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

Рекомендации

по применению геофизических методов для определения инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов

Москва Стройиздат 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 550.83+624.139.2

Рекомендовано к изданию секцией геофизики и инженерно-сейсмологии НТС ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по применению геофизических методов для определения инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов /ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984, 32 с.

Определены рациональный комплекс методов, включающий электроразведку на постоянном и низкочастотном переменном токе, сейсмоакустические методы и комплексный каротаж и даны рекомендации по выполнению исследований перечисленными методами. Использование комплекса позволяет по данным геофизических исследований определять инженерно-геологические характеристики мерзлых пород, включающие параметры состава и строения, а также прочностные и деформационные характеристики.

Предназначены для геофизиков и инженеров-геологов, ведущих изыскания в районах распространения мерзлых грунтов.

Разработаны ПНИИИС Госстроя СССР (кандидатами геолого-минералогических наук Ю.И.Баулиным, А.Н.Боголюбовым, канд. техн. наук Ю.Д. Зыковым, инж. Боголюбовой).

3202000000–701
Р ———————— Инструкт.-нормат., II вып.–111–82
047(01)–84

©Стройиздат, 1984

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации включают методики определения инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов с помощью полевых и лабораторных геофизических методов.

1.2. К дисперсным мерзлым грунтам относятся криогенные образования, основу минерального скелета которых составляют песчано-глинистые частицы или агрегаты, содержащие некоторое количество льда в виде цемента или разнообразных включений.

1.3. На крупнообломочные, скальные и полускальные мерзлые грунты действие Рекомендаций не распространяется.

1.4. Под инженерно-геологическими характеристиками понимаются свойства, параметры и нормативные показатели, используемые при инженерно-геологических изысканиях и являющиеся исходным материалом при расчетах оснований и фундаментов инженерных сооружений.

1.5. Инженерно-геологические характеристики, рассматриваемые в Рекомендациях, включают в себя параметры, определяющие состав, строение, состояние и физические свойства (в том числе механические) отдельных разновидностей мерзлых грