития мерзлых толщ I типа основная задача стационарных исследований сводится к наблюдениям за пучением грунтов и динамикой температурного режима и глубин сезонного промерзания-протаивания грунтов, то в районах распространения мерзлых толщ II и III типов на первый план выступают задачи наблюдений за характером и интенсивностью развития криогенных процессов при поверхностных нарушениях (склоновые процессы, морозобойное трещинообразование, термоэрозия и др.).

В районах распространения всех выделенных типов мерзлых толщ производство инженерно-геокриологических работ сейчас не мыслится без широкого применения ландшафтно-индикационного метода в сочетании с дешифрированием аэрофотоматериалов (в том числе и космических) и аэровизуальными наблюдениями. С помощью этого метода обеспечивается выбор ключевых участков и опорных маршрутов, а также точное картирование инженерно-геокриологических условий, верхнего горизонта пород (распространение мерзлых и талых грунтов, литологических типов грунтов, криогенных процессов и явлений).

Геофизические и в том числе термометрические методы при инженерно-геокриологических исследованиях получили широкое использование (особенно электроразведочные, сейсморазведочные). Этими методами получается информация об условиях залегания мерзлых пород, их мощности, примерном содержании льда в породе и картируются крупные скопления мономинерального льда в мерзлых толщах. Эти характеристики мерзлых грунтов, как правило, могут быть получены при комплексировании нескольких геофизических методов. Например, для выявления и оконтуривания площадей распространения залежей

Таблица 3

Комплекс основных методов	Типы мерзлых толщ	Основные характеристики мерзлых грунтов									
		Распространение и прерывистость		Глубина сезонного		Среднегодовая температура	Криогенное строение, состав, льдистость, влажность, плотность	Засоленность	Крупные скопления подземного льда (повторно-жильного, пластового и др.)	Криогенные процессы (распространение, условия развития)	Грунтовые воды (положение, агрессивность, коррозийность)
		в плане	в разрезе	оттаивания грунтов	промерзания грунтов						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Ландшафтно-индикационный в сочетании с аэрометодами	I	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+
	II	+	++	+	+	+	+	–	+	+	+
	III	++	++	+	++	+	+	–	+	+	+
2. Электроразведка на постоянном и переменном токе:											
а) профилирование	I	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–
	II	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–
	III	++	–	–	–	–	–	–	+	–	–
б) вертикальное зондирование	I	–	+	++	++	–	–	++	+	–	–
	II	–	+	–	++	–	–	+	+	–	–
	III	–	+	–	–	–	–	++	+	–	–
3. Каротаж и в том числе термокаротаж	I	–	+	–	–	+	++	–	–	–	+
	II	–	+	–	–	+	++	–	–	–	+
	III	–	+	–	–	+	++	–	–	–	+
4. Сейсморазведка	I	–	+	–	–	–	+	–	+	–	+
	II	–	++	–	–	–	+	–	+	–	+
	III	–	++	–	–	–	+	–	+	–	+
5. Радиоактивные методы	I	–	–	–	–	–	+	–	+	–	+
	II	–	–	–	–	–	+	–	+	–	+
	III	–	–	–	–	–	+	–	+	–	+
6. Наземное радиолокационное зондирование	I	–	+	–	–	–	++	–	+	–	–
	II	–	++	–	–	–	++	–	+	–	–
	III	–	–	–	–	–	++	–	+	–	–
7. Бурение скважин:											
а) колонковое с продувкой воздухом или с промывкой охлажденными растворами	I	–	+	–	–	–	+	–	+	–	+
	II	–	+	–	–	–	+	–	+	–	+
	III	–	+	–	–	–	+	–	+	–	+
б) ударно-канатное	I	–	+	+	+	–	+	–	+	–	+
	II	–	+	+	+	–	+	–	+	–	+
	III	–	+	+	+	–	+	–	+	–	+
в) шнековое	I	–	++	+	+	–	–	–	–	–	+
	II	–	++	+	+	–	–	–	–	–	+
	III	–	++	+	+	–	–	–	–	–	+
8. Проходка горных выработок	I	++	++	+	+	–	+	–	+	+	–
	II	++	++	+	+	–	+	–	+	+	–
	III	–	–	+	++	–	+	–	+	+	–
9. Стационарные и опытные работы на площадках, в скважинах, шурфах	I	–	+	+	+	+	–	–	–	+	+
	II	–	+	+	+	+	–	–	–	+	+
	III	–	+	+	+	+	–	–	–	+	+
10. Лабораторные работы	I	–	–	–	–	–	+	++	–	–	+
	II	–	–	–	–	–	+	+	–	–	+
	III	–	–	–	–	–	+	++	–	–	+

Продолжение табл. 3

Комплекс основных методов	Типы мерзлых толщ	Основные характеристики мерзлых грунтов									
		Распространение и прерывистость		Глубина сезонного		Среднегодовая температура	Криогенное строение, состав, льдистость, влажность, плотность	Засоленность	Крупные скопления подземного льда (повторно-жильного, пластового и др.)	Криогенные процессы (распространение, условия развития)	Грунтовые воды (положение, агрессивность, коррозийность)
		в плане	в разрезе	оттаивания грунтов	промерзания грунтов						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11. Аналитические расчеты и моделирование	I	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–
	II	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–
	III	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–
12. Обследование состояния инженерных сооружений	I	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–
	II	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–
	III	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–

Примечания: 1. Знак "+" обозначает целесообразность использования метода.
2. Знак "++" обозначает целесообразность использования метода в отдельных случаях.
3. Знак "–" обозначает нецелесообразность использования метода.

подземного льда можно рекомендовать комплекс из трех методов: электроразведки на переменном токе, электроразведки на постоянном токе и наземное РЛ-зондирование. Таким образом, возможности применения того или иного метода инженерно-геокриологических исследований ограничиваются зональными и региональными факторами; оценка их применимости приводится в табл. 3.

5. ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

5.1. *Температурный режим грунтов* изучается на ключевых участках для всех выделенных в процессе ландшафтного районирования элементов (микрорайонов) с учетом условий теплообмена на поверхности, динамики и режима грунтовых вод и особенностей геологического строения. Температурный режим должен изучаться в первую очередь в слое годовых колебаний температур; ниже этого слоя в пределах всей мерзлой толщи и ниже ее подошвы наблюдения за температурой грунтов выполняются при специальных работах. Измерения температуры грунтов в слое годовых колебаний в пределах каждого типа микрорайона на ключевом участке выполняются: при однородных поверхностных условиях – в одной скважине; на участках, где поверхностные условия меняются, – в двух (в условиях ожидаемых максимальных и минимальных температур).

В северных областях, отличающихся низкими температурами вечномерзлых грунтов, мощность слоя годовых колебаний температуры достигает 15–20 м. В этих областях в августе-сентябре температурные кривые ассимптотически приближаются к оси средних годовых температур грунтов уже на глубине 8–10 м; поэтому измеренная на этой глубине температура отличается от средней годовой на 0,1–0,5°С. В связи с этим для термометрических наблюдений при опережающих исследованиях можно принимать глубину скважин 10 м.

5.2 *Сезоннопротаивающие и сезоннопромерзающие грунты* изучаются в шурфах и скважинах на каждом выделенном микрорайоне. Исследуется состав и водно-физические характеристики грунтов из каждой литологической разности. Оптимальный срок для изучения сезоннопротаивающих грунтов – сентябрь – начало октября, когда протаивание достигает максимальной величины и можно зафиксировать предзимнюю влажность грунтов; для изучения грунтов сезонномерзлого слоя – апрель – начало мая.

В каждом выделенном микрорайоне делается от 8 до 12 измерений глубин оттаивания-промерзания грунтов. Рекомендуется измерять их как в наиболее характерных микроучастках (по 3–5 измерений в каждом), так и в нехарактерных местах.

В таблице, прилагаемой к ландшафтно-индикационной карте, приводятся интервалы глубин сезонного протаивания-промерзания грунтов для наиболее характерных микроусловий; в тексте отчета обязательно указываются возможные отклонения глубины на нехарактерных участках.

Для определения глубин сезонного протаивания и промерзания грунтов рекомендуется применять:

метод непосредственных измерений при проходке скважин, зондирующим щупом, при проходке шурфов. В северных районах удобнее

применять щуп, так как мощность сезонно-талого слоя там, как правило, не превышает 1 м. На юге, где летнее протаивание значительно, а также для определения мощности сезонномерзлого слоя зимой рекомендуется бурение зондировочных скважин. Полученные в разное время года глубины оттаивания-промерзания грунта приводятся к максимальным за год по методу В.Ф. Тумеля [8]. Чтобы получаемые глубины оттаивания-промерзания грунтов были достаточно точными, нужно иметь набор кривых протаивания для различных грунтов при различных напочвенных покровах и климатических параметрах. Поскольку получение такого набора кривых трудоемко, для упрощения и экономии времени рекомендуется измерять глубины сезонного оттаивания-промерзания в момент их максимальных значений, соответственно в конце августа-сентября и в конце апреля-мая. Если такие данные получить нельзя, то для определения глубин оттаивания-промерзания целесообразно применять расчетные методы;

электроразведка применяется при больших глубинах сезонного протаивания-промерзания грунтов. Величина минимальных разносов питающей линии при работе с этим методом не должна превышать эти глубины;

расчетный метод применяется при условии, если оценены природные факторы, влияющие на глубину сезонного промерзания-протаивания грунтов. Для целей опережающих исследований рекомендуется использование формул В.А. Кудрявцева, Г.В. Порхаева с дополнениями В.П. Чернядьева [24].

5.3. *Распространение вечномерзлых грунтов* характеризуется их сплошностью (прерывистостью) по площади. По этому признаку при опережающих исследованиях рекомендуется выполнять (картировать) участки: а) сплошного распространения вечномерзлых грунтов (талики занимают менее 5% площади контура); б) прерывистого распространения вечномерзлых грунтов (талики занимают 5–50% площади контура); в) массивно-островного распространения вечномерзлых грунтов (талики занимают 50–90% площади контура); г) островного распространения вечномерзлых грунтов (талики занимают более 90% площади контура); д) распространение талых грунтов с редкими линзами вечномерзлых грунтов.

Основой изучения закономерностей распространения вечномерзлых грунтов служат ландшафтно-индикационные наблюдения. В районах развития мерзлых толщ I типа в качестве индикаторов распространения мерзлых и талых грунтов рекомендуются растительные покровы в сочетании с мезо- и микрорельефом (табл. 4).

Таблица 4

Районы	Индикаторы мерзлых грунтов	Индикаторы талых грунтов
Северо-восток Европейской части СССР	Тундровые участки с низкорослым кустарником и с пятнистым микрорельефом	Леса, редколесья и редины; обводненные осоково-моховые болота (тайга)
	Плоские торфяники с полигональным рельефом	Заросли высоких кустарников в понижениях рельефа и на низкой пойме рек и ручьев (тундра и север лесотундры)
	Осоково-моховые болота (тундра и север лесотундры)	

Продолжение табл. 4

Районы	Индикаторы мерзлых грунтов	Индикаторы талых грунтов
	Бургистые торфяники Сильно замшелые участки мелкобугристого микрорельефа с толщиной мха 30 см и больше	Заросли высоких кустарников на плоских междуречьях (тайга и юг лесотундры)
Западная Сибирь	Безлесные участки с кустарничком (лесотундра и тайга) Угнетенные темнохвойные и смешанные леса с мощным моховым покровом на буграх, грядах и на плоских участках высокой поймы рек (лесотундра и тайга)	Редкостойные мохово-лишайниковые леса Заросли кустарников Песчаные косы и раздувы (тайга) Обводненные болота (тайга, лесотундра)*

*На таких участках под слоем талых грунтов мощностью менее 10 м могут залегать мерзлые грунты.

Мерзлые толщи II–III типов характеризуются практически сплошным распространением, поэтому этот вопрос решается при изучении сезонного протаивания грунтов. Здесь целесообразно выделять участки со сквозными и несквозными таликами под реками и озерами, в местах накопления снега большой мощности, разгрузки восходящих подземных вод.

При изучении распространения мерзлых грунтов (кроме ландшафтно-индикационного метода) рекомендуются геофизические и горно-буровые работы. Применяя электроразведку, следует учитывать частную изменчивость поверхностных условий; поэтому шаг профилирования следует принимать AB/2 линии для большего разноса MN = 10–15 м (но соблюдая условие MN ≤ 1/3 AB), для меньшего – MN = 3–4 м. Таким образом, оптимальным является профилирование установкой $AA'MNB'B$ с AB=40–50 м, MN =10–15 м и $A'B'$=10–15 м, $M'N'$ с шагом измерения 20–25 м. Технологически выгоднее производить измерение на малом разносе "обращенной установкой" так, чтобы приемная линия MN была одна для обоих питающих разносов.

Оконтуривание участков с мерзлыми грунтами, кровля которых залегает на глубинах 3–8 м, наиболее сложно выполнить в лишайниковых лесах, где сверху или на небольшой глубине залегают талые сухие песчаные грунты. В этих случаях результаты геофизических исследований проверяются бурением. Залегающие сверху пески имеют очень высокое УЭС (десятки тысяч омм). Проводить электроразведочные измерения в таких условиях трудно из-за крайне высоких переходных сопротивлений между грунтом и измерительными электродами, часто оказывающимися выше предельно допустимых. По этой причине не всегда удается обеспечить необходимый ток в питающих линиях, что приводит к заметному снижению точности измерений. Графики ЭП по

форме и величине ρ_K очень похожи на графики над мерзлыми "низкотемпературными" толщами. По значению УЭС такие пески, находящиеся в талом состоянии, можно принять за мерзлые, а их горизонт, находящийся выше уровня грунтовых вод, – за высокоомный сильнольдистый горизонт.

5.4. *Мощность вечномерзлых грунтов* изменяется в широком диапазоне (от нескольких метров до сотен метров и более) и при опережающих исследованиях необходимо установить ее зависимость от геолого-гидрогеологических условий, рельефа, состава и свойств пород и их обводнения, современных климатических особенностей и истории геолого-тектонического развития района в четвертичное время. Для целей наземного строительства сооружений неглубокого заложения мощность мерзлых грунтов исследуется в районах распространения толщ I типа. Для мерзлых толщ II–III типов эта характеристика, измеряемая сотнями метров, может не оцениваться; основное внимание уделяется определению конфигурации редких таликов.

В районах распространения мерзлых толщ I типа необходимо установить участки с непрерывномерзлыми по разрезу и прерывистыми (слоистыми) по разрезу мерзлыми грунтами. При характеристике слоистых мерзлых грунтов определяются интервалы глубин, где встречены мерзлые и талые (немерзлые) прослои.

Для определения мощности мерзлых грунтов рекомендуется несколько способов:

по исчезновению льда в керне скважин (не применяется для мерзлых глинистых пород с температурой, близкой к 0°С и для скальных пород, не содержащих видимых включений льда);

по появлению воды в скважине (при проходке всухую);

по измерению температуры грунтов в скважинах, полностью прошедших мерзлую толщу (границей считается изотерма 0°С) или в скважинах, не полностью прошедших мерзлую толщу (по экстраполяции температурной кривой);

вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) эффективно в случае резкого изменения сопротивления мерзлых и талых пород (например, мерзлые породы сильнольдистые, а талые – водоносные). В глинистых слабольдистых и засоленных грунтах, в которых разница в эмпирическом сопротивлении для талого и мерзлого состояния невелика, граница мерзлых пород с помощью ВЭЗ не отбивается. При проведении ВЭЗ на участках, характеризующихся частым чередованием мерзлых и талых грунтов по площади, учитывается влияние таликов и обязательно применяются трехэлектродные ВЭЗ по методу двух составляющих.

Для приближения оценки мощности мерзлых толщ рекомендуются также методы промысловой геофизики (ОЦК, термограммы и т.п.).

5.5. *Физико-геологические процессы и образования* являются наиболее легко дешифрируемыми показателями инженерно-геокриологических условий. Изучение их проводится в камеральных и полевых условиях. Хорошие дешифровочные признаки позволяют в камеральных условиях при анализе аэрофотоматериалов и космических снимков получить важную информацию о их распространении и морфологии и до начала полевых работ составить предварительную карту их распространения. Для составления такой карты рекомендуется использовать аэрофотоснимки масштаба не крупнее 1:60000.

Аэровизуальные наблюдения позволяют уточнить карту физико-геологических образований и наметить ключевые участки для деталь-

ных работ с учетом распространения этих образований по площади. На ключевых участках детально изучаются те образования, которые наиболее широко распространены и могут рассматриваться в качестве индикаторов инженерно-геокриологических условий. В период полевых работ эти сведения уточняются.

Динамика развития основных физико-геологических процессов в естественных и нарушенных условиях выявляется в процессе режимных наблюдений на стационарах.

При камеральной обработке материалов по предварительной карте и по данным полевых исследований составляется карта физико-геологических процессов и образований на геолого-тектонической основе с выделением районов, характеризующихся их парагенетическими комплексами. При изысканиях под линейные объекты значительной протяженности необходимо выявление зональных и региональных особенностей проявления физико-геологических процессов.

Результатом окончательной обработки материалов должна явиться оценка тенденции развития физико-геологических процессов. Для этих целей проводится дешифрирование аэрофотоснимков разных лет.

Морозобойное растрескивание обусловливает формирование полигонального микрорельефа и повторно-жильных льдов, ледогрунтовых и грунтовых жил. Особое значение изучение морозобойного растрескивания имеет в северных районах, где распространены грунты с низкими температурами. На увлажненных поверхностях, сложенных преимущественно глинистыми осадками, преобладают валиковые полигоны, которые в своей центральной части заболочены и обводнены. Такой микрорельеф служит признаком роста повторно-жильных льдов. Валиковые полигоны хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках среднего и крупного масштаба: полосы вдоль трещин имеют светлый оттенок, в центральной части – темный. В районах развития валиковых полигонов и повторно-жильных льдов в стадии вытаивания рекомендуется применять спектрозональные аэрофотоснимки масштаба 1:40000–1:60000; однако наиболее целесообразно употребление материалов многозональной аэрофотосъемки камерой МКФ-6, допускающих многократное увеличение. По разрешению они аналогичны крупномасштабным аэрофотоснимкам.

В южных районах распространения вечномерзлых грунтов полигональный микрорельеф выражен слабо и при наземных исследованиях не фиксируется либо проявляется в виде прерывистых валиков, образующих нечеткую полигональную сеть. На аэрофотоснимках крупного масштаба этот рисунок светлого тона проявляется на общем сером фоне различной интенсивности в зависимости от степени увлажнения поверхности. На дренированных, преимущественно песчаных участках, при морозобойном растрескивании образуются грунтовые или ледогрунтовые жилы. Полигональный микрорельеф в этом случае выражен обычно слабо. В центральных частях водоразделов он часто не распознается ни на аэрофотоснимках, ни при наземных исследованиях. По направлению к долинам рек, ручьев и берегам озер обычно увеличивается проявление полигонального микрорельефа. При наземных исследованиях на поверхностях, занятых пилайниками, он обнаруживается в виде узких, слабо выраженных понижений. Вблизи бровок склонов в результате эрозионных процессов полигональный микрорельеф становится более четким. На местности полигональный рельеф более четко проявляется по направлениям, перпендикулярным местным дренам. На аэрофотоматериалах крупного, а иногда и среднего масштаба

полигональный микрорельеф такого типа проявляется в виде серых и темно-серых линий полигонального рисунка на общем белом или светло-сером фоне.

На торфяниках полигональный рельеф часто представлен полигонами, ограниченными канавами различной глубины и ширины, обычно заболоченными или обводненными. На местности выявление такого микрорельефа не вызовет затруднений, а на аэрофотоснимках среднего и крупного масштаба он выражен в виде серых или светло-серых полигонов, ограниченных темными полосами. Если в этих районах такой микрорельеф является признаком термокарста по повторножильным льдам, то в северных районах частичное протаивание может сменяться ростом ледяных жил или оба эти процесса могут развиваться одновременно.

Процессы многолетнего пучения грунтов проявляются в виде бугров и гряд, наиболее легко выявляющихся на местности и на крупномасштабных аэрофотоснимках.

В северных районах распространения вечномерзлых грунтов широко развиты многолетние бугры пучения, приуроченные к озерным котловинам (хасыреям, аласам), а в южных – торфяные бугры пучения, образующие массивы бугристых торфяников. Минеральные бугры пучения имеют ограниченное распространение, как правило, залесены и встречаются на всей территории распространения вечномерзлых грунтов.

При опережающих исследованиях необходимо установить следующие данные о буграх пучения:

местоположение, приуроченность к долинам водотоков, котловинам и т.д., что нужно для определения генезиса пучинных образований;

морфологические особенности (высота, поперечные размеры, крутизна склонов), которые являются показателями степени льдонасыщенности отложений и глубины залегания льдонасыщенного ядра;

характер растительных покровов, позволяющий ориентировочно определить возраст и стадию развития бугров пучения;

геологический разрез бугров пучения, криогенное строение и льдистость грунтов.

При изучении линейно-грядового рельефа помимо сведений, необходимых при исследовании бугров пучения, требуется также установить:

приуроченность этих образований к определенным геолого-тектоническим условиям;

характер расположения линейных форм (прямолинейный, дугообразный, кольцевой и т.д.), их ориентировку;

протяженность и ширину гряд и межгрядовых понижений, превышения гряд над межгрядовыми понижениями и окружающей территорией;

характер рельефа поверхности гряд и межгрядовых понижений, наличие на них озер, их ориентировку, размеры и глубину;

геологический разрез, криогенное строение и льдистость гряд и межгрядовых понижений, а также территории, прилегающей к грядовому поясу.

По морфологии и размерам термокарстовых образований можно судить о степени льдонасыщенности поверхностных отложений и генезисе вытаивающих льдов. Озера с поперечником 5–100 м при глубине 1–3 м с крутыми берегами в южных районах Западной Сибири являются индикаторами распространения сильнольдистых грунтов. В северных районах распространены преимущественно крупно-

котловинные, относительно глубокие термокарстовые озера и котловины, что связано с высокой льдистостью отложений. Крупные и глубокие (глубиной до нескольких десятков метров) озера расположены на участках распространения пластовых льдов. Здесь же на участках с сегрегационными и полигонально-жильными льдами термокарстовые озера обычно имеют глубину не более 3 м.

При дешифрировании аэроснимков и полевом исследовании термокарстовых форм отмечают: их размеры (длину, ширину, глубину); детально описывают дно термокарстовых котловин (обводненность, растительный покров, микрорельеф и т.д.), строение склонов (крутизну, наличие трещин, оползней, сплывов, растительный покров). Эти данные необходимы для определения стадии развития термокарста.

В северных районах признаками современного развития термокарста могут служить:

активное разрушение берегов в результате абразии:

прямоугольные, зубчатые очертания берегов, свидетельствующие об их развитии по полигонально-жильным льдам;

трещины оседания, параллельные берегам озер;

затонувшие деревья, кустарники, наклон деревьев.

Для выявления условий прогрессирующего развития термокарста по площади необходим сравнительный анализ геокриологического строения днища термокарстовых котловин и окружающей ее территории. Необходимы сведения о составе и льдистости поверхностных отложений и о мощности талика в пределах термокарстового понижения. При исследовании термокарста важно установить общую тенденцию его развития, обусловленную геотектоническим режимом и климатом территории – увеличение или сокращение площади термокарстовых озер, дренирование или заполнение осадками озерных котловин, которое может привести к их промерзанию с образованием форм пучения.

Процессы солифлюкции приурочены к склонам крутизной более 2–3°, сложенным пылеватыми супесчано-суглинистыми грунтами. Параллельные склону солифлюкционные натеки, языки, террасы образуются в результате медленного течения грунтов сезонно-талого слоя без разрыва дерновины. На склонах крутизной более 20° (особенно южной экспозиции) и участках близкого к поверхности залегания пластовых льдов формируются оползни – оплывины и небольшие срывы.

Изучение солифлюкционных склонов проводится по аэроснимкам и при маршрутных исследованиях, в процессе которых устанавливаются:

протяженность, крутизна и форма склонов;

взаимосвязь солифлюкции с другими экзогенными процессами (нивацией, делювиальным смывом и т.д.);

состав, густота и сплошность растительного покрова, мощность и плотность торфянистого горизонта;

размеры солифлюкционных террас (длина, ширина, высота фронтального уступа, его форма);

глубины сезонного протаивания грунтов, их состав.

В маршрутах рекомендуется провести глазомерную съемку участков с солифлюкционными образованиями. Для изучения строения солифлюкционных образований копают канавы-траншеи и шурфы, в которых проводят описание:

состава, криогенного строения и льдистости отложений;

типа почвообразования (фиксируются процессы оглеения и оподзоливания);

грунтовых вод.

Для картирования солифлюкционных образований рекомендуется использовать аэрофотоснимки масштаба 1:40000–1:60000. Многозональные и спектрозональные материалы повышают достоверность и убыстряют процесс дешифрирования. В районах массового развития солифлюкции, когда склоны приобретают вид мелкоступенчатой или "гофрированной" поверхности, можно применять локальные космические снимки.

Эоловые процессы развиваются на участках, сложенных песчаными грунтами и характеризующихся расчлененностью рельефа. В результате дефляции формируются котловины и площади выдувания до 1000 м в поперечнике и движущиеся валы и дюны.

При изучении эоловых процессов необходимо определить:

приуроченность эоловых образований к определенным геоморфологическим уровням;

поверхностные условия участков развития эоловых процессов (характер растительности, плотность дернового покрова, микрорельеф, степень дренированности);

состав отложений, подверженных эоловым процессам; при небольшой мощности эоловых песков на глубине 2–3 м могут залегать отложения с неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами;

морфологию и размеры эоловых образований;

глубину сезонного промерзания или протаивания грунтов, их влажность;

физико-геологические процессы, способствующие активизации или затуханию эоловых процессов (морозобойное растрескивание, овражная эрозия, склоновые процессы и др.).

Полученные характеристики позволяют установить:

стадию развития эоловых процессов, выявить активные формы, наступающие на окружающую территорию;

интенсивность эоловых процессов в зависимости от состава отложений, скорости ветра и стадии развития процесса и влияния техногенных нарушений.

Современные развивающиеся эоловые формы физиономичны, отчетливо дешифрируются на аэрофотоснимках и снимках "Ленсат". При опережающих исследованиях целесообразно использование черно-белых аэрофотоснимков масштаба 1:40000–1:60000, полученных короткофокусными аппаратами. В этом случае рельефная стереомодель местности дает возможность подразделять дешифрируемые формы на дефляционные и аккумулятивные, выявить активные образования и определить направление их передвижения.

Овражная эрозия и термоэрозия развиваются на участках с уклонами поверхности более 3–5°. Эрозионные и термоэрозионные формы рельефа изучаются на топографических картах, аэрофотоматериалах, космических снимках и в маршрутах. Комплексное изучение этого процесса позволяет получить сведения:

о приуроченности к определенным геоморфологическим уровням и ландшафтным элементам;

о характере поверхности, на которой развиты эрозионные формы, ее уклоны, особенностях микрорельефа;

о растительности (видовом составе, густоте и сплошности наземного покрова).

При изучении конкретных эрозионных и эрозионно-термокарстовых форм (оврагов, логов и т.д.) обращается внимание на продольный и поперечный профиль; наличие конуса выноса и его размеры; характер днища, изменения в его уклоне, наличие водотоков; характер вершины оврага; растительный покров; глубину залегания вечномерзлых грунтов на склонах и в днище оврага.

На аэрофотоснимках неактивные заросшие овраги обычно имеют более темный цвет по сравнению с окружающим серым или светло-серым фоном. Активные овраги в песчаных грунтах подчеркиваются белыми линиями по тальвегу и пятнами в бортах. При исследовании аэрофотоснимков, снятых в начале теплого периода, необходимо учитывать, что снег, сохранившийся в оврагах, иногда создает ложное впечатление их активности.

Для общей качественной оценки пораженности территории оврагами можно использовать аэрофотоснимки масштабов 1:40000--1:60000. Для оценки активности оврагов, их морфологии, а также подсчета пораженности оврагами территорий конкретных объектов следует пользоваться аэрофотоматериалами масштаба крупнее 1:25000.

5.6. *Гидрогеологические условия.* В процессе опережающих исследований основными объектами изучения являются:

а) воды сезонно-талого слоя, надмерзлотные воды несквозных радиационно-тепловых таликов; б) почвенные и грунтовые воды на талых участках; в) поверхностные воды (водотоков и озер); г) воды межмерзлотных и гидрогенных таликов (подрусловых и подозерных) и д) охлажденные ниже 0° минерализованные подмерзлотные воды (криопэги).

В процессе полевых работ проводятся наблюдения за всеми водопроявлениями, фиксируются все источники с указанием температуры воды и дебита, уровни появления подземных вод и установившиеся уровни в шурфах и скважинах. Установившийся уровень в скважинах замеряется через несколько часов после окончания бурения. Температура воды измеряется родниковыми термометрами. Отмечаются даты наблюдений.

На сокращенный химический анализ пробы отбираются в объеме не менее 0,5 л. Определение агрессивности проводится обычно на месте у водоисточника. Опробованию подвергаются обводненные шурфы и скважины, источники, озера, болота, поверхностные водотоки – реки, ручьи, водотоки в полосах стока. Пробы на определение химического состава вод отбираются из шурфов, скважин, источников и поверхностных водотоков. Объем проб рекомендуется не менее 1 л. Все определения проводятся в лаборатории.

При оконтуривании участков залегания криопэгов кроме бурения рекомендуется применение электроразведки. Параметры профилирующих установок задаются исходя из глубин залегания криопэгов под толщей мерзлых грунтов, определенных с помощью бурения и ВЭЗ. Вертикальными зондированиями может также уточняться характер гидрогеокриологического разреза – мощность залегающего под мерзлыми грунтами яруса криопэгов или мощность залегающих среди мерзлых толщ линз криопэгов (внутримерзлотных криопэгов).

5.7. *Криогенное строение грунтов.* Приемы изучения криогенного строения грунтов едины при геокриологической съемке любых масштабов. Наиболее полное представление о криогенном строении и

льдистости грунтов удается получить при изучении подмываемых естественных и искусственных обнажений. По керну из скважин судить о криогенном строении и льдистости грунтов приходится с осторожностью из-за невозможности учета в большинстве случаев вертикальных шлиров льда, что приводит к занижению величины суммарной влажности (льдистости) при опробовании грунтов с сетчатой и ячеистой криогенными текстурами. В обнажениях удается проследить пространственные соотношения различных пород, криогенных текстур и мономинеральных ледяных тел, установить фациальную и литологическую изменчивость грунтов и выявить изменение криогенного строения грунтов в литологически и генетически однородных толщах.

Полевое изучение криогенного строения дисперсных грунтов в обнажениях начинается с осмотра всего обнажения и получения общего представления о его строении, соотношении слагающих его ледяных тел, положении контактов, распределении льдистости в разрезе и крупных ледяных тел. После этого на закрытых осыпями участках задаются расчистки и канавы таким образом, чтобы сделать описание полного разреза мерзлой толщи в обнажении. Опробование мерзлых грунтов и подземных льдов производится из каждого слоя, различающегося криогенным строением, и сопровождается зарисовками и фотографированием главных их особенностей.

В процессе визуального обследования мерзлого грунта характеризуются особенности его макростроения. Особое внимание уделяется анализу криогенной текстуры, характеризующей строение мерзлого грунта, расположение, форму и величину ледяных включений. В соответствии со СНиП II-18-76 различаются грунты с массивной криогенной текстурой (льдистость грунта за счет ледяных включений $Л_в$ менее 0,03) и грунты со слоисто-сетчатой криогенной текстурой ($Л_в \geqslant 0{,}03$). Массивная текстура свойственна грунтам, в которых присутствует только поровой лед. Мерзлые грунты, в которых лед представлен прослойками, линзами (шлирами), характеризуются шлировыми криогенными текстурами: слоистыми, если шлиры льда чередуются со слоями минерального грунта, и сетчатыми, если шлиры льда располагаются в виде сетки. Подобное деление криогенных текстур достаточно для ориентировочной оценки цементной и шлировой льдистости мерзлых грунтов, но оно не раскрывает условия промерзания грунтов и не всегда соответствует фактическим данным (например, для базальной текстуры $Л_в > 0{,}03$). Поэтому в таблице дается более подробная классификация криогенных текстур дисперсных грунтов. В зависимости от распределения текстурообразующего льда криогенные текстуры разделены на классы (табл. 5). По морфологическим признакам среди криогенных текстур выделяются простые и сложные.

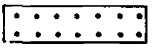
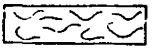
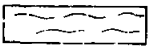
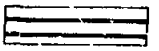
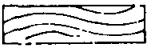
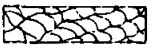
Простые криогенные текстуры образуются включениями льда одной формы; ниже приводится краткая характеристика их основных видов.

Массивная текстура широко распространена в природе и образуется льдом-цементом. Лед-цемент присутствует в грунте в виде кристаллов, заполняющих полностью или частично поровое пространство. Льдистость глинистых отложений за счет льда-цемента не превышает критической влажности.

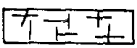
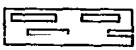
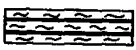
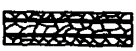
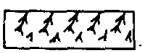
Базальная текстура свойственна распученным грубозернистым и обломочным породам, промерзающим в условиях полного водонасы-

Таблица 5

Упрощенная классификация основных массивных и негилированных криогенных текстур дисперсных грунтов

Типы и виды криогенных текстур	Условное обозначение криогенных текстур	Условия, необходимые для образования текстур	
		состав грунтов	способ промерзания
Простые текстуры			
Массивная		Гравийно-галечные с песчаным заполнителем, песчаные, глинистые, торф	Эпигенетический, сингенетический
Базальная		Гравийно-галечные с песчаным заполнителем или без него, водоносные	Эпигенетический
Корковая		Гравийно-галечные с тонкодисперсным заполнителем	Эпигенетический, сингенетический
Порфировидная		Глинистые, торф	Эпигенетический, сингенетический (редко)
Слоистые			
Линзовидная		Глинистые, тонкозернистые пески, торф	То же
Полосчатая		Глинистые, разложившийся торф	Эпигенетический
Волнистая		Глинистые, оторфованные пески	Эпигенетический, сингенетический
Плойчатая		Глинистые, пылеватые и заторфованные пески	Сингенетический
Косая		То же	То же
Сетчатые			
Ячеистая		Глинистые	Эпигенетический
Плетенчатая		Глинистые, оторфованные пылеватые пески	Сингенетический, эпигенетический

Продолжение табл. 5

Типы и виды криогенных текстур	Условное обозначение криогенных текстур	Условия, необходимые для образования текстур	
		состав грунтов	способ промерзания
Неполносетчатая		Глинистые, разложившийся торф	Эпигенетический
Сетчатая		То же	То же
Сложные текстуры			
Атакситовая		Глинистые, торф	Сингенетический, эпигенетический
Поясковая	 	а. Глинистые, пылеватые и оторфованные пески б. Глинистые	Сингенетический
Слоисто-сетчатая		Глинистые	Эпигенетический
Прожилковая		То же	Сингенетический

щения, когда частицы и обломки породы погружены в лед и не соприкасаются между собой.

Корковая текстура свойственна крупнообломочным породам. Не выдержанные по толщине корки и линзы льда образуются вокруг обломков, валунов, щебенки в связи с проявлением анизотропной теплопроводности между обломочным материалом и вмещающей породой в процессе промерзания.

Порфировидная текстура создается изотермичными кристаллами льда в грунте в виде гнезд, вкраплений неправильной формы. Эта текстура формируется в грунтах разного состава, в том числе в торфе, в условиях небольшого их увлажнения.

Слоистые текстуры (горизонтальная, волнистая, косая и др.) создаются удлиненными линзами, ориентированными в одном направлении и параллельными друг другу. Толщина шлиров льда и расстояние между ними варьирует от миллиметра до десятков сантиметров. Слоистые текстуры развиваются в сильно увлажненных глинистых грунтах, пылеватых и оторфованных песках разного генезиса.

Сетчатые текстуры (ячеистая, плетенчатая, сетчатая и др.) образуются пересекающимися удлиненными шлирами льда и создающими в мерзлом массиве решетчатые формы. Толщина ледяных шлиров каркаса не превышает нескольких сантиметров, а поперечник минеральных ячеек и блоков варьирует от нескольких миллиметров до десятков сантиметров.

Сложные криогенные текстуры образованы шлирами льда различной формы и величины. Они как бы объединяют в себе несколько видов простых криогенных текстур, наложенных друг на друга. Основу текстурного рисунка в грунте создают крупные ледяные шлиры; более мелкие шлиры формируют "подчиненную" криогенную текстуру. Из сложных криогенных текстур, которые присущи в основном глинистым грунтам, чаще всего в разрезах мерзлых дисперсных отложений встречаются следующие виды:

поясковая текстура, свойственная глинистым и в редких случаях оторфованным пескам. Создается при синхронном накоплении и промерзании переувлажненных отложений. Образуется параллельными полосами (слоями) загрязненного льда разной толщины (от нескольких миллиметров до десятка сантиметров) и прослойками грунта частой линзовидной или плетенчатой криогенной текстуры;

слоисто-сетчатая текстура присуща глинистым грунтам, образуется шлирами льда разной формы и величины, развивающимися при заполнении диагенетических трещин и трещин напластования, существовавших в породе до ее промерзания (крупные шлиры первого порядка), и трещин обезвоживания грунта, его усадки и растрескивания в процессе промерзания (тонкие шлиры второго порядка). Образование шлиров льда двух, трех и более порядка отмечается в ленточноподобных глинах и в глинистых грунтах, подстилаемых водоносными горизонтами;

атакситовая текстура формируется при промерзании глинистых грунтов и торфа в условиях избыточного водонасыщения, когда отдельности и агрегаты грунта являются включениями во льду и количественно лед преобладает над грунтом ($Л_в > 0{,}6$). При изучении разрезов мерзлых грунтов по керну и определении их льдистости породы с атакситовой текстурой часто называются "ледогрунтом".

Кроме основных, наиболее распространенных криогенных текстур (табл. 5), в природе существуют их многочисленные переходные типы. Среди них наибольшее распространение имеют неполносетчатые и неполнослоистые текстуры, когда в мерзлой породе наблюдаются отдельные элементы текстур (например, ледяной решетки).

Все виды слоистых, сетчатых и сложных криогенных текстур (кроме атакситовой) подразделяются на разновидности в зависимости от морфологических особенностей ледяных шлиров.

В зависимости от толщины ледяных шлиров ($h_ш$) названные криогенные текстуры разделяются на толстошлировые ($h_ш > 10$ мм), тонкошлировые ($h_ш = 10–1$ мм) и микрошлировые ($h_ш < 1$ мм); в зависимости от повторяемости шлиров льда в разрезе и размера сетки ($l_ш$) на редкослоистые (крупносетчатые) – $l_ш > 100$ мм, частослоистые (мелкосетчатые) – $l_ш = 100–10$ мм и микрослоистые (микросетчатые) – $l_ш < 10$ мм.

В зависимости от простирания шлиров льда по отношению к простиранию слоев породы слоистые и поясковые криогенные текстуры подразделяются на горизонтально-слоистые, вертикально-слоистые и наклонно-слоистые. Характеристика сложных криогенных текстур дается в первую очередь по крупным шлирам льда, определяющим основной рисунок текстуры. Наличие же мелких включений льда отражается в названии текстуры, а их количественное содержание в суммарной льдистости мерзлой породы оценивается опробованием влажности грунта между крупными шлирами (например, между ледяными поясками).

Таким образом, названия основных криогенных текстур, приведенных в табл. 5, должны дополняться и конкретизироваться в процессе полевого изучения закономерностей распределения ледяных шлиров и их морфометрических показателей. Это позволит уже на стадии морфометрического изучения криогенных текстур приблизительно оценить некоторые физические и механические характеристики мерзлых грунтов и прогнозировать их поведение при освоении территории.

После детальных исследований криогенного строения и опробования мерзлых отложений в обнажениях и проходки профиля шурфов и скважин в поле составляется общее описание геокриологического разреза с нанесенным на него криогенным строением пород. Составление полевых разрезов и описаний позволяет выявить и снять неясные места дополнительными выработками.

5.8. Залежи подземных льдов, выступающие в качестве мономинеральной горной породы, требуют особого внимания в процессе исследований.

Пластовые льды, образующие самые крупные залежи, свойственны равнинным заполярным районам с энергетическими мерзлыми толщами; наиболее широко распространенные повторно-жильные и погребенные льды – сингенетическим и эпигенетическим мерзлым толщам.

Предварительно на основании знакомства с литературными и фондовыми данными по природным особенностям района, анализа картографического материала и аэрофотоснимков создается рабочая гипотеза, позволяющая провести типизацию подземных льдов и наметить связи выделенных типов льдов с геолого-геоморфологическими элементами района. Крупные скопления сегрегационного и инъекционного льда обычно связываются с песчано-глинистым составом отложений и часто распознаются по сезонным и многолетним буграм пучения, линейно-ориентированным грядам пучения, а также по циркообразным термоэрозионным и термоабразионным формам рельефа, возникающим при таянии этих льдов. Так, называемые "пластовые" залежи льда свойственны в основном отложениям морского и водно-ледникового генезиса. Повторно-жильные льды, залегающие неглубоко от поверхности, легко распознаются на аэрофотоснимках по такому признаку, как полигональный рельеф и байджарахи. По крупномасштабным снимкам можно определить размеры полигональной решетки, современный характер развития жил льда. Валиковые полигоны на заливаемых участках поймы рек свидетельствуют о сингенетическом типе роста жил и их значительной мощности; валиковые полигоны на дне дренируемого озера – о современном эпигенетическом развитии жил льда и небольшой их высоте и т.п. Высокие байджарахи на склонах террас указывают на наличие в их отложениях крупных ледяных жил сингенетического типа.

В процессе полевых исследований выясняются: а) условия залегания подземного льда; б) формы залегания, распространения и размеров ледяных тел; в) состав и строение, физические и химические характеристики вмещающих пород и льда; г) происхождение ледяных масс и направление их современного развития; д) взаимоотношения с вмещающими мерзлыми грунтами. Самое существенное в полевых исследованиях заключается в выявлении закономерных связей любого типа льда с геологическим строением и геоморфологическими элементами района, а также с генетическими типами мерзлых толщ. Когда такие связи будут установлены, дальнейшие исследования должны быть сосредоточены именно на этих геологических образованиях и геоморфологических уровнях.

Условия залегания, распространение и размеры подземных льдов исследуются в естественных и искусственных обнажениях с обязательным использованием буровых и геофизических работ на ключевых участках. Разведочные выработки и геофизические профили задаются по створам, перпендикулярным направлению предполагаемой границы массива с подземными льдами, а в отдельных случаях – в шахматном порядке. Важно определить глубину залегания ледяных тел и их мощность, поскольку эти параметры определяют детальность работ по оконтуриванию льдов. Оконтуривание участков распространения повторно-жильных льдов производится по полигональному рельефу. Если внешне повторно-жильные льды не проявляются в рельефе, а естественных обнажений нет или их недостаточно, изучение льдов производится с помощью шурфования и геофизических работ. В природе нередки случаи совместного залегания генетически разнородных ледяных тел (например, пластовые льды, залегающие на глубинах 5–10 м, могут быть осложнены системой ледяных жил). В таких случаях вопрос о методах их оконтуривания должен решаться на месте с учетом конкретных условий.

Для понимания генезиса подземных льдов и условий их существования исследуются контакты ледяных тел с мерзлыми грунтами, а также выявляются закономерности распределения шлировой льдистости в грунтах и фациальные условия формирования как ледяных тел, так и мерзлых грунтов. Полевые исследования строения подземных льдов ограничиваются установлением их текстурных и структурных признаков (слоистость, форма и размеры кристаллов льда, примесей), позволяющих определить происхождение льдов. Особое внимание уделяется слоистости льда. Горизонтальная или близкая к ней слоистость обычно присуща пластовым льдам сегрегационного, сегрегационно-инъекционного типа, реже погребенным льдам. Тонкая вертикальная слоистость почти всегда свидетельствует о повторно-жильном образовании льдов.

Важными элементами, позволяющими определить условия льдообразования, являются структура льдов и размещение в них примесей (грунта, газов и растительных остатков). В полевых условиях описываются форма, размеры, взаимоотношения зерен льда и примесей, определяется ориентировка оптических осей кристаллов. В связи с анизотропией свойств льда оценка ориентировки в нем кристаллов имеет существенное значение для характеристики прочностных и деформативных свойств льда в практических целях.

Таблица 6

Метод	Глубинность исследования	Решение задачи
1. Электроразведка на постоянном токе (профилирование, вертикальное зондирование в модификации МДС, каротаж скважин)	Четвертая часть разносов питающих электродов	Определение положения кровли пластовых льдов, элементов их залегания, протяженности и в особо благоприятных случаях мощности ледяных тел Установление истинных границ пластов льда с разными УЭС, электрических свойств льда

Продолжение табл. 6

Метод	Глубинность исследования	Решение задачи
2. Электроразведка на переменном токе (непрерывное электрическое профилирование и частотное электромагнитное зондирование)	До 10 м	Картирование льдов, установление глубины залегания кровли ледяных тел
3. Радиолокационное наземное зондирование	До 30–50 м и возможно больше	Определение положения подошвы пластов льда; установление мощности ледяных тел при неглубоком залегании, картирование деформаций слоистых грунтов на контактах со льдом

Рекомендуемый комплекс* геофизических методов для поисков и разведки пластовых льдов приведен в табл. 6. При интерпретации геофизических материалов следует учитывать некоторые сложности: а) над пластовыми залежами льда всегда располагаются сильнольдистые грунты; б) мощность горизонта сильнольдистых грунтов не выдержана по площади; в) глубина залегания кровли пластовых льдов испытывает значительные колебания на небольшом расстоянии; г) состав и строение пластовых залежей льда характеризуются неоднородностью (содержание минеральных примесей во льду может достигать 30–50%); д) засоленность вмещающих мерзлых грунтов и самих залежей льда неравномерна.

Рекомендуемый комплекс электроразведочных методов исследований пластовых льдов на постоянном токе включает:

электропрофилирование для выделения в плане участков с повышенными УЭС, которые могут быть приурочены к области распространения пластовых льдов, а также для определения местоположения точек зондирований;

вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) – для определения УЭС грунтов, слагающих исследуемый участок, глубин и элементов залегания границ раздела грунтов с разными УЭС, в том числе и пластовых льдов;

электрический каротаж скважин в мерзлых грунтах по методу сопротивлений для определения истинного положения границ слоев с раз-

*Для исследования пластовых залежей льда рекомендуется сочетание методов 1-го и 3-го или 2-го и 3-го, поскольку электроразведка на постоянном и переменном токе решает одни и те же задачи и различается только существенно большей производительностью и детальностью съемки во втором случае.

ными УЭС, определения электрических свойств грунтов в опорных точках для правильной количественной интерпретации ВЭЗ.

Методика проведения полевых электроразведочных работ в области распространения пластовых льдов не отличается от общепринятой и предполагает использование серийной аппаратуры. Особенность заключается в том, что пластовые льды имеют негоризонтальные, крутопадающие границы, поэтому электрические зондирования необходимо проводить по методу двух составляющих (ВЭЗ МДС).

Электрометрические наблюдения выполняются в следующей последовательности:

а) постановка ВЭЗ на характерных геоморфологических и ландшафтных комплексах; б) проведение электропрофилирования, тип профильной установки, величина разносов электродов и шаг выбираются в соответствии с данными интерпретации рекогносцировочных ВЭЗ; в) детальное исследование по методу ВЭЗ МДС в точках, определенных по результатам профилирования, или в точках расположения скважин.

Выявление площадного распространения пластовых льдов в основном производится электропрофилированием. На этапе опережающих исследований при рекогносцировке электропрофилирование следует проводить симметричной двухгоризонтальной установкой AA′MN ′B′B с разносами AB=60 м, A′B′=30 м, MN=10 м и шагом измерения 10 м. Эти разносы соответствуют задаче выделения пластовых льдов на глубинах до 10–12 м. При более глубоком их залегании разносы AB увеличиваются до 100 м. Расположение профилей на местности выбирается по данным съемки в направлении, перпендикулярном предполагаемому простиранию пластовых льдов. При отсутствии таких данных направление выбирается в крест простирания геоморфологических и ландшафтных комплексов. Расстояние между профилями может варьировать от 20 до 100 м в зависимости от предполагаемых размеров пластовых льдов.

При детальной электропрофильной съемке наряду с симметричными установками целесообразно применение двусторонних дипольных установок, более чувствительных к горизонтальным неоднородностям исследуемого массива. Для оценки углов простирания крутопадающих контактов и глубины их залегания может применяться профилирование по методу двух составляющих. По результатам электропрофилирования строятся графики ρ_K и карты изоом, проводится качественная, а в случае применения электропрофилирования МДС и количественная интерпретация этих результатов, выделение участков с повышенными значениями ρ_K, сопоставление этих результатов с данными бурения. На участках с аномально высокими значениями ρ_K выполняются ВЭЗ МДС в модификации 3-электродной двусторонней установки с максимальными разносами питающих электродов AO=OB=100–150 м (что соответствует глубинности исследований ~ 50 м), а "бесконечно удаленный электрод" относится на расстояние ~ 1 км в направлении, перпендикулярном оси установки. Определение мощности пластового льда возможно в случае конечных значений УЭС льда, т.е. когда он не является ультрапресным. Величина разносов питающих электродов диктуется в этом случае необходимостью получения ниспадающей правой ветви кривой ρ_K ВЭЗ при условии, что питающие электроды не выходят за пределы ледяного тела. Интерпретация кривых ВЭЗ и ВЭЗ МДС производится стандартными способами.

При наличии сухих необсаженных скважин проводится электрокаротаж по методу КС. Каротаж проводится 2-электродным потенциалзондом типа А 0,5 м с электродами В и N_1, расположенными на поверхности. Шаг измерений 0,1–0,2 м. На каждой точке измерение проводится с переменой мест токового и измерительного электродов, что обеспечивает повторность измерений. Измеренные значения относятся к середине расстояния между электродами. По результатам электроразведки строятся каротажные диаграммы, по которым уточняются глубины и мощности слоёв с различным удельным сопротивлением, определяются УЭС и анизотропия УЭС, которая в дальнейшем может учитываться для коррекции глубин, определяемых по данным ВЭЗ.

Выводы о наличии или отсутствии пластовых льдов и о их пространственном положении делаются на основании совместной интерпретации данных электропрофилирования, кривых ВЭЗ и каротажных диаграмм. Результаты этой интерпретации проверяются бурением.

Электроразведка на переменном токе (НЭП) осуществляет непрерывную запись показаний измерительного прибора-станции НЭП-1, разработанной в ПНИИИС. Показания станции НЭП-1, записываемые в аналоговой форме, выражаются в величинах ρ_ω – кажущегося удельного электрического сопротивления на данной частоте. Скорость профилирования в тундровых условиях Ямала в пешеходном варианте составляет 2–2,5 км/ч.

Непрерывное электропрофилирование проводится по намеченным базисной линии и сетке профилей без их пикетирования. Базисная линия должна быть ориентирована вдоль большой оси ледяного образования и проходить через опорные скважины. Если ориентировка подземного льда заранее неизвестна, то она устанавливается с помощью двух крестовых электропрофилей произвольной ориентировки.

Полевые работы с помощью станции НЭП-1 предусматривают два этапа геофизической съемки. На первом этапе устанавливается наличие или отсутствие пластового льда. Измерения проводятся по разреженной сетке с разносом антенных диполей 22 или 32 м. Измерения на профиле заканчиваются после того, как оператор убедился, что он вышел в полосу фоновых значений ρ, т.е. сопротивлений талых и мерзлых грунтов за пределами ледяного пласта.

На втором этапе на площадках, содержащих лед, исследования проводятся по густой сетке профилей (через 10–20 м) на всех разносах диполей. Кроме того, на базисной линии, привязанной к опорным скважинам, измеряются удельные сопротивления первого слоя с разносом диполей 2 м на частотах 8, 6 и 324 кГц.

Завершающим этапом полевых работ должны явиться проверочные скважины, шурфы и щуповые определения в местах обозначившихся аномалий.

Для количественной интерпретации кривых ρ_ω в поле необходимо "выверять" аномалии с опорными скважинами. Для интерпретации результатов НЭП особой обработки данных полевых наблюдений не требуется. С учетом непрерывности измерений информации отпадает также надобность в интерполяции величин ρ_ω между точками наблюдений. Результаты измерений, считываемые с ленты самописца, наносятся на профильные линии. Количественная интерпретация результатов НЭП основана на предположении, что второй слой двухслойного разреза (порода – лед) имеет бесконечное удельное электрическое со-

противление. В этом случае при известной величине удельного сопротивления первого слоя, используя обратно пропорциональную зависимость между глубиной залегания второго слоя и соответствующим ей значением кажущегося удельного сопротивления, в любой точке участка может быть определена глубина залегания льда.

Метод наземного радиолокационного зондирования (НРЛЗ) основан на изучении отраженных радиосигналов от границ изучаемых разрезов и впервые применен ПНИИИС совместно с ААНИИ для выявления подземных льдов в 1978–1980 гг. Наиболее благоприятным временем для применения НРЛЗ считается конец зимнего периода, когда сезонно-талый слой грунтов, обладающий большим показателем поглощения радиоволн, полностью промерзает. Это обстоятельство обеспечивает большую радиопрозрачность верхних горизонтов мерзлых грунтов, с чем связана большая глубинность исследования и четкость записи отраженных сигналов.

Для интерпретации полученных результатов зондирования необходимо предварительное определение величин скорости распространения электромагнитных волн в изучаемых грунтах и льдах по опорным скважинам: по данным ПНИИИС они существенно различаются (в мерзлом песке от 125 до 148 м/мкс при влажности 36–18%, во льду – 160 м/мкс). Поглощение в мерзлых песках при указанных влажностях оказалось в пределах 2,2–0,25 дБ/м, во льду от 0,04 до 0,16 дБ/м.

Картирование подземных льдов с помощью НРЛЗ разбивается на два этапа: на первом – с помощью разреженной сетки профилей проводятся измерения с целью выявления подземных льдов; на втором – на площадях с выявленными льдами проводятся детальные исследования по сетке профилей для оконтуривания залежи подземного льда, определения глубин залегания кровли и подошвы льда.

5.9. *Состав, физические характеристики и засоленность мерзлых грунтов и льдов.* При опережающих исследованиях задача сводится к определению степени детальности сведений о составе, состоянии, строении и свойствах мерзлых грунтов и подземных льдов и к выявлению комплекса методов и приемов получения этих сведений применительно к основным типам мерзлых толщ. Если природные (в том числе и геокриологические) условия территории позволяют сохранить мерзлое состояние грунтов при планируемом освоении территории, то особое внимание рекомендуется обращать на получение данных о прочностных, деформационных и теплофизических свойствах грунтов в мерзлом состоянии. Определение характеристик в талом и оттаивающем состоянии в этом случае имеет второстепенное значение. Если же по природным условиям сохранить мерзлое состояние грунтов территории строительства сложно или невозможно, главное значение приобретает оценка таких характеристик грунтов, как льдистость, пористость, возможные осадки при оттаивании и т.п.

При изучении состава и свойств грунтов учитываются следующие их особенности:

дисперсность грунтов во всех районах изменяется в широком диапазоне (преобладание алевритов, мелкозернистых и пылеватых песков тонкодисперсных глин);

высокая пылеватость грунтов, несмотря на разнообразие их литологического состава, присуща всем типам мерзлых толщ;

избыточная увлажненность и замедленное химическое выветривание грунтов способствуют накоплению в них большого количества "инерт-

ных" песчано-алевритовых фракций, подвижных форм железа и алюминия, органоминеральных соединений;

минерализация поровых растворов и водных вытяжек грунтов слабая (за исключением мерзлых толщ, сложенных морскими плейстоценовыми грунтами);

постоянное присутствие органического вещества в грунтах обусловливает наличие в них восстановительной и переходной окислительно-восстановительной среды;

многолетнее чередование циклов промерзания-протаивания грунтов привело к образованию агрегатной структуры и разрыхлению первоначально плотных осадков; межагрегатные связи ослаблены расклинивающим действием замерзающей воды (образцы пород верхних горизонтов размокают в воде в течение первых десятков минут);

широко распространены малопрочные, сильно сжимаемые, плывунные и тиксотропные грунты (в талом состоянии); для всех грунтов при оттаивании характерен необратимый, структурный характер деформаций при сжатии; для наиболее слабых водонасыщенных грунтов уже при нагрузках $(2{,}45-4{,}9)\ 10^4$ Па наблюдается лавинная осадка, сопровождающаяся обильным отжатием воды;

в талом состоянии все грунты северных районов обладают свойством разупрочнения вплоть до разжижения при динамическом или механическом воздействии, а в последующем полным или частичным упрочнением во времени.

Гранулометрический, химический и минералогический состав, физические характеристики определяются для всех геолого-генетических комплексов и фациально-литологических разностей. Пробы (монолиты) грунтов для этих определений отбираются в соответствии с общепринятыми требованиями.

По результатам полевых и лабораторных определений физических характеристик могут быть вычислены и другие характеристики по известным зависимостям в механике мерзлых грунтов. Основные физические и механические характеристики мерзлых грунтов зависят от их криогенной текстуры и определяются с учетом криогенного строения грунтов в естественном залегании. В каждом литологически однородном слое опробованию подлежат грунты с различной криогенной текстурой.

Мерзлые грунты массивной и, в меньшей мере, порфировидной, микрошлировых микрослоистых и микросетчатых криогенных текстур отличаются однородностью криогенного строения и распределения свойств и характеризуются по данным испытаний одного образца (с повторностью).

Мерзлые грунты с другими криогенными текстурами отличаются неоднородностью и анизотропией пространственного распределения их свойств в массиве. Оценка свойств таких грунтов должна основываться только на осредненных значениях их характеристик по испытанию серии образцов. Получение среднего показателя любой характеристики неоднородного по строению мерзлого массива предусматривает его расчленение на элементы, в которых распределение искомой характеристики считается однородным. Полученные величины какого-либо показателя для выделенных элементов используют для характеристики всего массива.

Влажность мерзлых грунтов подразделяется на суммарную влажность W_c (отношение веса всех видов льда и воды в мерзлом грунте

к весу скелета грунта, выраженное в процентах или долях единицы), влажность за счет ледяных шлиров $W_в$, влажность минеральных отдельностей, расположенных между включениями льда $W_г = W_ц + W_н$, влажность за счет цементирующего минеральные частицы порового льда $W_ц$ и влажность за счет незамерзшей воды, содержащейся в грунте при данно температуре $W_н$. Эти виды влажности связаны зависимостью

$$W_с = W_в + W_г = W_в + (W_ц + W_н).$$

При полевом исследовании мерзлых грунтов определяют их суммарную влажность и влажность минеральных отдельностей. Для грунтов массивной криогенной текстуры или при незначительном содержании шлиров льда ($Л_в < 0{,}03$) принимается равенство $W_с = W_г = W_ц + W_н$.

Пробы мерзлого грунта для определения физических характеристик в зависимости от его криогенного строения отбираются разными методами.

Точечный метод применяется для грунтов однородного криогенного строения и распределения свойств (всегда для грунтов массивной текстуры и минеральных отдельностей, редко для грунтов с текстурами, представленными микрослоистыми и микросетчатыми микрошлировыми разновидностями). Пробы грунта для определения $W_с$ отбираются этим методом равномерно по всему разрезу с интервалом 0,5–1 м (с повторностью).

Метод бороздки рекомендуется для проб мерзлого грунта, содержащего небольшое количество ледяных включений. Этот метод применим для грунтов ненарушенного сложения и заключается в выборке мерзлого грунта в бюкс по всей высоте керна (с повторностью).

Для определения $W_с$ льдистых и сильнольдистых грунтов со слоистыми, сетчатыми и сложными криогенными текстурами пробы грунта отбираются только методом средней пробы, суть которого заключается в следующем. Пробы мерзлого грунта весом до 2 кг отбираются последовательно с интервалом 0,25–0,5 м и сразу взвешиваются. После оттаивания грунт тщательно перемешивают до однородной грунтовой массы и отбирают параллельно две пробы в тарированные бюксы. Как и в первых случаях определение $W_с$ грунта производят в полевой лаборатории путем высушивания при температуре 100–105° и взвешивания. Для определения объемной влажности мерзлых грунтов любой текстуры рекомендуется применение радиоизотопных методов [10].

Влажность минеральных отдельностей $W_г$ определяется в полевых условиях. Пробы грунта отбираются точечным методом (не менее одной пробы для каждого однородного слоя грунтов). При отсутствии опытных данных, а также для грунтов с поясковой, микрослоистой и микросетчатой криогенными текстурами влажность $W_н$ для глинистых незасоленных грунтов допускается принимать равной $W_р + 0{,}03$, где $W_р$ – влажность грунта на границе раскатывания [18]. Для засоленных грунтов при отсутствии опытных данных $W_г$ рекомендуется определять по формуле (в долях единицы)

$$W_г = W_р + 0{,}03 + 1{,}3 \frac{Z}{100},$$

где Z – засоленность грунта, %.

Количество незамерзшей воды $W_н$ в грунте зависит от его температуры, состава и засоленности. В глинах оно меняется в интервале температур от 0° до минус 10°С; в суглинках от 0° до минус 5°С, в супесях от 0° до минус 3°С и в песках от 0° до минус 0,5°С.

При затруднениях в опытном определении $W_н$ в соответствии со СНиП II-18-76 ориентировочно оценивается по формуле для всех мерзлых глинистых грунтов при степени заторфованности меньше 0,1, а для засоленных при $W_с \geqslant W_г$.

Льдистость мерзлых грунтов является классификационным показателем, который в равной мере должен оцениваться для всех типов мерзлых толщ и рекомендуется определять расчетным путем.

Суммарная льдистость мерзлого грунта $Л_С$ в долях единицы в соответствии с требованиями СНиП II-18-76 определяется как отношение содержащегося в нем объема льда к объему мерзлого грунта:

$$Л_С = Л_В + Л_Ц = \frac{\gamma_м (W_с - W_н)}{\gamma_л (1 + W_с)},$$

где $Л_В$ – льдистость грунта за счет включений (шлиров) льда в долях единицы, определяемая по формуле

$$Л_В = \frac{\gamma_s W_в}{\gamma_л + \gamma_s (W_с - 0{,}1 W_н)},$$

где $Л_Ц$ – льдистость грунта за счет порового льда в долях единицы; $\gamma_м$ – объемная масса грунта в мерзлом состоянии, кг/м^3; γ_s – плотность грунта, кг/м^3; $\gamma_л$ – плотность льда, принимаемая равной $0{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Льдистость за счет ледяных включений $Л_В$ характеризует возможную осадку грунта при его отгаивании и уплотнении под собственным весом и определяется также расчетом по результатам непосредственных измерений толщины и частоты шлиров льда в стенках обнажений и горных выработок или по кернам из скважин. Такое упрощенное определение $Л_В$ допускается для мерзлых грунтов с толсто- и тонкошлировыми редко- и частослоистыми криогенными текстурами, когда шлиры льда имеют четкие границы. Для ориентировочных расчетов $Л_В$ мерзлых грунтов рекомендуется использовать графические зависимости [23].

Льдистость минеральных отдельностей мерзлого грунта $Л_Ц$, содержащего только поровый лед-цемент, выражается зависимостью

$$Л_Ц = \frac{97 \gamma_s (W_г - W_н)}{99 + \gamma_s W_г}.$$

По этой формуле рассчитывается и $Л_Ц$ грунтов, если минеральные частицы полностью окружены льдом и не соприкасаются между собой, что типично для распученных базальным льдом крупнообломочных грунтов, крупных и средних песков.

При определении пластичномерзлого состояния грунта и оценке прочности сцепления частиц грунта льдом используется величина G (степень заполнения льдом и незамерзшей водой объема пор мерзлого грунта, расположенного между ледяными прослойками или массивной текстуры):

$$G = \frac{(1{,}1 W_ц + W_к) \gamma_з}{e_м \gamma_в},$$

где $e_м$ – коэффициент пористости мерзлого грунта; $\gamma_в$ – плотность воды, равная $1 \cdot 10^3$ кг/м^3.

При значениях $G > 0{,}9$ грунты имеют базальную криогенную текстуру и характеризуются распученностью.

Повторно-жильные льды составляют существенную часть сингенетических мерзлых грунтов, поэтому определение объемов этих льдов (объемная макрольдистость $Л_{ом}$) является первостепенной задачей. Объемную макрольдистость, которая оценивается как отношение объема жил льда к объему массива вмещающего грунта, рекомендуется определять для слоя с годовыми колебаниями температуры.

Для расчетов $Л_{ом}$ при полевых исследованиях определяют средние размеры ледяных жил и полигональной решетки и по аэрофотоснимкам оконтуривают участки, на которых распространены жилы льда. Значение объемной макрольдистости в зависимости от ряда условий колеблется в больших пределах (табл. 7). Максимальные значения объемной макрольдистости отмечаются в глинистых и заторфованных песчано-глинистых грунтах, минимальные – в песчаных. Если учесть, что льдистость вмещающих глинистых и заторфованных отложений $Л_в$ практически всегда составляет более 0,2, то общая их льдистость на участках с повторно-жильными льдами близка или превышает 0,4. С учетом этого исследование льдистости отложений, в которых установлена система сингенетических повторно-жильных льдов, рекомендуется производить с минимальным объемом опробования и такие грунты должны картироваться как сильнольдистые. Для песчаных отложений на всех геоморфологических элементах величины объемной макрольдистости почти на порядок меньше и учитывать ее при оценке общей льдистости песчаных массивов не обязательно. Однако оконтуривать такие участки рекомендуется в связи с тем, что по жильным образованиям при освоении территории интенсивнее протекают термоэрозионные процессы.

Таблица 7

Тип мерзлых толщ	Геоморфологические уровни	$Л_{ом}$ (доли единицы) для 10-м слоя
Сильнольдистые сингенетические мерзлые толщи (Колымская низменность)	Аллювиальная верхнеплейстоценовая равнина (едома)	0,3–0,7
	Дельтовая сартанская равнина	0,05–0,1
	Голоценовая аласная равнина	0,1–0,3
	Низкие морские террасы	0,05
	Поймы рек	0,1–0,3
Преимущественно эпигенетические и сингенетические мерзлые толщи (Западная Сибирь)	Казанцевская прибрежно-морская равнина	0,02–0,2
	Верхнеплейстоценовые аллювиальные террасы	0,02–0,1
	Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские террасы	0,03–0,4
	Поймы рек	0,04–0,1

В процессе полевых и лабораторных работ должны быть получены: а) объемная масса мерзлого грунта ненарушенного сложения и природной влажности $\gamma_м$, кг/м³, равная отношению массы монолита (образца) мерзлого грунта к его объему и б) объемная масса скелета мерзлого грунта $\gamma_{скм}$, кг/м³, равная отношению массы высушенного при 100–105°С грунта к его объему в мерзлом состоянии.

Объемная масса мерзлых песчаных и глинистых грунтов определяется в зависимости от видов и разновидностей криогенных текстур. Для грунтов массивной, порфировидной, а также микрошлировых микрослоистых и микросетчатых текстур рекомендуется применять метод режущего кольца, метод обмера образцов правильной геометрической формы, метод взвешивания в нейтральной жидкости. Для мерзлых грунтов со сложными криогенными текстурами, а также с остальными разновидностями слоистых и сетчатых текстур применяется метод вытеснения нейтральной жидкости и метод совмещенного определения основных физических характеристик на монолитах мерзлых грунтов Г.П. Мазурова [7]. Объемную массу мерзлых крупнообломочных грунтов, независимо от их криогенной текстуры, рекомендуется определять методом вытеснения нейтральной жидкости, методом Г.П. Мазурова или методом "лунки". Для определения плотности грунтов любой криогенной текстуры рекомендуются также радиоизотопные методы [10].

Для мерзлых грунтов слоистых, сетчатых и сложных криогенных текстур объемную массу можно определять расчетным методом на основании данных об их влажности и составе. Для каждого выделенного в разрезе слоя грунта объемная масса вычисляется по формуле

$$\gamma_м = \frac{0{,}9\,\gamma_в\,(1+W_c)}{0{,}9+\gamma_s W_c},$$

где γ_s – плотность грунта, кг/м³; W_c – суммарная влажность слоя грунта, доли единицы.

Коэффициент пористости мерзлых грунтов служит основой количественного определения деформации уплотнения для любого состояния грунтов и вычисляется по формуле

$$\varepsilon_м = \frac{\gamma_s\,(W_c - 0{,}1W_н)}{0{,}9}.$$

Величина пористости подземных льдов $П$, необходимая для расчетов осадки оснований за счет его уплотнения под нагрузкой, определяется по формуле

$$П = \frac{\gamma_о - \gamma_л}{\gamma_л},$$

где $\gamma_о$ – плотность компактного льда без пузырьков газа, равная $0{,}9163 \cdot 10^3$ кг/м³; $\gamma_л$ – плотность исследуемого льда, кг/м³.

Определение засоленности мерзлых грунтов, содержащих в своем составе легкорастворимые соли, должно быть непременным условием исследований. Главная задача полевых и лабораторных работ должна сводиться к выявлению: а) связей засоленности грунтов с генетическими и возрастными комплексами дисперсных отложений, а внутри их – с литологическими типами грунтов; б) природы засоления грунтов;

в) изменчивости степени засоления грунтов в зависимости от глубины залегания и льдистости грунтов. Учитывая большую пространственную изменчивость величины засоленности мерзлых морских отложений, опробование их на засоленность рекомендуется производить из каждой литологической разновидности грунтов через один метр по вертикали параллельно с опробованием на влажность (льдистость) и гранулометрический состав. Объемы и детальность опробования мерзлых грунтов этого ряда должна возрастать при движении на север к побережью арктических морей.

Аллювиальные, аллювиально-озерные и аллювиально-дельтовые мерзлые отложения надпойменных террас и поймы рек должны исследоваться на засоленность дифференцированно. В долинах рек, впадающих в северные моря, отложения их комплексов рекомендуется опробовать на засоленность с такой же детальностью только в прибрежной полосе шириной до 100 км от побережья в глубь суши. Такое опробование позволит установить не только засоленность грунтов надпойменных террас и поймы рек, но и определить минерализацию подрусловых вод. В остальных случаях отложения этих комплексов на засоленность рекомендуется опробовать по единичным образцам для каждой литологической разности. Для сильнольдистых грунтов ($Л_В > 0,4$) слоистой, сетчатой и сложной криогенной текстуры засоленность грунта определяется только для грунтовых отдельностей, расположенных между ледяными включениями. Состав водно-растворимых солей (хлоридный, сульфатный, карбонатный и т.д.) определяется методом водной вытяжки.

Подземные льды всех генетических типов слабо минерализованные, относятся к пресным и ультрапресным (за исключением льдов с большим содержанием минеральных примесей), а по химическому составу солей соответствуют водам поверхностного стока (повторно-жильные льды) или грунтовым водам (текстурообразующие льды и льды крупных залежей типа пластовых). В повторно-жильных льдах во всех районах общая минерализация увеличивается при движении к побережью морей за счет увеличения количественного содержания хлор-иона. В связи с отмеченным рекомендуется параллельное химическое изучение подземных льдов и вмещающих мерзлых грунтов для установления их связей и происхождения льдов.

5.10. ***Прочностные, деформационные и теплофизические характеристики мерзлых грунтов и подземных льдов*** на этапе предпроектных инженерно-геокриологических исследований определяются лабораторными методами в ограниченном объеме на отдельных образцах. Рекомендуется широкое использование косвенного корреляционного метода по экспериментально установленной зависимости механических характеристик мерзлых грунтов от их физических свойств.

Сжимаемость свойственна, в первую очередь, высокотемпературным пластичномерзлым грунтам, а также твердомерзлым сильнольдистым грунтам с $Л_В > 0,4$, подземным льдам и всем мерзлым грунтам со степенью заторфованности больше 0,25. При отрицательной температуре, близкой к нулю, величина сжимаемости мерзлых льдистых глинистых грунтов даже при малых нагрузках может достигать 1,5–4 см на метр сжимаемой толщи.

Сжимаемость мерзлого грунта и льда определяется по результатам компрессионных испытаний образцов в лаборатории. Учитывая ограниченный размер образцов грунта (диаметр 8,74 или 11,3 см и высота

от 3 до 7,5 см), лимитируемый размерами приборов, испытания на сжимаемость рекомендуется проводить для грунтов массивной, порфировидной и атакситовой криогенных текстур, а также для мерзлых грунтов слоистых, сетчатых и сложных криогенных текстур (кроме их редкослоистых и крупносетчатых разновидностей, когда размеры минеральных отдельностей и прослоек льда соизмеримы или превышают размеры рабочего кольца в компрессионном приборе).

Относительная осадка оттаивающих грунтов обусловлена таянием ледяных включений и сокращением размеров макропор в процессе уплотнения минеральных отдельностей, т.е. ее значение ориентировочно определяется количеством содержащихся в мерзлом грунте ледяных включений.

Относительную осадку при оттаивании мерзлых грунтов δ_i рекомендуется определять по формулам:

а) для песчаных грунтов $\delta_i = \frac{\gamma_{ск.т} - \gamma_{ск.м}}{\gamma_{ск.т}}$;

б) для глинистых грунтов при давлении до $\sim 10^5$ ПА

$$\delta_i = 1 - \frac{\gamma_{ск.м}(W_{оп} W_L \gamma_s + \gamma_в)}{0{,}8\,\gamma_s \gamma_в},$$

где $\gamma_{ск.т}$ – объемная масса скелета талого грунта, кг/м^3, после его уплотнения; допускается $\gamma_{ск.т}$ принимать равным объемной массе скелета воздушно-сухого грунта при максимальной плотности; $\gamma_{ск.м}$ – объемная масса скелета мерзлого грунта, кгс/см^3; $\gamma_в$ – плотность воды, равная $1 \cdot 10^3$ кг/м^3; γ_s – плотность частиц грунта, кг/м^3 (для супеси $2{,}7 \cdot 10^3$; для суглинка $2{,}71 \cdot 10^3$ и глины $2{,}74 \cdot 10^3$); W_L – влажность грунта на границе текучести, в долях единицы; $W_{оп}$ – относительная оптимальная влажность грунта, которая принимается равной 0,6 для легких супесей и 0,54 для тяжелых супесей и суглинков.

Относительную осадку при оттаивании крупнообломочных грунтов рекомендуется определять косвенным методом, который по сравнению с прямым (например, методом испытания горячими штампами) значительно сокращает объемы полевых работ и одновременно дает удовлетворительные результаты. Относительная осадка оттаявших крупнообломочных грунтов δ_i определяется по формуле

$$\delta_i = \frac{\varepsilon_м - \varepsilon_т}{1 + \varepsilon_м},$$

где $\varepsilon_м$ – коэффициент пористости мерзлого грунта; $\varepsilon_т$ – то же, в талом состоянии.

Коэффициент пористости мерзлого грунта оценивается расчетным способом через объемную массу мерзлого грунта и объемную массу скелета мерзлого грунта. Коэффициент пористости грунтов в оттаявшем состоянии вычисляется по формуле

$$\varepsilon_т = \varepsilon_р - Д_к(\varepsilon_р - \varepsilon_п),$$

где $\varepsilon_р$ – коэффициент пористости грунта в рыхлом состоянии; $\varepsilon_п$ – то же, в плотном состоянии; $Д_К$ – конечная степень плотности.

Величины $\varepsilon_р$, $\varepsilon_п$ и $Д_К$ определяются с помощью соответствующих таблиц и номограмм [11].

Несущая способность мерзлых грунтов и подземных льдов оценивается ориентировочно расчетными значениями их прочностных характеристик (расчетные давления на грунты и лед, расчетные сопротивления грунтов и льдов сдвигу) по СНиП II-18-76 на основе полученных при полевых исследованиях конкретных сведений о составе, температуре, льдистости за счет включений льда, засоленности и заторфованности мерзлых грунтов и льдов.

Пучение грунтов сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев оценивается по СНиП 2.02.01–83. В районах сплошного распространения мерзлых толщ все мелко- и тонкодисперсные грунты сезонно-талого слоя относятся к категории пучинистых (в основном среднепучинистых и сильнопучинистых) в связи с их высокой предзимней влажностью и неглубоким залеганием уровня грунтовых вод сезонно-талого слоя. В южных районах несплошного распространения пластичномерзлых грунтов наряду с пучинистыми грунтами сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев встречаются участки талых пород, сложенные практически непучинистыми разностями (например, боровые песчаные террасы рек в Западной Сибири). Для оценки пучинистости грунтов рекомендуется использовать также местный опыт строительства.

Значения касательных сил пучения, по которым рассчитываются сооружения на устойчивость, определяются в зависимости от вида и влажности грунта по СНиП II-18-76.

Показатели теплофизических свойств мерзлых и оттаявших грунтов (объемная теплоемкость C, коэффициент теплопроводности λ) определяются их составом, влажностью, объемной массой, строением и температурой и оцениваются в лабораторных условиях на образцах естественного сложения и влажности. В связи с тем, что состав мерзлых грунтов и их основные физические характеристики изменчивы в плане и по разрезу, теплофизические свойства грунтов оцениваются по осредненным характеристикам отдельных слоев.

Ввиду сложности и трудоемкости экспериментальных способов определения теплофизических свойств грунтов рекомендуется также C и λ для всех типов мерзлых и талых грунтов принимать по СНиП II-18-76. Кроме того, объемную теплоемкость грунта приближенно можно оценить в зависимости от весовой влажности W и относительной льдистости $Л_0$ по формулам:

для талых грунтов $$C_т = \gamma_т \left(\frac{0{,}2 + W}{1 + W} \right);$$

для мерзлых грунтов $$C_м = \gamma_м \left(\frac{0{,}2 + W_c(1 - 0{,}5\, Л_0)}{1 + W_c} \right),$$

где $\gamma_т$ – объемная масса талого грунта, кг/м³; $\gamma_м$ – объемная масса мерзлого грунта, кг/м³.

Относительная льдистость $Л_0$ определяется по формуле Н.А Цытовича:

$$Л_0 = \frac{\gamma}{\gamma_л} \cdot \frac{(W_c - W_н)}{1 + W_c}.$$

Для мерзлых песчаных и гравийно-галечниковых отложений при температурах ниже минус 0,5°С $Л_0$ практически равна нулю. В этом случае

$$C_м = \frac{0{,}2 + 0{,}5\,W_c}{1 + W_c}.$$

5.11. ***Принципы составления и методы изображения инженерно-геокриологических карт.*** В зависимости от конкретных природных условий исследуемой территории содержание инженерно-геокриологических карт может незначительно меняться. Однако карта всегда должна отражать важнейшие для данных природных условий характеристики мерзлых грунтов; второстепенные характеристики выносятся в легенду или в таблицы к карте.

Составление инженерно-геокриологической карты является завершающим этапом опережающих исследований территории освоения. Основой для ее составления должны служить следующие материалы:

ландшафтно-индикационная карта;

геологическая, гидрогеологическая и геоморфологическая карты;

карта фактического материала;

данные геофизических работ;

данные термометрических наблюдений;

данные по составу, строению и физико-механическим характеристикам мерзлых грунтов;

результаты прогнозных расчетов по изменению инженерно-геокриологических условий при хозяйственном освоении территории. Для целей выбора и сравнения вариантов трасс линейных сооружений на инженерно-геокриологической карте, масштаб которой должен быть не менее 1:100000, должны найти отражение: а) геоморфологические уровни и слагающие их стратиграфо-генетические комплексы поверхностных отложений; б) состав грунтов до глубины 10–15 м; в) распространение мерзлых грунтов по площади и по разрезу; г) средние годовые температуры грунтов; д) льдистость грунтов; е) физико-геологические образования; ж) уровень грунтовых вод.

Глубины сезонного промерзания и оттаивания грунтов рекомендуется давать в таблице к ландшафтно-индикационной карте. На макетах инженерно-геокриологических карт, составленных для выделенных основных типов мерзлых толщ (см. вкладыш), рекомендуются шесть градаций мерзлых грунтов по сплошности распространения и среднегодовой температуре. В конкретных природных условиях можно давать более узкие интервалы значений средней годовой температуры грунтов, входящие в предлагаемые градации.

На карте рекомендуется показывать объемную льдистость грунтов: за счет ледяных включений $Л_в$ – для глинистых грунтов и по степени заполнения объема пор льдом и незамерзшей водой, G – для песчаных пород. Рекомендуемые градации мерзлых грунтов по льдистости даются в табл. 8.

Отображение градаций мерзлых грунтов различной температуры и льдистости определяется важностью этих характеристик, определяющих устойчивость мерзлых толщ к внешним воздействиям.

Рекомендуемые легенды даны на макетах инженерно-геокриологических карт. Наиболее выразительным средством изображения – цветом рекомендуется показывать типы разрезов поверхностных грунтов, которые выделены по их гранулометрическому составу с учетом залегающего с поверхности торфа. Однако возможны и другие варианты: цветом можно показывать особенности распространения вечномерзлых и талых грунтов или геолого-генетические комплексы поверхностных отложений.

Таблица 8

Градации мерзлых грунтов по льдистости	Глинистые грунты	Песчаные грунты
	Льдистость за счет ледяных включений $Л_в$, доли единицы	Степень заполнения объема пор льдом и незамерзшей водой G, доли единицы
Слабольдистые	$Л_в \leq 0,2$	–
Льдистые	$0,2 < Л_в \leq 0,4$	$G \leq 0,9$ ($W < W_{п.в}$)
Сильнольдистые	$Л_в > 0,4$	$G > 0,9$ ($W > W_{п.в}$), где W – естественная влажность; $W_{п.в}$ – полная влагоемкость песков

Инженерно-геокриологическая карта сопровождается инженерно-геокриологическими разрезами, рекомендуемый вертикальный масштаб разрезов – 1:1 000.

5.12. *Прогноз изменения инженерно-геокриологических условий.* При опережающих исследованиях в задачу прогноза инженерно-геокриологических условий входит исследование и анализ влияния возможных нарушений природной среды при освоении на характер изменения существующей геокриологической обстановки. В результате этих исследований должны быть выявлены закономерности изменчивости геокриологической обстановки в рамках предполагаемых нарушений и оценены возможные последствия таких изменений. На этом этапе осуществляется общий геокриологический прогноз, не учитывающий взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами. Общий прогноз должен решать вопросы возможности рационального использования существующей инженерно-геокриологической обстановки при освоении территории. В связи с этим основное внимание уделяется прогнозу теплового состояния грунтов, так как от него зависят и прочностные свойства грунтов основания и характер проявления криогенных процессов.

К основным нарушениям, связанным с хозяйственной деятельностью, относятся: уничтожение растительности; удаление или изменение режима накопления снежного покрова; осушение или заболачивание участков; отсыпка или снятие грунта.

При опережающих исследованиях необходимо выяснить направленность изменений теплового состояния грунтов, а также факторы, приводящие к ним, и проанализировать последствия этих нарушений.

При прогнозировании геокриологических условий используются следующие методы: общегеокриологический; метод ориентировочных качественных оценок; метод учета опыта строительства; метод опытных стационарных площадок; метод лабораторного моделирования и метод расчетов.

При общегеокриологическом методе прогноз осуществляется посредством раскрытия закономерностей формирования и развития сезонно- и многолетнемерзлых пород и криогенных процессов на основе изучения и объяснения причинной связи и взаимообусловленности всех

составляющих природного комплекса. Этот метод прогноза осуществляется на базе инженерно-геокриологической съемки территории.

Метод ориентировочных качественных оценок позволяет на основе исследования общих закономерностей формирования геокриологической обстановки и путем обобщения общегеологических, географических и других сведений по району составить представление о возможных изменениях геокриологических условий в результате естественных и техногенных воздействий. На этой основе и дается ориентировочная качественная оценка инженерно-геокриологических условий осваиваемой территории. При этом не исключается использование приближенных аналитических методов и методов математической статистики.

Метод учета опыта строительства позволяет на основе изучения закономерностей формирования геокриологической обстановки на застроенных территориях (включая исследования особенностей взаимодействия существующих инженерных сооружений с геосредой) предвидеть те инженерно-геокриологические условия, которые возникнут на территории предполагаемого строительства.

Метод опытных стационарных площадок основывается на натурном моделировании. Исследуемой моделью в данном случае является направленно измененный природный комплекс. Этот метод позволяет непосредственно в натуре исследовать последствия нарушения природной обстановки при освоении территории. Результаты прогноза в этом случае считаются наиболее достоверными и часто служат эталоном для проверки достоверности других методов.

Метод лабораторного моделирования позволяет проследить особенности криогенных процессов и изучить закономерности изменения физических и механических свойств грунтов в различных динамических условиях, которые задаются в соответствии с поставленными научными и практическими задачами и воспроизводят как естественную, так и измененную обстановку. В ходе моделирования исследуется зависимость свойств грунтов и происходящих в них криогенных процессов от их состава, плотности, влажности, режима промерзания (протаивания) и температуры, изучаются закономерности изменения физических и механических свойств грунтов в заданных условиях. На этой основе оценивается вероятность активизации криогенных процессов и возможная направленность изменения состава, состояния, строения и свойств грунтов вследствие естественных и техногенных изменений природной среды.

Метод расчетов основывается на математическом моделировании. Степень достоверности результатов прогноза при использовании этого метода зависит от совершенства математической модели и точности назначения исходных параметров. Использование данного метода позволяет количественно оценить важнейшие характеристики сезонно- и вечномерзлых грунтов (температуру, мощность, льдистость и т.д.), а также выяснить вероятность существования мерзлых толщ и развития тех или иных криогенных процессов. Метод расчетов в связи со сложностью геокриологических условий должен применяться на базе общегеокриологического метода прогноза в комплексе с мерзлотной съемкой, а также в сочетании с физическим (лабораторным) и натурным моделированием. В этом случае расчетные методы дают возможность количественно оценить роль и значение основных природных факторов и выявить количественную сторону общих и частных закономерностей формирования всего комплекса геокриологической обстановки в естественных условиях и при их нарушении в ходе освоения территории.

Большое количество прогнозных задач при инженерно-геокриологических исследованиях сводится к определению температурного режима промерзающих-протаивающих грунтов, расчету глубин сезонного и многолетнего промерзания-протаивания грунтов.

Рекомендуемые расчетные формулы для определения глубин сезонного промерзания и протаивания грунтов на основании приближенного решения задачи Стефана [24] даются ниже:

$$h_{смс}=\sqrt{\frac{7{,}24\lambda_м\Sigma(-t)720}{Q_м}+(\lambda_м R^м_{из})^2}-\lambda_м R^м_{из}-\frac{1{,}9\lambda_т/T_т/\sqrt{\tau_м}}{Q_м\sqrt{\pi\frac{\lambda_т}{C_т}}};$$

$$h_{стс}=\sqrt{\frac{7{,}24\lambda_т\Sigma(+t)720}{Q_т}+(\lambda_т R^т_{из})^2}-\lambda_т R^т_{из}-\frac{1{,}9\lambda_т/T_м/\sqrt{\tau_т}}{Q_т\sqrt{\pi\frac{\lambda_м}{C_м}}},$$

где

$$Q_м=Q_ф+\frac{1}{2}t^м_{из}C_м;\quad Q_т=Q_ф+\frac{1}{2}t^т_{из}C_т;\quad Q_ф=\gamma_{ск}(W_с-W_н)336;\quad R_{из}=h_{из}/\lambda_{из};\quad \Sigma(-t)=t_{из}\tau_м,$$

$h_{смс}$, $h_{стс}$ – мощность слоев сезонного промерзания-протаивания грунтов, м; $\Sigma(-t)$, $\Sigma(+t)$ – сумма градусосмесяцев за период промерзания и протаивания, град·мес; $t^м_{из}$, $t^т_{из}$ – среднее значение температуры поверхности изоляции за период промерзания и протаивания, °С; $\tau_м$, $\tau_т$ – период промерзания и протаивания, мес; $R_{из}$ – термическое сопротивление изоляции, м²·°С/Вт; $h_{из}$ – мощность слоя изоляции, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции, Дж/м·°С; $\lambda_м$, $\lambda_т$ – коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом и талом состояниях, Вт/м·°С; $C_м$, $C_т$ – объемная теплоемкость грунта в мерзлом и талом состояниях, Дж/м³·°С; $Q_ф$ – скрытая теплота плавления льда, Дж/м³; $\gamma_{ск}$ – объемная масса скелета грунта, кг/м³; $W_с$ – суммарная влажность грунта, доли единицы; $W_н$ – незамерзшая вода, доли единицы; $T_т$, $T_м$ – среднеинтегральное значение температуры в талой зоне при промерзании и в мерзлой зоне при протаивании, °С.

Влияние подстилающих грунтов при расчетах $h_{стс}$ и $h_{смс}$ учитывается посредством среднеинтегральной температуры ($T_м$, $T_т$), значение которой определяется по рис. 1.

Для расчетов средней годовой температуры грунтов ($t_{ср}$) рекомендуется оперативная методика, основанная на обобщении результатов решения серии теплофизических задач методом гидравлического моделирования. Для нахождения $t_{ср}$ в зависимости от комплекса основных природных факторов построены номограммы (прил. 3) для случая равенства теплофизических характеристик грунта в мерзлом и талом состояниях ($\lambda_м=\lambda_т$). При различии коэффициентов теплопроводности ($\lambda_м/\lambda_т>1$) и при отсутствии теплоизоляции на поверхности по рис.2 определяется понижение среднегодовой температуры грунта Δt.

При наличии в теплый период напочвенных покровов или искусственной теплоизоляций на поверхности грунта сумма градусо-месяцев для расчета Δt принимается под слоем теплоизоляции $\Sigma(t_м)$. Приближенно сумма градусо-месяцев под теплоизоляцией на поверхности грунтов может быть определена из следующего равенства:

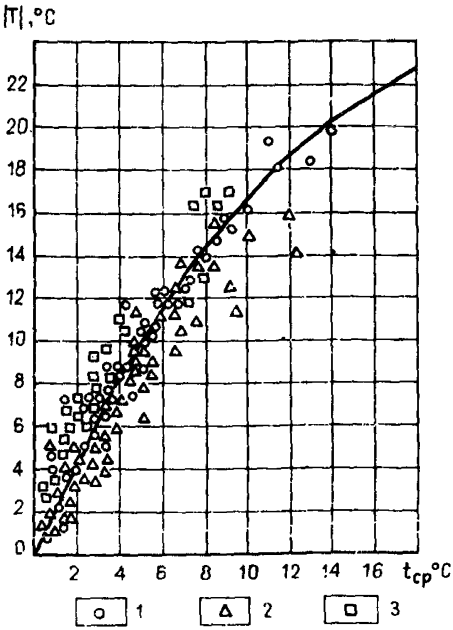


Рис. 1. Обобщенная зависимость интегрального значения τ от среднегодовой температуры грунта $t_{ср}$

1 – при расчетах учитывалась теплоизоляция на поверхности; *2* – при расчетах теплоизоляции на поверхности грунта отсутствовала $Q_ф$ = = 15000 ккал/м³; *3* – при расчетах теплоизоляция на поверхности грунта отсутствовала $Q_ф$ = 30 000 ккал/м³

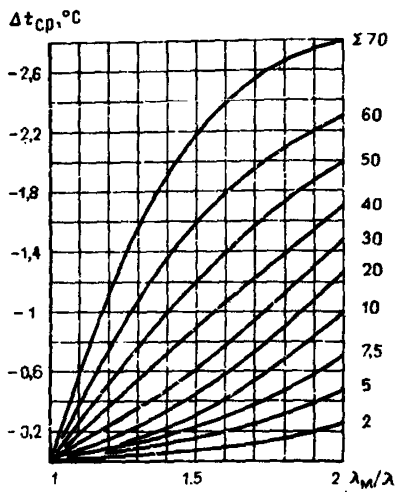


Рис. 2. Зависимость понижения среднегодовой температуры грунта ($\Delta t_{ср}$) от летнего прогрева [$\Sigma(+t)$] и соотношения $\lambda_м/\lambda_т$

$$\sqrt{\frac{7{,}24\lambda_т\,\Sigma(t_п)\,720}{Q}} = \sqrt{\frac{724\lambda_т\,\Sigma(t_{из})\,720}{Q}} + S^2 - S$$

или

$$\Sigma(t_п) = \Sigma(t_{из}) + \frac{2S}{A}\left(S - \sqrt{AS(t_{из}) + S^2}\right),$$

где

$$A = \frac{7{,}24\lambda_т\,720}{Q}, \qquad S = \lambda_т R_и;$$

$\Sigma(t_{из})$ – сумма среднемесячных значений температуры на поверхности изоляции за теплый период.

При определении $t_{гр}$ учитываются те же природные факторы, что и при расчетах $h_{стс}$ и $h_{смс}$.

Практическое использование предлагаемых расчетных методов для определения и прогноза $h_{стс}$ и $h_{смс}$ и $t_{гр}$ возможно при условии коли-

чественной оценки основных параметров, входящих в расчетные схемы.

В качестве верхних граничных условий принимается температура грунта у дневной поверхности, соответствующая в теплый период года температуре напочвенных покровов у поверхности, а в холодный – температуре снега у поверхности. Температура у поверхности $t_п$ определяется по формуле

$$t_п = t_в + \frac{R - LE - B}{\alpha_к},$$

где $t_в$ – температура воздуха по данным метеостанций; R – радиационный баланс; LE – затраты тепла на испарение; B – тепловой поток в грунт при положительных значениях радиационного баланса и из грунта при отрицательных его значениях.

Коэффициент конвективного теплообмена определяется по формуле $\alpha_к = \alpha_0 + m\sqrt{u}$, где α_0 m – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида поверхности; $\alpha_0 = 2{,}7$ Вт/м^2·°С, $m = 5{,}7$ $\frac{\text{Вт}^\circ \text{с}^{1/2}}{\text{м}^{5/2}\cdot{}^\circ\text{С}}$; u – скорость ветра на высоте 1 м.

В холодный период года величины радиационного баланса слишком малы и температура грунта у поверхности практически соответствует температуре воздуха. В теплый период года в естественных условиях максимальные значения температуры грунта у поверхности отмечаются на открытых участках (среднее значение температуры грунта у поверхности выше температуры воздуха на 0,5–1,0°). На залесенных участках температура грунта у поверхности практически не отличается от температуры воздуха.

Для определения суммы градусо-месяцев отрицательных и положительных температур воздуха и продолжительности периода с положительными температурами при пользовании номограммами составлена карта верхних граничных условий (прил. 4).

Напочвенный покров учитывается как термическое сопротивление теплоизоляции ($R_{из} = h_{из}/\lambda_{из}$) и заменяется эквивалентным слоем грунта ($S = \lambda R_{из}$). Поэтому для правильной оценки роли напочвенных покровов в теплообмене промерзающих и протаивающих грунтов необходимо знание теплофизических свойств этих покровов и в первую очередь коэффициента теплопроводности.

Особую роль в процессах теплообмена играют моно-лишайниковые напочвенные покровы. В табл. 9 на основании обобщения имеющихся экспериментальных данных приводятся значения теплофизических характеристик мохо-лишайниковых покровов.

Снежный покров в расчетных схемах учитывается посредством термического сопротивления $R_{сн} = h_{сн}/\lambda_{сн}$. Для практического использования рекомендуется обобщенная зависимость термического сопротивления снежного покрова от его мощности, полученная на основании экспериментальных данных (рис. 3). При расчетах термического сопротивления снежной толщи по экспериментальным данным учитывались, кроме того, плотность и температурный режим. Поэтому данная зависимость учитывает основные факторы термических свойств снежной толщи и позволяет более достоверно учесть влияние этого параметра при расчетах $h_{стс}$; $h_{смс}$ и $t_{ср}$.

Теплофизические свойства грунтов слоя сезонного промерзания-протаивания определяются с учетом влажности и плотности грунтов

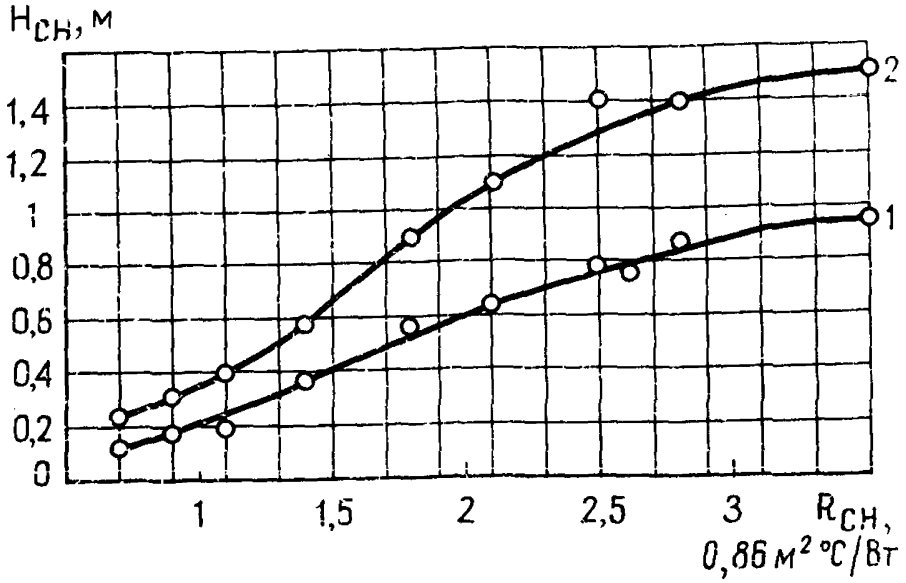


Рис. 3. Зависимость термического сопротивления $R_{сн}$ от мощности снежной толщи $H_{сн}$
1 – при среднем значении мощности; *2* – при максимальном значении мощности

согласно СНиП II-18-76; в соответствии с этим определяется и количество незамерзшей воды в мерзлом грунте.

Предлагаемая методика позволяет определить $t_{гр}$, $h_{стс}$, $h_{смс}$ в естественных и нарушенных условиях. Сведение и уплотнение снежного и растительного покровов, создание искусственных покрытий и т.д. при прогнозе $h_{стс}$, $h_{смс}$ и $t_{ср}$ оцениваются изменением термического сопротивления изоляции на поверхности $R_{из}$. Состояние древесной растительности (вырубка, насаждение и т.д.) учитывается при определении температуры грунта у дневной поверхности изменением соотношения составляющих радиационного баланса. Осушение и заболачивание поверхности при расчетах оцениваются изменением термического сопротивления изоляции $R_{из}$ и теплофизических свойств грунтов λ, C и $Q_ф$.

Таблица 9

Напочвенные покровы	Степень увлажнения	Коэффициент теплопроводности 1,16 Вт/м·°С		Термическое сопротивление, 0,86 м²·°С/Вт	
		холодный период	теплый период	холодный период	теплый период
Мощный моховой покров с	Слабоувлажненный	0,33	0,20	0,6	1,0
	Увлажненный	0,66	0,33	0,3	0,6

Продолжение табл. 9

Напочвенные покровы	Степень увлажнения	Коэффициент теплопроводности 1,16 Вт/м·°С		Термическое сопротивление, 0,86 м²·°С/Вт	
		холодный период	теплый период	холодный период	теплый период
очесом, преимущественно сфагнум	Переувлажненный	1,0	0,5	0,1	0,2
То же, при отсыпке сверху песчаным и гравийно-галечным грунтом	Слабоувлажненный	0,6	0,3	0,25	0,5
	Увлажненный	0,8	0,4	0,15	0,3
Маломощный моховой покров, преимущественно зеленые мхи	Слабоувлажненный	0,2	0,17	0,5	0,6
То же, при отсыпке сверху песчаным и гравийно-галечным грунтом	Слабоувлажненный	0,3	0,22	0,3	0,4
Ягель	Сухой	0,15	0,15	0,45	0,45
Дерновый покров	Слабоувлажненный	0,50	0,40	0,3	0,40

5.13. *Прогнозная оценка устойчивости территории при ее освоении.* Прогнозная оценка отдельных частей осваиваемой территории по устойчивости мерзлых грунтов к техногенным воздействиям осуществляется уже при опережающих исследованиях. Строительство и эксплуатация любых объектов приводит к изменению температурного режима грунтов, глубины их сезонного (или многолетнего) протаивания, следствием чего является изменение свойств пород и характера проявления криогенных процессов. Изменение глубин протаивания и промерзания грунтов зависит от интенсивности техногенных воздействий и определяется современным термодинамическим состоянием мерзлых толщ. Поэтому темодинамическое состояние мерзлых грунтов является одним из ведущих оценочных признаков для характеристики территории по степени ее устойчивости к естественной динамике климата и техногенным воздействиям.

Для оценки термодинамической устойчивости территории рекомендуется использовать среднегодовую температуру пород $t_{ср}$ и льдистость грунтов $Л_С$.

Для сравнительной оценки устойчивости теплового состояния пород на различных участках рекомендуется использовать обобщенный параметр – тепловую инерционность пород [1]. В порядке возрастания инерционности выделяются три разновидности мерзлых грунтов и в пределах каждой из них по три более дробные градации:

слабоинерционные: $t_{ср} > -1°С$, $Л_С < 0,2$; $t_{ср} = -1 \div -3°С$, $Л_С < 0,2$; $t_{ср} > -1°С$, $Л_С = 0,2-0,4$; инерционные: $t_{ср} = -1 \div -3°С$, $Л_С = 0,2-0,4$; $t_{ср} < -3°С$, $Л_С < 0,2$; $t_{ср} > -1°С$, $Л_С > 0,4$; высокоинерционные $t_{ср} = -1 \div -3°С$, $Л_С > 0,4$; $t_{ср} < -3°С$, $Л_С = 0,2-0,4$; $t_{ср} < -3°С$, $Л_С > 0,4$.

Наибольшей тепловой инерционностью будут характеризоваться территории распространения низкотемпературных мерзлых толщ с $Л_С > 0,4$ (типы II и III). В пределах этих участков формируются наименьшие ореолы протаивания грунтов под сооружениями, требуются большие затраты тепла для повышения среднегодовой температуры ММП до 0°С и их протаивания. Наименьшей инерционностью обладают мерзлые грунты с $Л_С < 0,2$ и $t_{ср} > -1°С$ (I типы мерзлых толщ).

Помимо среднегодовой температуры и льдистости грунтов необходимым параметром, играющим значительную роль в формировании мощности сезонно-талого слоя, являются теплофизические свойства отложений – в основном коэффициент теплопроводности грунтов, который функционально связан с объемной влажностью (льдистостью) и составом отложений. Поэтому выделенные по степени инерционности разновидности мерзлых толщ должны характеризоваться литологическим составом грунтов в естественных условиях.

В результате районирования территории по указанным признакам без дополнительных расчетов выявляются участки, в пределах которых требуется большее или меньшее количество тепла для протаивания грунтов и в пределах которых за один и тот же промежуток времени формируются большие или меньшие ореолы оттаивания грунтов при одних и тех же техногенных воздействиях. Однако только на основании характеристики скорости и глубины оттаивания или промерзания пород нельзя дать оценку сложности территории для освоения. Так, например, слабоинерционные мерзлые грунты при значительных ореолах протаивания могут быть достаточно надежным основанием благодаря их небольшой льдистости. И наоборот, высокоинерционные мерзлые грунты, для которых характерна небольшая скорость и меньшая глубина протаивания, могут быть ненадежным основанием за счет повышенной льдистости и, как следствие, просадочности грунтов. Поэтому на прогнозных оценочных картах необходимо отображение не только степени инерционности, но и параметров ее определяющих – среднегодовой температуры и льдистости отложений.

Термодинамическое состояние мерзлых грунтов является основой, на которой проводится оценка сложности территории по основному параметру – характеру проявления криогенных процессов в естественных условиях и при изменении температурного режима грунтов и глубин их протаивания или промерзания. Учитывая, что при опережающих исследованиях еще не определены параметры сооружений, необходимые для прогноза, задачей прогноза криогенных процессов является не количественная характеристика интенсивности их проявления, а

оценка возможности существования того или иного процесса при изменении природных условий. Эта задача решается только на основе систематизации инженерных воздействий с целью выявления их влияния на изменение температурного режима грунта и характер проявления криогенных процессов.

Анализ наиболее часто встречающихся воздействий показывает, что связанные с ними нарушения природных условий приводят к трем основным видам изменения состояния мерзлых грунтов: 1) понижению среднегодовой температуры грунта и сокращению мощности сезонно-талого слоя; 2) изменению среднегодовой температуры грунта и увеличению мощности сезонно-талого слоя до глубин, превышающих глубину залегания сильнольдистых грунтов или подземных льдов; 3) инверсии знака среднегодовой температуры и многолетнему протаиванию грунтов (или их промерзанию в пределах таликов).

Выделенные последствия нарушений в сочетании с конкретными инженерно-геокриологическими условиями определяют возможность возникновения или активизации криогенных процессов, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на проектируемые сооружения и сохранность окружающей среды.

По степени проявления и динамике криогенных процессов инженерно-геокриологические районы подразделяются на три группы:

а) устойчивые – в их пределах криогенные процессы либо не развиваются, либо морфологически проявляются весьма слабо;

б) упруго-устойчивые – в пределах которых изменения условий вызывают активизацию или возникновение новых криогенных процессов, развивающихся непрогрессивно до нового равновесного состояния. Время установления стационарного состояния при этом значительно меньше срока эксплуатации сооружений и соизмеримо с периодом короткопериодных колебаний температуры воздуха;

в) неустойчивые – процессы развиваются прогрессивно. Время установления стационарного состояния соизмеримо или превышает срок эксплуатации сооружений. К группе "б" относятся территории, в пределах которых развиваются процессы сезонного пучения и осадки грунтов, криогенное растрескивание, эоловые процессы; к группе "в" – участки развития термокарста, термоэрозии, оползней, солифлюкционного течения грунтов, пучения грунтов при многолетнем промерзании.

Прогноз возможности развития криогенных процессов может быть произведен методом аналогий и расчетными методами [14].

Результаты инженерно-геокриологического районирования по указанным признакам синтезируются в виде прогнозной оценочной карты, на которой отражается термодинамическое состояние грунтов и дается оценка отдельных частей территории по степени устойчивости с точки зрения развития криогенных процессов.

Макет прогнозной оценочной карты, составленной для одного из районов центрального Ямала, приведен на рис. 4. Составлению карты должно предшествовать инженерно-геокриологическое районирование территории. В основу выделения инженерно-геокриологических районов положены генезис и тип промерзания грунтов, подрайонов - геоморфологические условия, участков – литологический состав, льдистость пород, наличие повторно-жильных и пластовых льдов. Таблица районирования дополняется кратким описанием выделенных инженерно-геокриологических участков, в которое входит: характеристика микрорельефа поверхности, растительности, степени заболо-

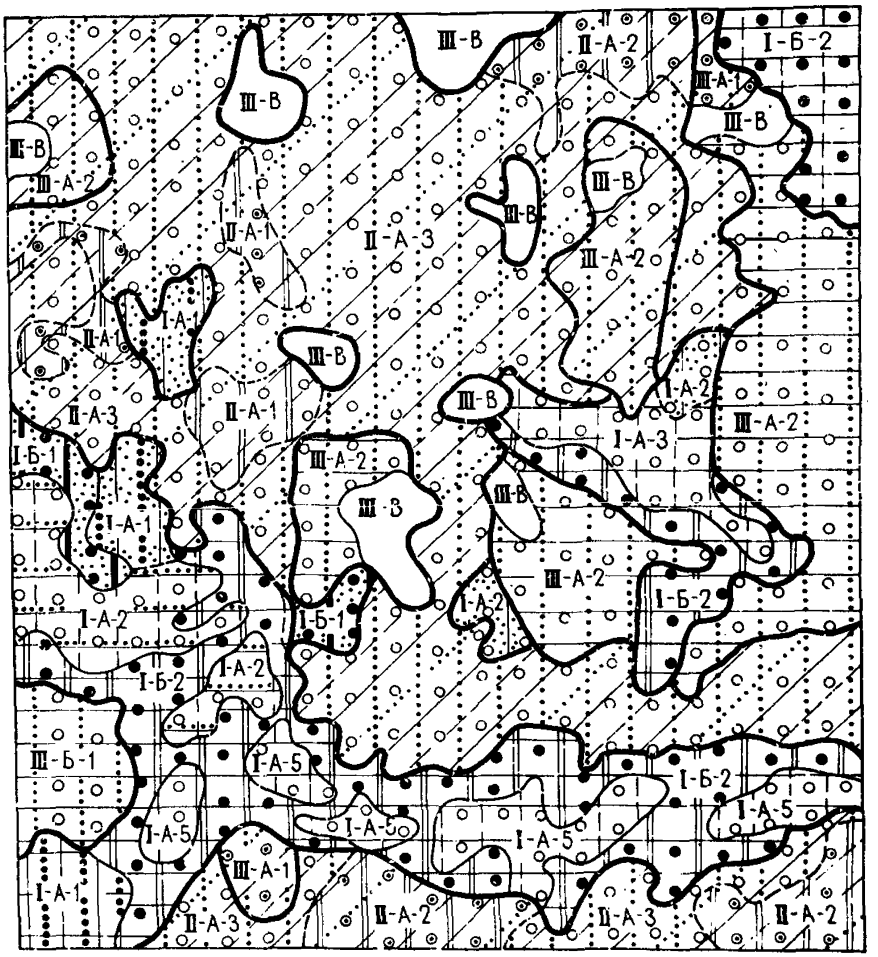


Рис. 4. Макет прогнозной оценочной инженерно-геокриологической карты

I – инерционность ММП: *1* – низкоинерционные ММП; *2, 3* – инерционные ММП; *4, 5* – высокоинерционные ММП (степень инерционности возрастает с увеличением порядкового номера градации);

II – устойчивость инженерно-геокриологических участков по характеру проявления криогенных процессов: *6* – устойчивые инженерно-геокриологические участки; *7* – устойчивые и упруго-устойчивые инженерно-геокриологические участки; *8* – упруго-устойчивые инженерно-геокриологические участки; *9* – неустойчивые инженерно-геокриологические участки; *10* – сезонное пучение грунтов; *11* – сезонная осадка грунтов; *12* – многолетняя осадка грунтов; *13* – законсервированные повторно-жильные льды (ПЖЛ); *14* – морозобойное растрескивание; *15* – растущие ПЖЛ; *16* – сплывы сезонно-протаивающих масс грунта; *17* – термоэрозия; *18* – солифлюкция; *19* – термокарст по сегрегационным льдам; *20* – термокарст по ПЖЛ; *21* – термокарст по пластовым льдам; *22* – многолетние бугры пучения;

III – литологический состав отложений: *23* – пески мелкие; *24* – пески мелкие мощностью 2–6 м, ниже суглинки, супеси, глины; *25* – глины, суглинки с маломощными прослоями песков; *2б* – супеси, суг-

I

L_c, доли единиц	$t_{ср.}$, °C: > -1	-1 ÷ -3	< -3
< 0,2			
0,2 - 0,4			
> 0,4			

II

Номер инженерно-геокриологического участка	Проявление криогенных процессов: в естественных условиях	при повышении t_0 и увеличении СТС	при понижении t_0 и сокращении СТС
I-А-1			
I-А-2			
I-А-3			
I-А-5			
I-Б-1			
I-Б-2			
II-А-1			
II-А-2			
II-А-3			
III-А-1			
III-А-2			
III-Б-1			

I

1 2 3 4 5

II

6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

16 17 18 19 20 21 22

III

23 24 25 26

IV

27 28 29

I-А-2 30

линки, глины с прослоями мелких песков;

IУ – прочие знаки: *27* – границы инженерно-геокриологических районов; *28* – границы инженерно-геокриологических подрайонов; *29* – границы инженерно-геокриологических участков; *30* – номер инженерно-геокриологического участка по схеме инженерно-геокриологического районирования

ченности и обводненности, преобладающее значение среднегодовых температур грунтов и мощность сезонно-талого слоя, проявление криогенных процессов в естественных условиях. Схема инженерно-геокриологического районирования входит составной частью в легенду оценочной карты.

Инерционность мерзлых грунтов, т. е. сочетание преобладающих значений среднегодовых температуры и льдистости отложений дана в легенде к карте. В цветном варианте карты эта характеристика показывается цветом. Поскольку в реальных условиях не всегда отмечается наличие всех выделенных сочетаний среднегодовой температуры и льдистости грунтов, в таблице показываются лишь те разновидности мерзлых толщ, которые встречаются в натуре, остальные квадраты остаются незаполненными.

В легенде различными условными знаками отражена также степень устойчивости участков по динамике проявления криогенных процессов как в естественных условиях, так и при повышении и понижении среднегодовой температуры. На карте в связи со сложностью графического отображения дана степень устойчивости территории только в естественных условиях. Однако в связи с тем, что всем инженерно-геокриологическим участкам присвоен свой номер (на карте и в легенде), не представляет сложности определить категорию устойчивости участков как в естественных условиях, так и при указанных выше последствиях техногенных воздействий. Кроме того, соответствующим условным знаком показаны те криогенные процессы, которые имеют место в естественных условиях и на основе прогнозной оценки те, которые можно ожидать при повышении или понижении среднегодовой температуры грунта, увеличении или сокращении мощности сезонно-талого слоя.

Помимо этого стандартными условными знаками показывается литологический состав отложений, необходимый при оценке инерционности ММП.

Предлагаемая нагрузка карт является основой, на которую могут быть нанесены другие, не мерзлотные характеристики природных условий, имеющие значение для оценки сложности территории при конкретных видах освоения: рельеф местности, характер расчлененности поверхности, обводненность, степень заболоченности и т.д.

Прогнозные оценочные инженерно-геокриологические карты, составленные по предложенной методике, несут информацию не только о сложности территории в естественных, но и в измененных техногенезом условиях. Это обстоятельство позволяет использовать их практически при любых видах наземного строительства, целесообразных в данном районе. Карты несут основную информацию, необходимую для выработки мероприятий по рациональному использованию окружающей среды и инженерной защиты территории.

5.14. Предложения по назначению мероприятий для защиты территории от развития неблагоприятных процессов должны представляться совместно с материалами опережающих исследований проектной организации, которая с учетом особенностей проектируемых объектов и способов строительства разрабатывает конкретные мероприятия. Предложения должны основываться на следующих основных положениях: а) при применении I принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений основное внимание уделяется мероприятиям, обеспечивающим сохранение мерзлого состояния

Схема инженерно-геокриологического районирования

Инженерно-геокриологические районы и их индекс	Инженерно-геокриологические подрайоны и их индекс	Инженерно-геокриологические участки и их индекс	Краткая характеристика участков
1	2	3	4
I. Районы Казанцевской прибрежно-морской равнины и Зырянской морской террасы, сложенные осадками, промерзавшими до глубины 3–4 м сингенетически, ниже – эпигенетически	I-А. Подрайон плоских неэродированных или слабо эродированных поверхностей	I-А-1. Участки сложены в верхней части разреза преимущественно песками, в нижней – суглинками, глинами; отложения до глубины 3–4 м льдистые, ниже – слабольдистые с глубоко залегающими пластовыми льдами (ГПЛ)	Мелкокочковатый микрорельеф, поверхность незначительно, реже слабо заболочена, среднегодовая температура отложений $t_{ср}$ равна $-3 \div -7^{\circ}C$, глубина сезонного протаивания $\xi = 0{,}6–1{,}1$ м, развиты пятна-медальоны
		I-А-2. Участки сложены песками, иногда в верхней части разреза торфом мощностью от 0,1 до 1,5 м, подстилаются суглинками, глинами; минеральные отложения до глубины 3–4 м льдистые, ниже – слабольдистые с ГПЛ и повторножильными льдами (ПЖЛ)	Трещинно-полигональный и остаточно-полигональный рельеф, поверхность фрагментарно и слабо заболочена, $t_{ср} = -5 \div -7^{\circ}C$, $\xi = 0{,}3–0{,}6$ м, ПЖЛ мощностью до 3 м
		I-А-3. Участки сложены суглинками, глинами с линзами и прослоями супесей и песков; отложения льдистые до глубины 3–4 м, ниже – слабольдистые с ГПЛ	Мелкокочковатый микрорельеф, поверхность не заболочена, реже слабо заболочена, $t_{ср} = -3 \div -7^{\circ}C$, $\xi = 0{,}4–1{,}0$ м, развиты пятна-медальоны

Продолжение

Инженерно-геокриологические районы и их индекс	Инженерно-геокриологические подрайоны и их индекс	Инженерно-геокриологические участки и их индекс	Краткая характеристика участков
1	2	3	4
		I-А-4. Участки сложены суглинками, глинами с линзами и прослоями супесей и песков, отложения льдистые до глубины 3 –4 м, ниже слабольдистые с ГПЛ и близко залегающими пластовыми льдами (БПЛ)	Мелкокочковатый микрорельеф, поверхность незаболочена, реже слабо заболочена, $t_{ср}$= –3÷–7°С, ξ = 0,4–1,0 м, развиты пятна-медальоны, на повышенных элементах рельефа морозобойное растрескивание
		I-А-5. Участки сложены в верхней части торфом мощностью 0,1–1,5 м, ниже суглинками, супесями с прослоями и линзами песков и супесями, отложения льдистые до глубины 3–4 м, ниже – слабольдистые, ГПЛ и ПЖЛ	Трещинно-полигональный и остаточно-полигональный рельеф, поверхность фрагментарно и слабо заболочена, $t_{ср}$= –5÷–7°С, ξ = 0,3–0,6 м; ПЖЛ мощностью до 3 м
	I-Б. Подрайоны пологих склонов	I-Б-1. Участки сложены в верхней части разреза песками, ниже глинами-суглинками, отложения в верхней части разреза слабольдистые, БПЛ, ГПЛ	Бугристый микрорельеф, поверхность незначительно заболочена, $t_{ср}$= –1÷–7°С, ξ = 1,0–1,5 м; развиты пятна-медальоны, термоденудационные процессы
		I-Б-2. Участки сложены глинами, суглинками с прослоями и линзами песков, отложения сильнольдистые, БПЛ и ГПЛ	Бугристый и мелкокочковатый микрорельеф, поверхность не заболочена, реже слабо заболочена, $t_{ср}$= –1÷–7°С, ξ = 0,6–1,4 м, развиты пятна-медальоны, термокарст, термоденудационные процессы
II. Районы распространения современных аллювиальных отложений, промерзавших сингенетически	II-А. Подрайоны плоских поверхностей современной поймы	II-А-1. Участки сложены супесями, суглинками и песками, отложения льдистые	Поверхность сильно заболочена, реже заболоченная и фрагментарно заболоченная, $t_{ср}$= –1,0÷÷–3,0°С, ξ = 0,3–1,5 м
		II-А-2. Участки сложены супесями, суглинками, песками, местами, перекрытыми маломощным торфом, отложения льдистые	Остаточно-полигональный рельеф, поверхность сильно, реже фрагментарно, заболочена, $t_{ср}$= –1÷–3°С, ξ = 0,3–0,7 м. ПЖЛ мощностью до 3 м
		II-А-3. Участки сложены супесями, суглинками и песками, отложения сильнольдистые	Поверхность сильно заболочена, реже заболоченная и фрагментарно заболочена, $t_{ср}$= –3÷–7°С, ξ = 0,3–0,7 м
		II-А-4. Участки сложены супесями, суглинками и песками, местами перекрытыми маломощным торфом, отложения сильнольдистые	Трещинно-полигональный и остаточно-полигональный рельеф; поверхность сильно, реже фрагментарно, заболочена; $t_{ср}$= –3÷–7°С, ξ = 0,3–0,7 м, развиты бугры пучения, ПЖЛ мощностью до 3 м, локальные проявления термокарста

Продолжение табл.

Инженерно-геокриологические районы и их индекс	Инженерно-геокриологические подрайоны и их индекс	Инженерно-геокриологические участки и их индекс	Краткая характеристика участков
1	2	3	4
III. Районы распространения современных озерных отложений	III-А. Подрайоны хасыреев в пределах поймы	III-А-1. Участки сложены оторфованными суглинками, супесями с прослоями мелких песков; отложения сильнольдистые и льдистые	Поверхность сильно заболочена; $t_{ср} = -3 \div -7^{\circ}C$; $\xi = 0{,}3–0{,}7$ м
		III-А-2. Участки сложены оторфованными суглинками, глинами, супесями с прослоями мелких песков; отложений сильнольдистые и льдистые	Поверхность сильно заболочена, $t_{ср} = -3 \div -7^{\circ}C$, $\xi = 0{,}3–0{,}7$ м, ПЖЛ мощностью до 3 м
	III-Б. Подрайоны хасыреев в пределах морских террас	III-Б-1. Участки сложены оторфованными суглинками, супесями, глинами, песками мощностью от 2 до 10 м; отложения сильнольдистые и льдистые, в днищах хасыреев возможны ГПЛ, в бортах ГПЛ и БПЛ	Заболоченность сильная, $t_{ср} = -3 \div -5^{\circ}C$, $\xi = 0{,}4–0{,}8$ м в периферических участках незначительные площади с полигональным рельефом
	III-В. Акватории озер (гидрогенные подозерные талики)	III-В-1. Участки сложены водонасыщенными оторфованными суглинками, супесями, глинами, песками	

грунтов в процессе строительства и эксплуатации. К ним относятся: а) сохранение естественного растительного покрова или его замена эквивалентным теплоизоляционным слоем; б) устройство песчаных подсыпок непосредственно на напочвенный растительный покров на участках с подземными льдами и сильнольдистыми грунтами; в) понижение температуры мерзлых грунтов на отдельных участках удалением снега; г) своевременная засыпка траншей, котлованов, закрепление выемок и откосов; д) срезка грунта при планировке допускается как исключение и т.п.;

б) при применении II принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений главное внимание уделяется мероприятиям, обеспечивающим их оттаивание на расчетную глубину под зданиями и сооружениями, а также сохранение мерзлого состояния грунтов на прилегающих участках.

Предложения по назначению мероприятий для защиты территории от развития неблагоприятных процессов разрабатываются на основе качественного и количественного прогноза изменения основных компонентов геологической среды под воздействием намечаемых видов строительства (прогнозы ожидаемой суммарной величины осадка при оттаивании мерзлых грунтов разной категории льдистости, прогнозные глубины сезонного промерзания-оттаивания грунтов и их среднегодовые температуры, прогнозы возможного развития таких криогенных процессов как солифлюкция, термоэрозия, многолетнее пучение и морозобойное растрескивание грунтов).

В практике строительства на вечномерзлых грунтах имеется много апробированных способов улучшения инженерно-геокриологической обстановки, которые необходимо применять: понижение (ожесточение) температуры мерзлых грунтов и тем самым повышение их устойчивости, сокращение глубин сезонного промерзания и протаивания грунтов, вертикальная планировка рельефа, борьба с наледями и термокарстовыми просадками и т.п. Задача изыскателя сводится к выбору на первых порах наиболее приемлемых и эффективных в местных условиях способов защиты территории. Его предложения совместно с прогнозной оценочной инженерно-геокриологической картой территории строительства должны использоваться проектировщиками при разработке природоохранных мероприятий.

Строительное освоение неизбежно вызывает нарушение сложившегося в природе равновесия. Поэтому в процессе опережающих исследований должны быть определены предельно допустимые изменения вечномерзлых грунтов, которые не вызовут проявления опасных по своим последствиям нарушений динамического равновесия среды. Предельно допустимые значения изменений природной среды рекомендуется оценивать раздельно:

а) для участков распространения подземных льдов и вечномерзлых грунтов с льдистостью $Л_в \geqslant 0{,}2$. Освоение таких участков должно учитывать сохранение глубин залегания верхней поверхности (кровли) вечномерзлых грунтов. Допускается повышение среднегодовой температуры грунтов до предельного значения минус 0,3°С (СНиП II-18-76, прил. 6, табл. 2);

б) для участков распространения вечномерзлых грунтов с льдистостью $Л_в < 0{,}2$. Освоение этих участков должно учитывать возможность протаивания грунтов при условии соблюдения п. 3.69, табл. 18 СНиП 2.02.01–83.

в) для участков распространения вечномерзлых торфяников. Их освоение должно учитывать сохранение глубин залегания кровли вечномерзлых грунтов. Допускается повышение среднегодовой температуры грунтов до предельного значения минус 1°С (СНиП II-18-76, прил. 6, табл. 8);

г) для участков распространения солифлюкции, наледей, бугров пучения, термокарста, термоэрозии, термоабразии. Освоение таких участков должно обеспечиваться осуществлением специальных инженерных мероприятий. При экономической нецелесообразности освоения такого участка рекомендуется выбирать другой участок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Характеристики мерзлых грунтов и льдов,
изучаемые при опережающих инженерно-геокриологических исследованиях**

Характеристики грунтов и льдов	Правила определения	Основная область применения
	1. Исходные физические характеристики мерзлых грунтов	
Суммарная влажность грунта	ГОСТ 5180–75 "Грунты. Методы лабораторного определения влажности" и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов"	Определение относительной характеристики состояния грунта. Определение консистенции и суммарной льдистости грунтов, вычисление объемного веса скелета мерзлого грунта, нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов, теплофизических характеристик, склонности к солифлюкции
Влажность минеральных прослоев мерзлого грунта, расположенных между ледяными включениями	ГОСТ 5180–75 "Грунты. Методы лабораторного определения влажности" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Вычисление влажности мерзлого грунта за счет порового льда, суммарной влажности, концентрации порового раствора грунта, количества незамерзшей воды и льдистости грунта за счет ледяных включений
Влажность мерзлого грунта за счет линз и прослоек льда	СНиП II-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования" и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов"	Вычисление суммарной влажности мерзлого грунта и льдистости за счет ледяных включений, приближенная оценка величины тепловой осадки грунтов

Продолжение прил. 1

Характеристики грунтов и льдов	Правила определения	Основная область применения
Влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды в нем	СНиП II-18-76 и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов"	Вычисление суммарной влажности и суммарной льдистости; вычисление нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов, льдистости за счет ледяных включений и степени заполнения пор мерзлого грунта льдом, незамерзшей водой, объемного веса мерзлого грунта и объемного веса скелета мерзлого грунта
Влажность мерзлого грунта за счет порового льда (льда-цемента)	То же	Вычисление суммарной влажности и влажности минеральных прослоев мерзлого грунта, степени заполнения пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой
Удельный вес грунта и льда	ГОСТ 5181–78 "Грунты. Метод лабораторного определения удельного веса"	Вычисление коэффициента пористости грунта, льдистости грунта за счет ледяных включений относительной осадки оттаивающих грунтов
Объемный вес мерзлого грунта ненарушенного сложения и природной влажности и льда	ГОСТ 5182–78 "Грунты. Методы определения объемного веса" и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах"	Вычисление объемного веса скелета мерзлого грунта, объемной теплоемкости, бытового давления
Объемный вес скелета мерзлого грунта	"Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Вычисление засоленности мерзлого грунта, относительной осадки оттаивания грунтов, коэффициентов пористости и теплопроводности, объемной теплоемкости мерзлых грунтов, нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов
Коэффициент пористости мерзлого грунта	"Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений"	Определение степени заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой
II. Классификационные показатели мерзлых грунтов		
Гранулометрический состав	ГОСТ 12536–79 "Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава"	Классификация грунтов. Приближенное определение температуры начала замерзания грунта Характеристика водопроницаемости
Степень заторфованности	СНиП 2.02.01–83 и ГОСТ 23740–79 "Грунты Методы лабораторного определения содержания органического вещества"	Классификация грунтов, определение температуры начала замерзания грунтов, расчетных давлений и сопротивления сдвигу в заторфованных мерзлых грунтах
Пластичность	ГОСТ 5183-77 "Грунты. Методы лабораторного определения границ текучести и раскатывания"	Классификация грунтов и определение их консистенции. Приближенное определение влажности минеральных отдельностей глинистых грунтов. Расчет удельных сил пучения грунта, относительной осадки оттаивающих грунтов

Продолжение прил. 1

Характеристики грунтов и льдов	Правила определения	Основная область применения
Тип криогенной текстуры грунтов	СНиП II-18-76,"Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Приближенное определение льдистости мерзлых грунтов, относительной осадки при их оттаивании, условий промерзания грунта; назначение способа отбора проб мерзлого грунта для определения суммарной влажности и объемного веса
Состояние мерзлых грунтов	СНиП II-18-76	Оценка сжимаемости, хрупкости и вязкости мерзлых грунтов
Температура начала замерзания грунтов в зависимости от концентрации порового раствора	То же	Вычисление расчетных значений температур вечномерзлых грунтов при расчете оснований, используемых по принципу I, нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов
Суммарная льдистость мерзлого грунта $Л_c$	СНиП II-18-76 и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов"	Вычисление льдистости за счет ледяных включений, приближенное определение консистенции и относительной осадки оттаивающих грунтов.
Льдистость грунта за счет ледяных включений $Л_в$	То же	Определение расчетных давлений на мерзлые грунты под фундаментами, приближенное определение относительной осадки оттаивающих грунтов и электрических характеристик грунтов
Льдистость грунта за счет порового льда	СНиП II-18-76 и "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов"	Вычисление суммарной льдистости мерзлого грунта
Степень заполнения льдом и незамерзшей водой пор грунта	СНиП II-18-76,"Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Определение пластичномерзлого состояния грунта и оценка прочности сцепления частиц грунта льдом
Макрольдистость грунта за счет повторно-жильных и пластовых льдов	Рекомендации по методике изучения подземных льдов и криогенного строения многолетнемерзлых грунтов	Определение специфических особенностей проектирования фундаментов на подземных льдах в соответствии с требованиями СНиП II-18-76
III. Теплофизические и электрические характеристики мерзлых грунтов и льдов		
Коэффициент теплопроводности	СНиП II-18-76,"Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Вычисление расчетных температур многолетнемерзлых грунтов, нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов, глубины оттаивания под зданиями
Объемная теплоемкость	СНиП II-18-76,"Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Вычисление расчетных температур многолетнемерзлых грунтов, нормативных глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов, глубины оттаивания под зданиями
Удельное электрическое сопротивление	"Методическое руководство по применению геофизических методов в гидрогеологии и инженерной геологии"	Оценка коррозионной активности среды, корреляционных связей с составом и строением мерзлых грунтов и подземных льдов

Продолжение прил. 1

Характеристики грунтов и льдов	Правила определения	Основная область применения
Кажущееся электрическое сопротивление	"Методическое руководство по применению геофизических методов в гидрогеологии и инженерной геологии"	Оценка коррозионной активности среды, корреляционных связей с составом и строением мерзлых грунтов и подземных льдов
IУ. Химические характеристики мерзлых грунтов и льдов		
Засоленность мерзлого грунта и льда	СНиП II-18-76,"Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Вычисление концентрации порового раствора в грунте; определение температуры начала замерзания грунта, расчетных давлений на мерзлые засоленные грунты под нижним концом сваи и расчетных сопротивлений засоленных мерзлых грунтов сдвигу по поверхности смерзания.
Концентрация порового раствора	То же	Вычисление количества незамерзшей воды в засоленных мерзлых грунтах и льдах
Химический состав водорастворимых солей мерзлого грунта и льда	"Руководство по химическому анализу почв"	Определение типа и степени засоленности мерзлых грунтов и льдов. Приближенное определение коррозионной активности грунтов
У. Прочностные и деформационные характеристики промерзающих и мерзлых грунтов и льдов		
Касательные силы пучения	СНиП II-18-76,"Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов" и "Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах"	Расчет оснований и фундаментов на воздействие сил морозного пучения
Сопротивление мерзлых грунтов сдвигу по боковой поверхности смерзания	ГОСТ 24586–81 "Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости мерзлых грунтов", "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов", СНиП II-18-76	Расчет фундаментов по устойчивости и прочности на действие сил пучения
Относительная осадка оттаивающих грунтов	ГОСТ 24586–81 "Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости мерзлых грунтов", "Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов", СНиП II-18-76	Расчет величины осадки при оттаивании грунта. Определение коэффициентов оттаивания и сжимаемости
Сжимаемость мерзлых грунтов	То же	Расчет коэффициента сжимаемости и модуля деформации мерзлых грунтов и льдов
Сопротивление мерзлых грунтов и льдов нормальному давлению	То же	Оценка несущей способности мерзлых грунтов и ледяных оснований
Сопротивление мерзлых грунтов и льдов сдвигу	То же	Расчет несущей способности оснований и фундаментов по сцеплению и углу внутреннего трения мерзлых грунтов и льдов

Виды полевых и лабораторных определений для основных классификационных групп мерзлых грунтов и подземных льдов (по основным типам мерзлых толщ)

Виды определений	Эпигенетические высокотемпературные и пластично-мерзлые грунты (I)				Низкотемпературные преимущественно эпигенетические мерзлые грунты с крупными залежами пластовых льдов (II)				Низкотемпературные сильнольдистые преимущественно сингенетические мерзлые грунты с мощными повторно-жильными льдами (III)			
	крупнообломочные	песчаные	глинистые	торфяные	крупнообломочные	песчаные	глинистые	торфяные	крупнообломочные	песчаные	глинистые	торфяные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Влажность суммарная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Влажность минеральных отдельностей и заполнителя	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–
Влажность за счет незамерзшей воды	+	x	+	+	+	–	+	+	+	–	+	+
Льдистость за счет ледяных включений	+	x	+	–	+	x	+	+	+	x	+	+
Макрольдистость за счет повторножильных льдов	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Гранулометрический состав	+	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+	–
Пластичность	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–
Степень заторфованности грунта	–	+	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+
Удельный вес грунта	–	x	x	x	–	x	x	x	–	x	x	x
Объемный вес грунта и льда ненарушенного сложения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Объемный вес скелета грунта	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тип криогенной текстуры	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коэффициент теплопроводности	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Объемная теплоемкость	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Электрические свойства	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Засоленность	+	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+	–
Химический состав водорастворимых солей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Морозная пучинистость грунтов и силы пучения	+	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+	–
Осадка оттаивающих грунтов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сжимаемость грунтов	–	–	+	+	–	–	+	+	–	–	+	+
Сопротивление мерзлых грунтов и льдов нормальному давлению	x	x	+	+	–	–	x	x	–	–	x	x
Сопротивление мерзлых грунтов и льдов сдвигающим усилиям	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: 1. Знак + обозначает необходимые определения;
2. Знак x " возможные определения;
3. Знак – " определения не выполняются вообще или предусматриваются их единичные определения.

Номограммы для определения среднегодовой температуры грунта при $\lambda_м = \lambda_т$

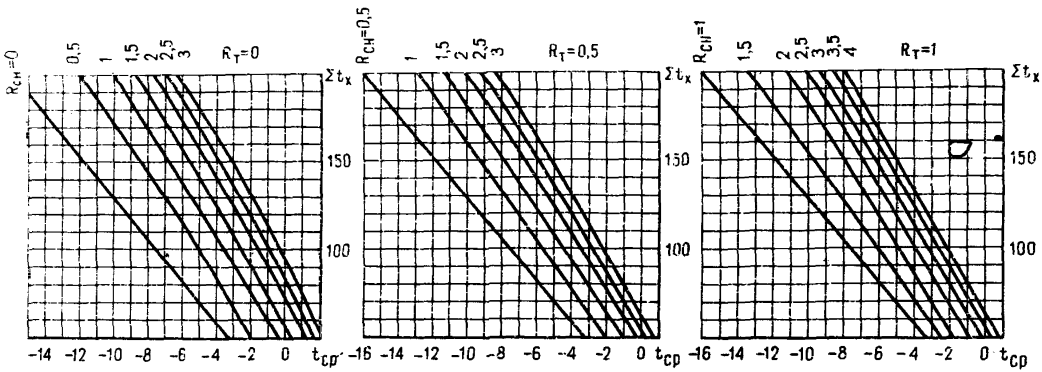


Рис. 1. $\Sigma(+t)$= 10 град.-мес

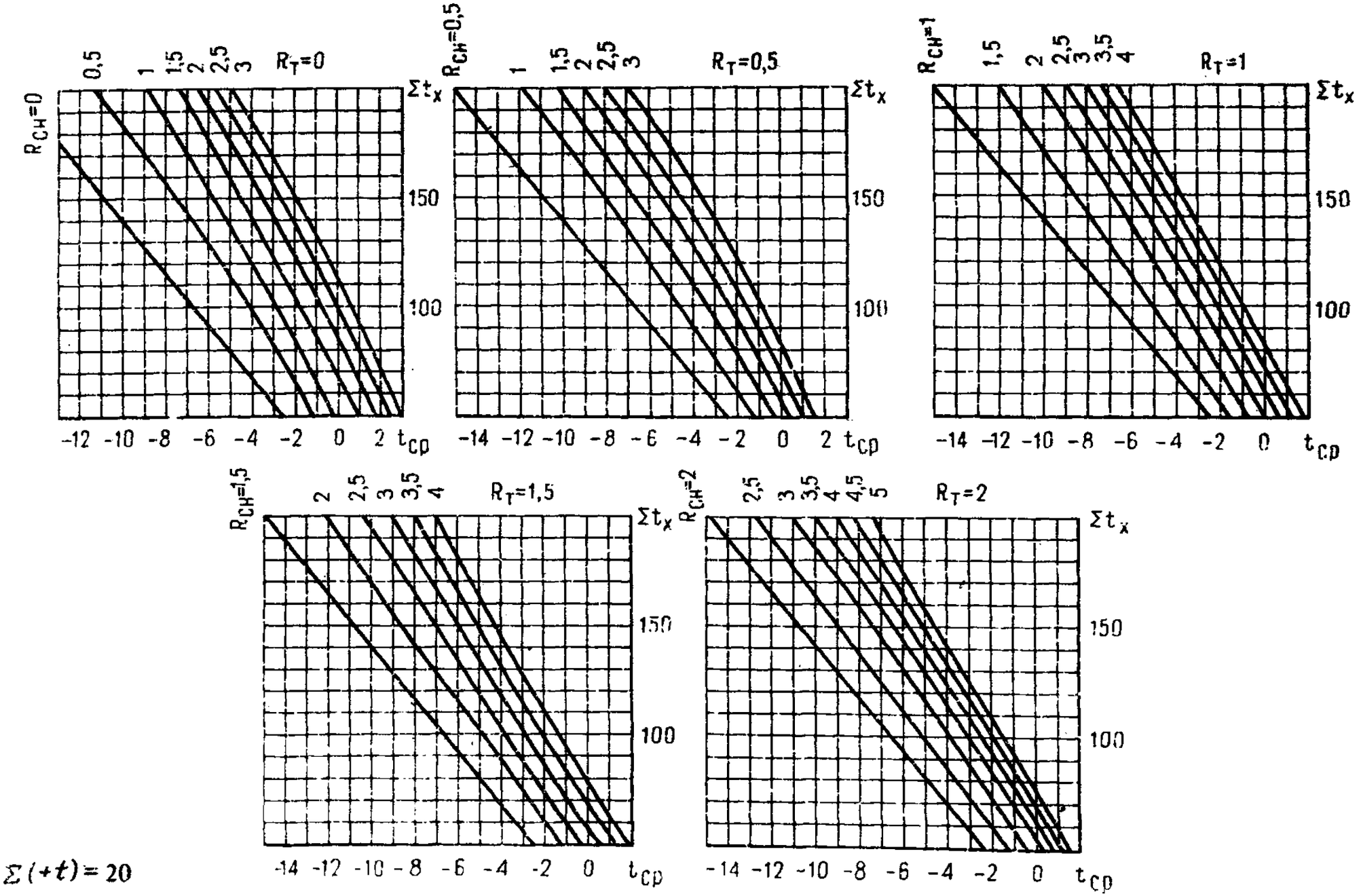


Рис. 2. $\Sigma(+t)=20$

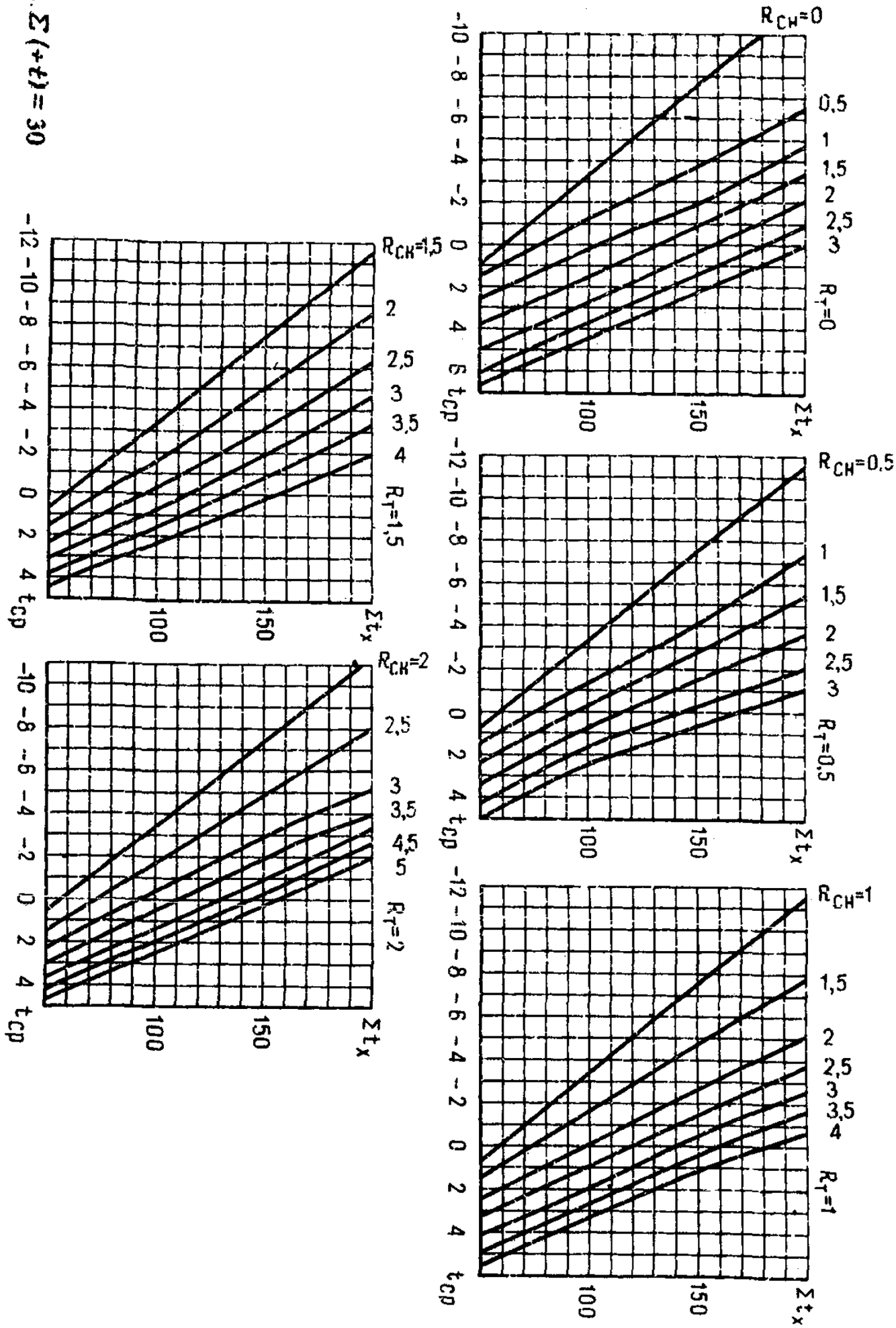


Рис. 3. $\Sigma (+t) = 30$

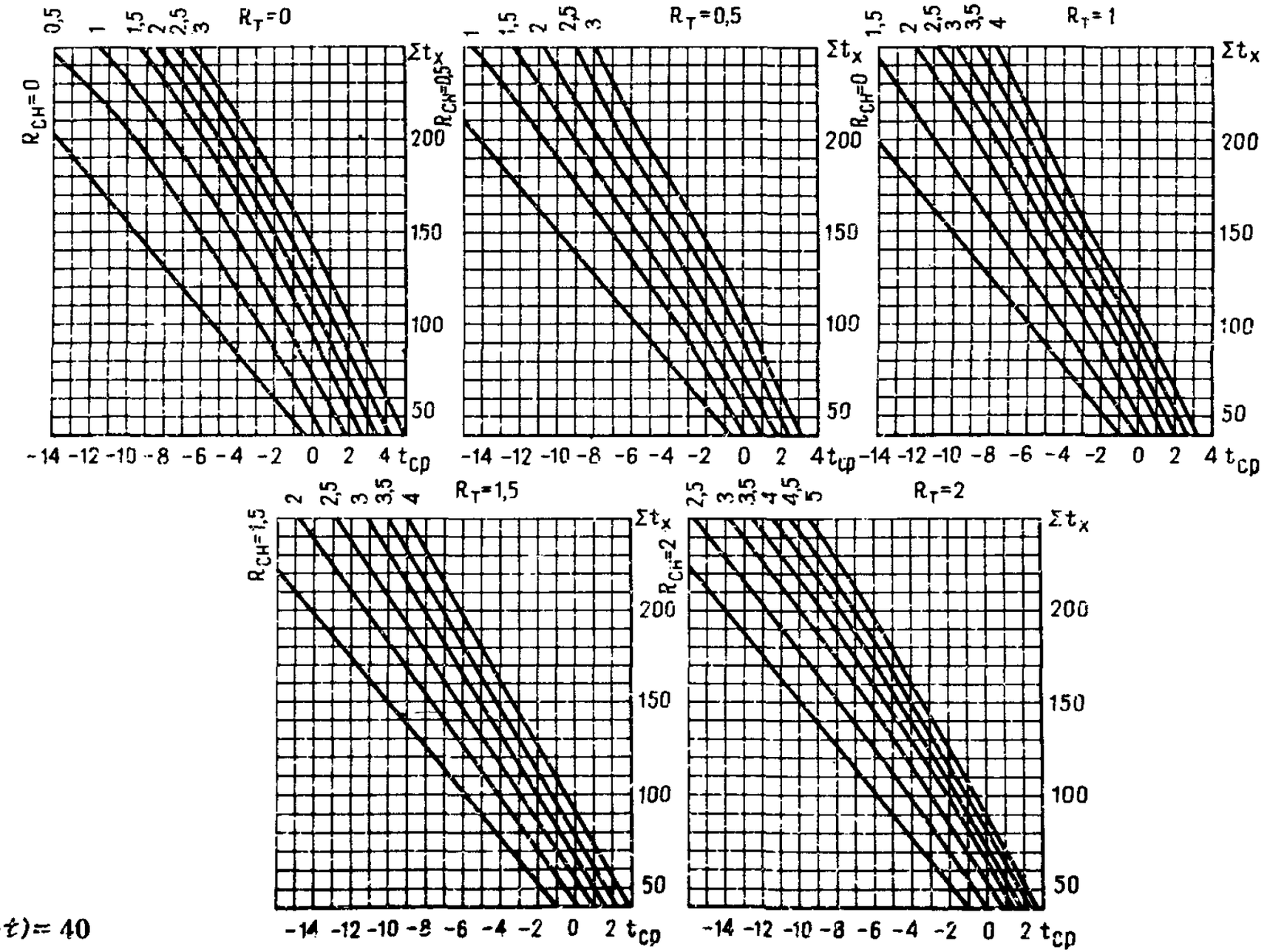


Рис. 4. $\Sigma(+t) = 40$

Рис. 5. $\Sigma(+t) = 50$

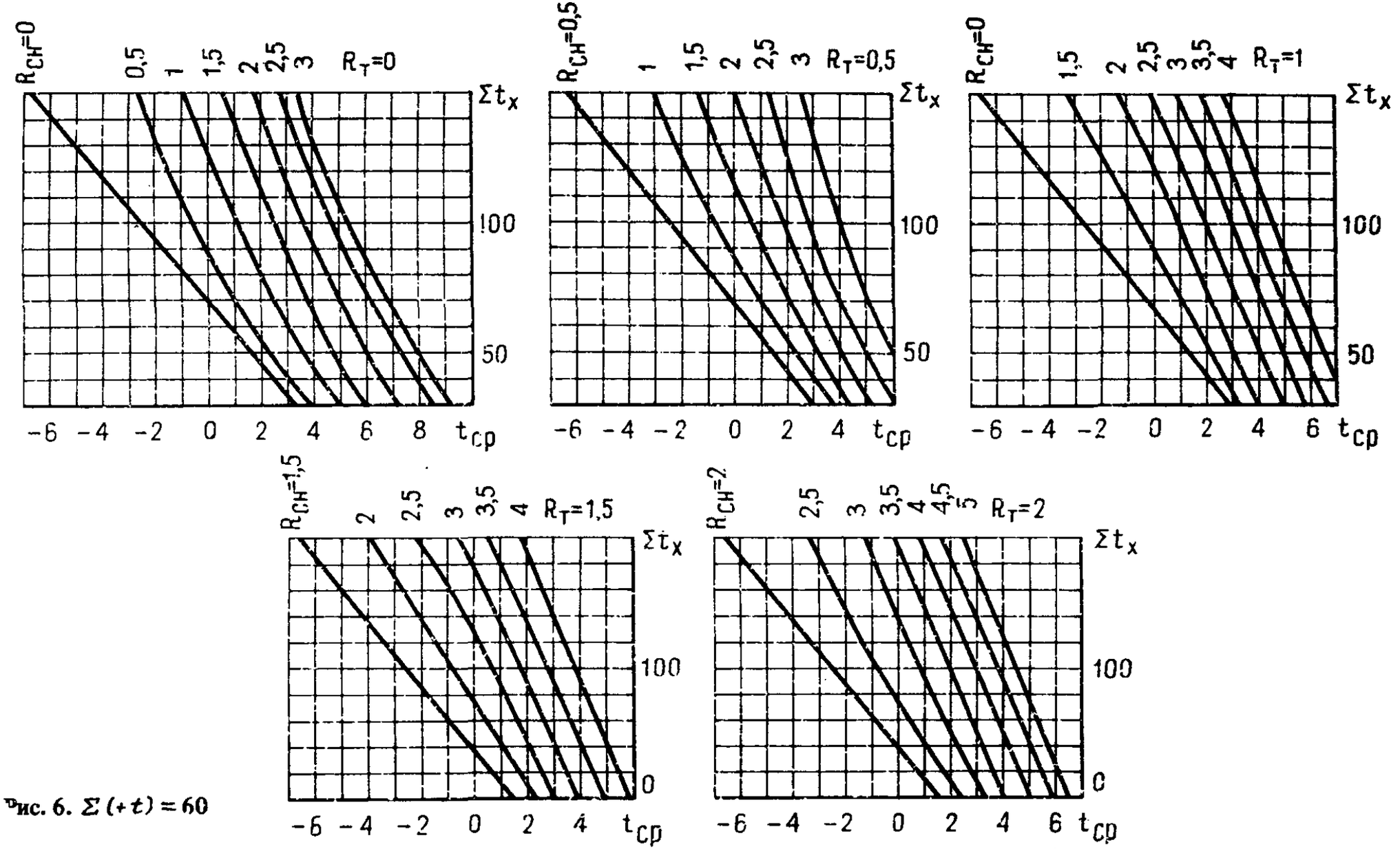


Рис. 6. $\Sigma(+t) = 60$

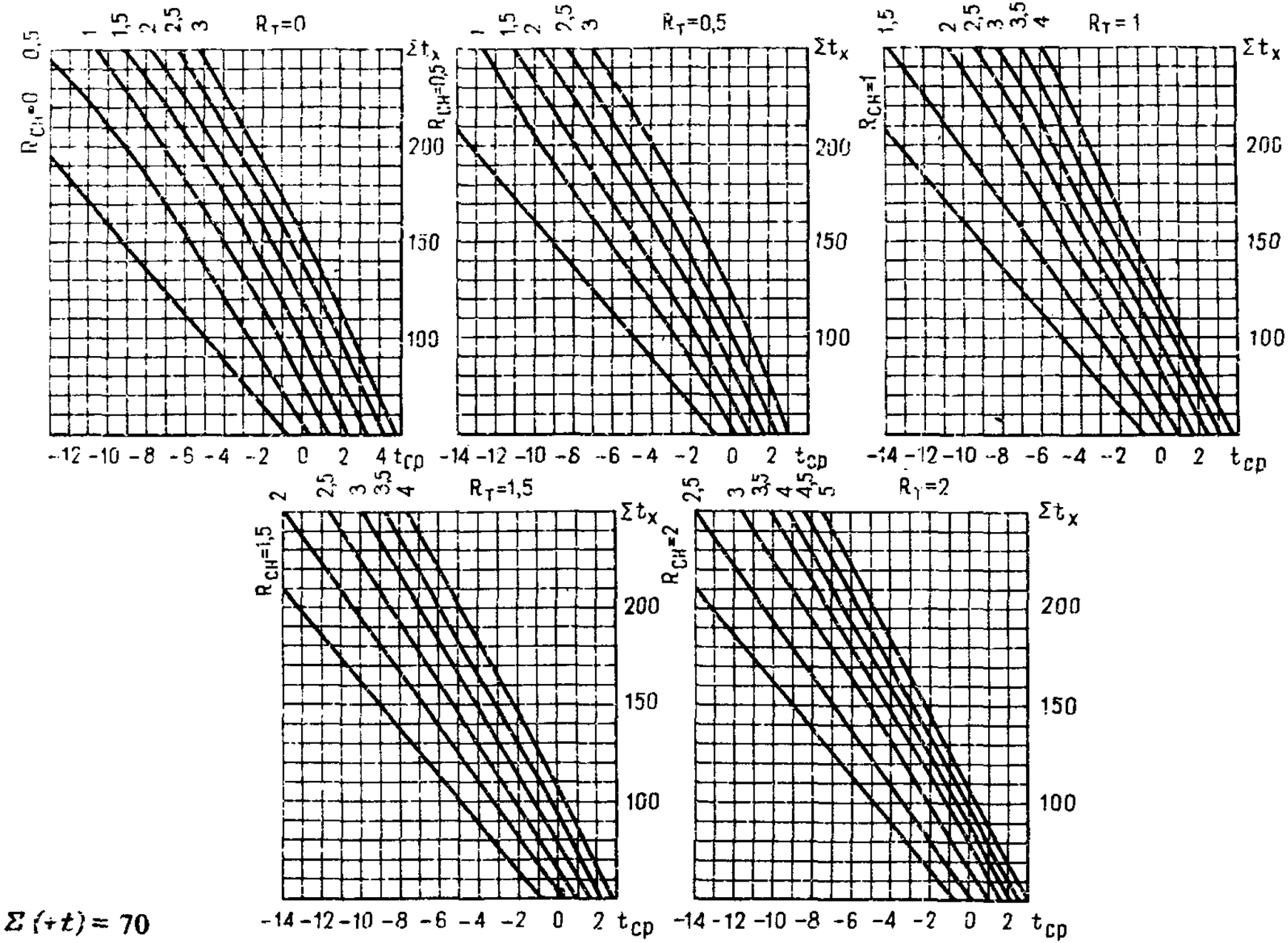
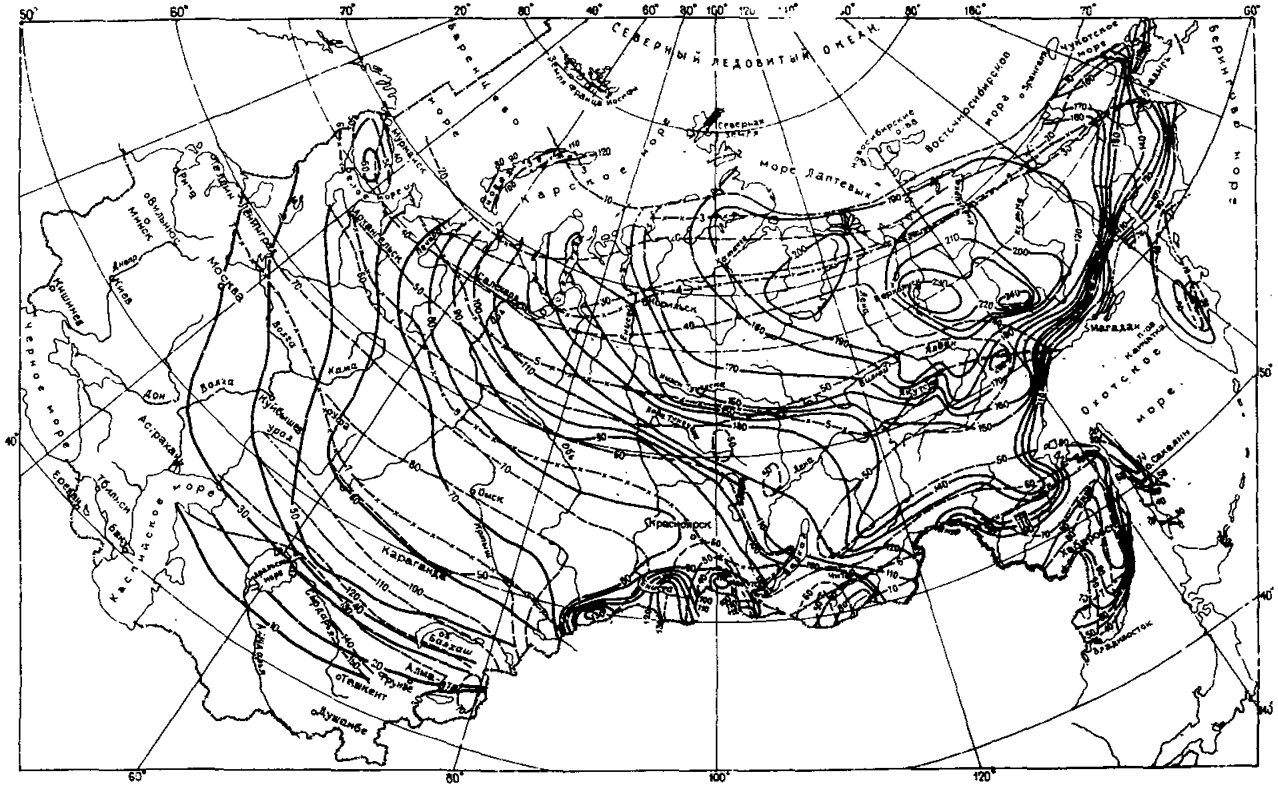


Рис. 7. $\Sigma (+t) = 70$

Карта верхних граничных условий


Северный Ледовитый океан
Баренцево море
Карское море
море Лаптевых
Восточно-Сибирское море
Чукотское море
Берингово море
Охотское море
Черное море
Каспийское море
Аральское море
Москва
Волга
Дон
Обь
Енисей
Лена
Амур
Якутск
Красноярск
Новосибирск
Омск
Томск
Барнаул
Караганда
Алма-Ата
Ташкент
Душанбе
Магадан
Сахалин
Владивосток
Астрахань
Тбилиси
Баку
Киев
Минск
Мурманск
Архангельск
Воркута
Салехард
Игарка
Тикси
Анадырь
Петропавловск-Камчатский
Южно-Сахалинск
Хабаровск
Иркутск
Чита
Братск
Тюмень
Пермь
Казань
Куйбышев
Саратов
Оренбург
Челябинск
Курган
Ижевск
Ухта
Нарьян-Мар
Мезень
Печора
Северная Земля
Земля Франца Иосифа
Новосибирские о-ва
Шпицберген
Нордвик
Диксон
Дудинка
Норильск
Вилюйск
Якутск
Олекминск
Усть-Кут
Тайшет
Ачинск
Кемерово
Новокузнецк
Барнаул
Бийск
Рубцовск
Павлодар
Семипалатинск
Целиноград
Кустанай
Актюбинск
Гурьев
Уральск
Саратов
Самара
Ульяновск
Пенза
Тамбов
Воронеж
Курск
Орел
Тула
Рязань
Калуга
Смоленск
Брянск
Гомель
Могилев
Витебск
Гродно
Брест
Ровно
Житомир
Винница
Кишинев
Одесса
Николаев
Херсон
Запорожье
Днепропетровск
Полтава
Харьков
Сумы
Чернигов
Луганск
Донецк
Ростов-на-Дону
Краснодар
Сочи
Новороссийск
Керчь
Симферополь
Севастополь
Феодосия
Ялта
Евпатория
Джанкой
Армавир
Ставрополь
Грозный
Махачкала
Дербент
Кизляр
Элиста
Астрахань
Волгоград
Камышин
Балашов
Борисоглебск
Воронеж
Липецк
Тамбов
Пенза
Саранск
Ульяновск
Самара
Оренбург
Орск
Актюбинск
Гурьев
Уральск
Атырау
Мангышлак
Форт-Шевченко
Красноводск
Ашхабад
Мары
Чарджоу
Бухара
Самарканд
Ташкент
Чимкент
Джамбул
Фрунзе
Душанбе
Термез
Кушка
Кабул
Герат
Мешхед
Тегеран
Тебриз
Урмия
Эрзурум
Трабзон
Самсун
Синоп
Анкара
Измир
Стамбул
Бурса
Эскишехир
Конья
Адана
Мерсин
Александретта
Алеппо
Дамаск
Бейрут
Иерусалим
Амман
Багдад
Басра
Кувейт
Бушир
Бендер-Аббас
Исфахан
Шираз
Керман
Йезд
Кашан
Казвин
Решт
Энзели
Ардебиль
Тавриз
Хой
Ереван
Нахичевань
Карс
Ардаган
Артвин
Батуми
Кутаиси
Сухуми
Гагра
Сочи
Туапсе
Геленджик
Анапа
Керчь
Феодосия
Ялта
Евпатория
Джанкой
Симферополь
Севастополь
Одесса
Николаев
Херсон
Запорожье
Днепропетровск
Полтава
Харьков
Сумы
Чернигов
Луганск
Донецк
Ростов-на-Дону
Краснодар

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарагуля Л.С., Пармузин С.Ю. Методика оценки мерзлотной обстановки для ранних стадий проектирования наземных сооружений. Инженерная геология № 4, 1982.

2. Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Криогенны физико-геологические процессы и их прогноз. М., Недра, 1980.

3. Гудилин И.С., Комаров В.Б. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М., Недра, 1978.

4. Жигарев Л.А. Экспериментальные исследования скоростей движения грунтовых масс на солифлюкционных склонах. Труды Института мерзлотоведения АН СССР, 1960, т. XYI.

5. Инструкция по применению электроразведки при инженерных изысканиях для строительства. РСН-43-74.

6. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. М., Наука, 1977.

7. Мазуров Г.П. Совмещенное определение объемной массы и суммарной влажности мерзлых грунтов. "Основание, фундаменты и механика грунтов". Стройиздат, М., 1974, № 5.

8. Методика мерзлотной съемки. Изд. МГУ, 1979.

9. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000. М., Недра, 1978.

10. Методические рекомендации по определению показателей физико-механических свойств грунтов радиоизотопными методами (на опыте строительства БАМ). М., 1980.

11. Методические рекомендации по определению относительной осадки оттаивающих песчаных и крупнообломочных грунтов. М., 1979.

12. Методические рекомендации по прогнозу изменения инженерно-геокриологических условий и развития криогенных процессов при линейном строительстве в северо-таежной зоне Западной Сибири. /Под редакцией В.Л. Невечеря. ВСЕГИНГЕО, 1976.

13. Орлов В.О., Дубнов Ю.Д., Меренков Н.Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. Л., Стройиздат, 1977.

14. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геокриологических исследованиях. Изд-во МГУ, 1974.

15. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М., Наука, 1970.

16. Рекомендации по методике проведения мерзлотных исследований при изысканиях в условиях пластичномерзлых грунтов. Коми книжное изд-во, Сыктывкар, 1971.

17. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. М., Стройиздат, 1973.

18. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах. Стройиздат, М., 1980.

19. Руководство по инженерным изысканиям в строительстве. Стройиздат. М., 1982.

20. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л., Стройиздат, 1977.

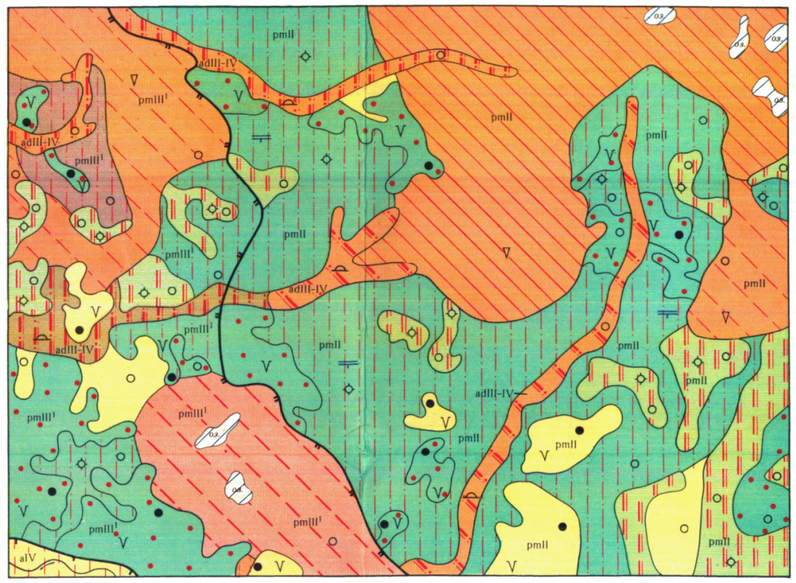
21. Чернядьев Б.П. Методика определения и прогноза среднегодовой температуры грунта. Сб.: Труды ПНИИИС, вып. 29., М., 1974.

МАКЕТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ (вариант грунтовый)

Масштаб 1:100 000

ПРИЛОЖЕНИЕ

I-ТЕРРИТОРИЯ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



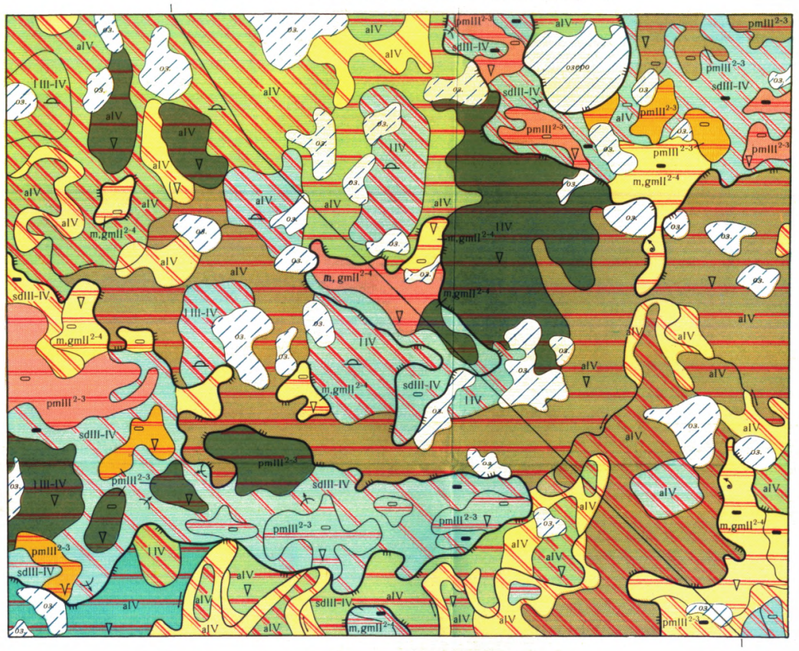
СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- adIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиально-делювиальные
- pmIII¹ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- pmII — Среднеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (IV терраса)
- Среднеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (V терраса)

II-ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ, ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИМИ, МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



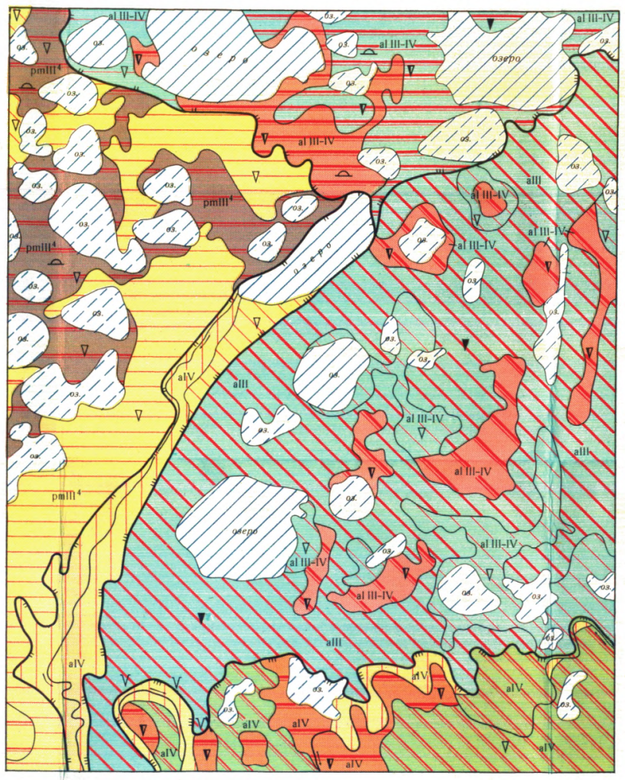
СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- lIV — Голоценовые озерные
- l III-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые озерные
- sdIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые солифлюкционно-делювиальные
- pmIII²⁻³ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- m,gmII²⁻⁴ — Среднеплейстоценовые морские, гляциально-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоценовая морская равнина (III терраса)

III-ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СИНГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- al III-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аласного комплекса
- aIII — Верхнеплейстоценовые аллювиальные
- pmIII⁴ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоцен-голоценовая аласная равнина (I терраса)
- Верхнеплейстоценовая дельтовая равнина (II терраса)
- Верхнеплейстоценовая аллювиальная равнина (III терраса)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА И ЛЬДИСТОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород (в градусах)																	
Обобщенные градации	<-8		от-5 до-8			от-2 до-6			от 0 до-4			от 0 до-2			от 0 до-1		
Градации для I и II макетов			от-5 до-8			от-2 до-5			от 0 до-3			от 0 до-2			от 0 до-1		
Градации для III макета	<-8		от-6 до-8			от-4 до-6			от-2 до-4			от-1 до-2					
Площадь распространения многолетнемерзлых пород с поверхности (в процентах) / Льдистость многолетнемерзлых пород *	1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3	
> 95																	
50-95																	
10-50																	
<10																	

*ЛЬДИСТОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Категории пород по льдистости	Для глинистых пород	Для песчаных пород
1 – Сильнольдистые	Лв > 0,4	
2 – Льдистые	0,2 < Лв ≤ 0,4	G > 0,8
3 – Слабольдистые	Лв ≤ 0,2	G ≤ 0,8

*Примечания: 1. Разная льдистость в верхней и нижней частях разреза показывается двойной штриховкой, штрих сверху или слева характеризует льдистость верхнего слоя
2. Участки распространения талых пород не заштриховываются

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

- Бугры и гряды пучения
- а б в — Повторножильные льды и макрольдистость: а-менее 0,1; б-от 0,1 до 0,3; в-более 0,3
- Солифлюкционные
- Эрозионные и термоэрозионные
- Эоловые
- а б — Пластовые льды, глубина залегания их кровли: а-менее 10м, б-более 10м
- Новообразования многолетнемерзлых пород
- Отдельные линзы и перелетки многолетнемерзлых пород

ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД (летне-осенний уровень), м

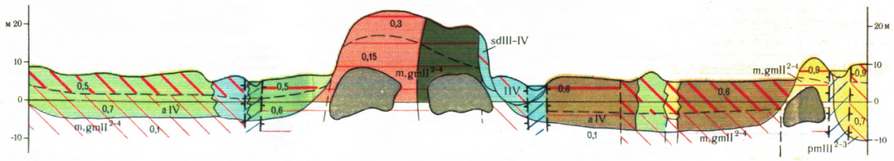
- менее 3
- более 3
- Линия инженерно-геокриологического разреза

ТАЛИКИ

гидрогенные: глубиной до 10м; глубже 10м

радиационно-тепловые: сквозные

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-I К МАКЕТУ II



- Лед
- Поверхность многолетнемерзлых пород
- Граница пород с различными мерзлотными характеристиками (распространение, температура, льдистость)

ТИПЫ РАЗРЕЗОВ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ (до глубины 15 м) (мощность торфа до 2 м)

- Глинистый
- Песчаный
- Песчано-глинистый
- Супесчано-песчаный в верхней части разреза, супесчано-суглинистый в нижней
- Супесчано-суглинистый в верхней части разреза, супесчано-песчаный в нижней
- Супесчано-песчаный со сплошным покровом торфа
- Супесчано-суглинистый со сплошным покровом торфа
- Супесчано-песчаный с несплошным покровом торфа
- Супесчано-суглинистый с несплошным покровом торфа
- Песчано-глинистый с несплошным покровом торфа

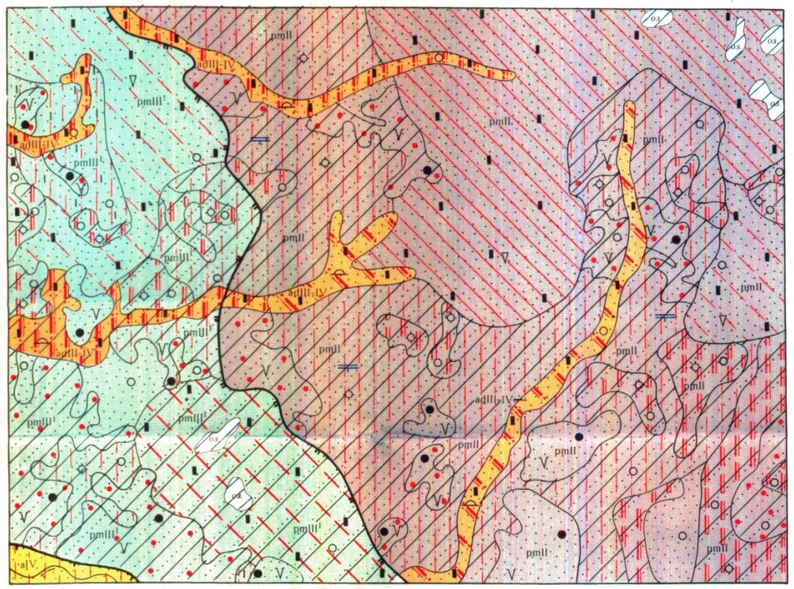
Оформлено и отпечатано на Картографо-геодезическом предприятии объединения „Центрогеология" в 1984 г.
Редактор оформления З.И. Макеева. Технический редактор Л.Н. Панина
Заказ 3334 Тираж 1000 экз. Подписано к печати 24.05.84 г.

МАКЕТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ (вариант геолого-генетический)

Масштаб 1:100 000

ПРИЛОЖЕНИЕ

I-ТЕРРИТОРИЯ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



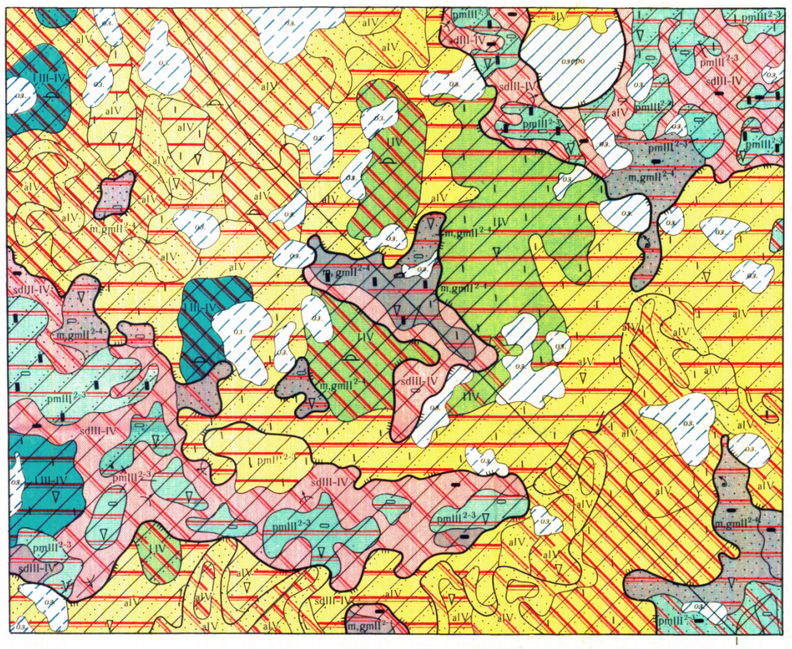
СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- adIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиально-делювиальные
- pmIII¹ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- pmII — Среднеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (IV терраса)
- Среднеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (V терраса)

II-ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ, ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИМИ, МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



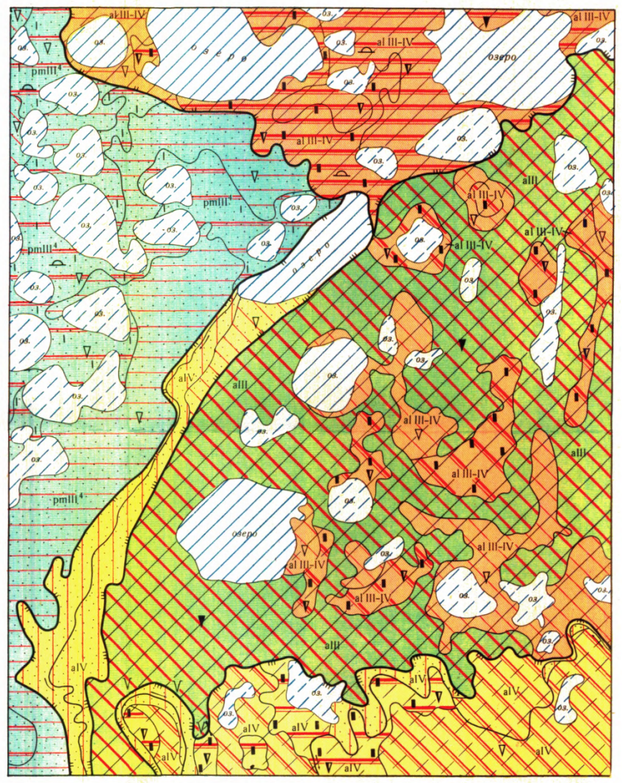
СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- lIV — Голоценовые озерные
- l III-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые озерные
- sdIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые солифлюкционно-делювиальные
- pmIII²⁻³ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- m,gmII²⁻⁴ — Среднеплейстоценовые морские, гляциально-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоценовая морская равнина (III терраса)

III-ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СИНГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- al III-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аласного комплекса
- aIII — Верхнеплейстоценовые аллювиальные
- pmIII⁴ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- Верхнеплейстоцен-голоценовая аласная равнина (I терраса)
- Верхнеплейстоценовая дельтовая равнина (II терраса)
- Верхнеплейстоценовая аллювиальная равнина (III терраса)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА И ЛЬДИСТОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород (в градусах)	Обобщенные градации	<-8		от-5 до-8			от-2 до-6			от 0 до-4			от 0 до-2			от 0 до-1	
	Градации для I и II макетов			от-5 до-8			от-2 до-5			от 0 до-3			от 0 до-2				
	Градации для III макета	<-8		от-6 до-8			от-4 до-6			от-2 до-4			от-1 до-2				
Площадь распространения многолетнемерзлых пород с поверхности (в процентах) / Льдистость многолетнемерзлых пород*		1	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	3
>95																	
50-95																	
10-50																	
<10																	

*ЛЬДИСТОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Категории пород по льдистости	Для глинистых пород	Для песчаных пород
1 – Сильнольдистые	Лв > 0,4	
2 – Льдистые	0,2 < Лв ≤ 0,4	G > 0,8
3 – Слабольдистые	Лв ≤ 0,2	G ≤ 0,8

*Примечания: 1. Разная льдистость в верхней и нижней частях разреза показывается двойной штриховкой, штрих сверху или слева характеризует льдистость верхнего слоя
2. Участки распространения талых пород не заштриховываются

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

- Бугры и гряды пучения
- а б в — Повторножильные льды и макрольдистость а-менее 0,1; б-от 0,1 до 0,3; в-более 0,3
- Солифлюкционные
- Эрозионные и термоэрозионные
- Эоловые
- а б — Пластовые льды, глубина залегания их кровли: а-менее 10м, б-более 10м
- Новообразования многолетнемерзлых пород
- Отдельные линзы и перелетки многолетнемерзлых пород

ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД (летне-осенний уровень), м

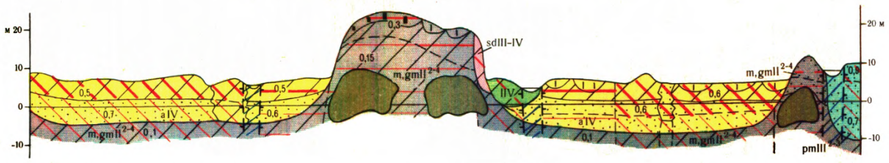
- менее 3
- более 3
- Линия инженерно-геокриологического разреза

ТАЛИНИ

гидрогенные: глубиной до 10м; глубже 10м

радиационно-тепловые: сквозные

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-I К МАКЕТУ II



- Лед
- Поверхность многолетнемерзлых пород
- Граница пород с различными мерзлотными характеристиками (распространение, температура, льдистость)

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ

- Песок
- Супесь
- Глина, суглинок
- Переслаивание песка, супеси с глиной, суглинком
- Суглинок, подстилаемый песком
- Песок, подстилаемый суглинком
- Несплошной торфяной покров мощностью до 2 м
- Сплошной торфяной покров мощностью до 2 м

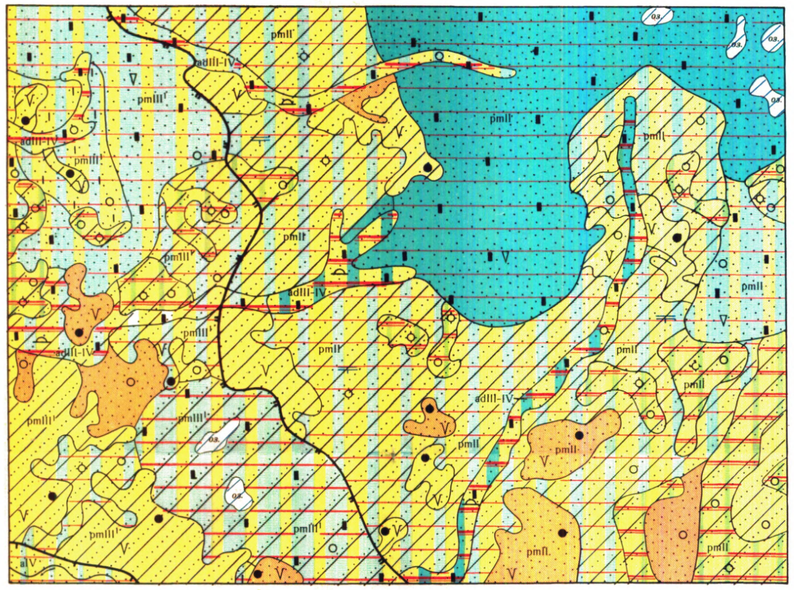
Оформлено и отпечатано на Картографо-геодезическом предприятии объединения „Центргеология" в 1984 г.
Редактор оформления З.И. Макеева Технический редактор Л.Н. Панина
Заказ 353-а Тираж 1000 экз. Подписано к печати 24.05.84 г.

МАКЕТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ (вариант геокриологический)

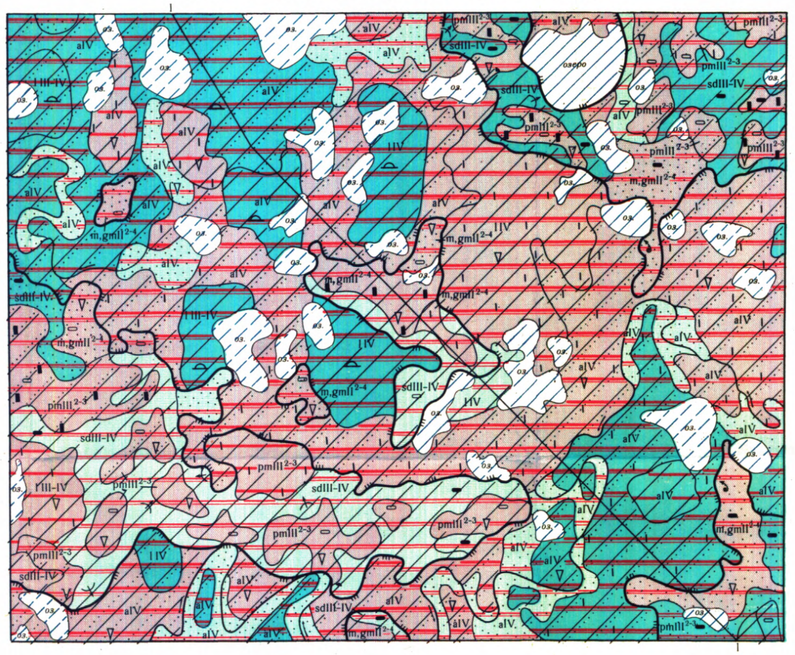
Масштаб 1:100 000

ПРИЛОЖЕНИЕ

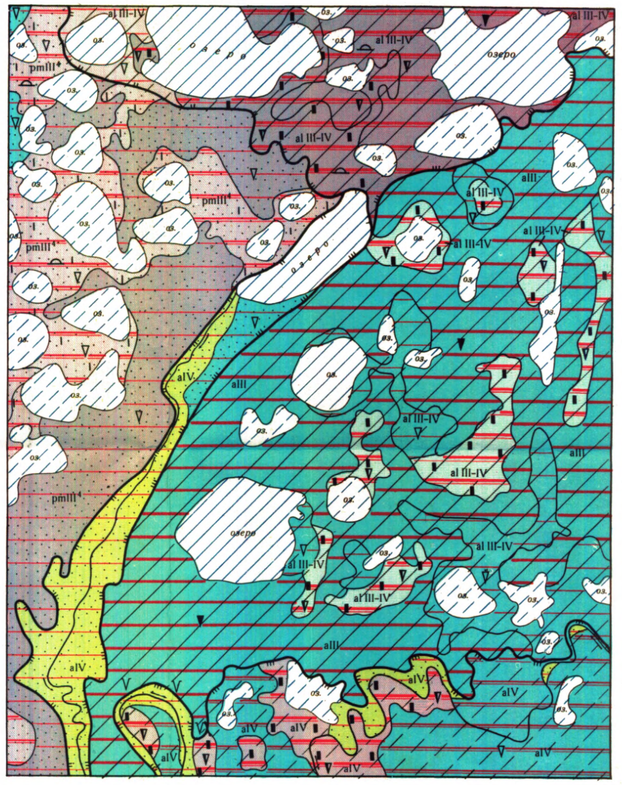
I-ТЕРРИТОРИЯ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



II- ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ, ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИМИ, МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



III- ТЕРРИТОРИЯ С НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ СИНГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕРЗЛЫМИ ТОЛЩАМИ



СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕНСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- adIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аллювиально-делювиальные
- pmIII¹ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- pmII — Среднеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- I — Верхнеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (IV терраса)
- II — Среднеплейстоценовая прибрежно-морская равнина (V терраса)

СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕНСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- lIV — Голоценовые озерные
- lIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые озерные
- sdIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые солифлюкционно-делювиальные
- pmIII²⁻³ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские
- m,gmII²⁻⁴ — Среднеплейстоценовые морские, гляциально-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- III — Верхнеплейстоценовая морская равнина (III терраса)

СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕНСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

- aIV — Голоценовые аллювиальные
- alIII-IV — Верхнеплейстоцен-голоценовые аласного комплекса
- alII — Верхнеплейстоценовые аллювиальные
- pmIII⁴ — Верхнеплейстоценовые прибрежно-морские

ГРАНИЦЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ

- I — Верхнеплейстоцен-голоценовая аласная равнина (I терраса)
- II — Верхнеплейстоценовая дельтовая равнина (II терраса)
- III — Верхнеплейстоценовая аллювиальная равнина (III терраса)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород (в градусах)				Площадь распространения многолетнемерзлых пород с поверхности (в процентах)
Обобщенные градации	Макеты			
	I	II	III	
< -8			<-8	> 95
от -5 до -8		от -5 до -8	от -6 до -8	
от -2 до -6	от -2 до -5	от -2 до -5	от -4 до -6	
от 0 до -4		от 0 до -3	от -2 до -4	
от 0 до -2			от -1 до -2	
от 0 до -3	от 0 до -3			50-95
от 0 до -5	от 0 до -5			10-50
от 0 до -3	от 0 до -3			
от 0 до -3	от 0 до -3			< 10
от 0 до -1	от 0 до -1			
Талые породы, возможны отдельные линзы многолетнемерзлых пород и перелетки				
Талые породы				

ЛЬДИСТОСТЬ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД*

Категории пород по льдистости	Для глинистых пород	Для песчаных пород
Сильнольдистые	Iв > 0,4	
Льдистые	0,2 < Iв ≤ 0,4	Ci > 0,8
Слабольдистые	Iв ≤ 0,2	Ci ≤ 0,8

* Примечание. Разная льдистость в верхней и нижней частях разреза показывается двойной штриховкой

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

- Бугры и гряды пучения
- а б в — Повторножильные льды и макрольдистость: а-менее 0,1; б-от 0,1 до 0,3; в-более 0,3
- Солифлюкционные
- Эрозионные и термоэрозионные
- Эоловые
- а б — Пластовые льды, глубина залегания их кровли: а-менее 10м, б-более 10м
- Новообразования многолетнемерзлых пород

ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД (летне-осенний уровень), м

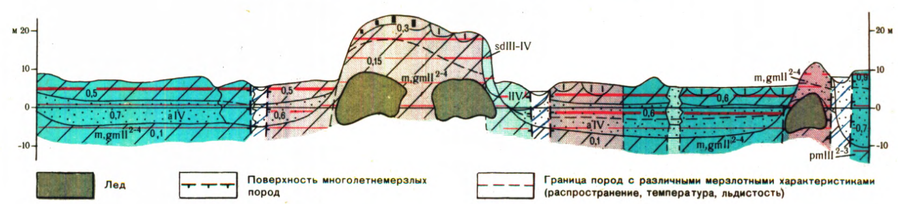
- менее 3
- более 3
- Линия инженерно-геокриологического разреза

ТАЛИНЫ

гидрогенные
- глубиной до 10м
- глубже 10м

радиационно-тепловые
- сквозные

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-I К МАКЕТУ II



Лед

Поверхность многолетнемерзлых пород

Граница пород с различными мерзлотными характеристиками (распространение, температура, льдистость)

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ

- Песок
- Супесь
- Глина, суглинок
- Переслаивание песка, супеси с глиной, суглинком
- Суглинок, подстилаемый песком
- Песок, подстилаемый суглинком
- Несплошной торфяной покров мощностью до 2 м
- Сплошной торфяной покров мощностью до 2 м

Оформлено и отпечатано на Картографо-геодезическом предприятии объединения «Центргеология» в 1984 г.
Редактор оформления З.Н. Маяева Технический редактор Л.Н. Панина
Заказ 353-а Тираж 1000 экз. Подписано к печати 24.05.84 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Этапы исследований 5
3. Основные виды работ 9
4. Комплексирование методов при опережающих инженерно-геокриологических исследованиях 18
5. Изучение основных инженерно-геокриологических характеристик 23
Приложение 1. Характеристики мерзлых грунтов и льдов, изучаемые при опережающих инженерно-геокриологических исследованиях 69
Приложение 2. Виды полевых и лабораторных определений для основных классификационных групп мерзлых грунтов и подземных льдов (по основным типам мерзлых толщ) 76
Приложение 3. Номограммы для определения среднегодовой температуры грунта при $\lambda_м = \lambda_т$ 78
Приложение 4. Карта верхних граничных условий. 85
Список литературы 86

ПНИИИС Госстроя СССР

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОПЕРЕЖАЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией *Л.Г. Бальян*
Редактор *М.В. Никольская*
Мл. редактор *М.Б. Быканова*
Технический редактор *Е.Н. Ненарокова*
Корректор *Н.С. Сафронова*

Н/К

Подписано в печать 3.03.86 Т – 08105 Формат 84x108/32
Бумага офсетная Печать офсетная Набор машинописный
Усл.печ.л. 4.62 Усл. кр.-отт. 4,935 Уч.-изд.л. 6,41 Тираж 1000
Изд. № XII–694 Зак. № Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Типография ЦНИИТЭИПИЩЕПРОМА
Москва, ул. Осипенко 14

gost.e-ecolog.ru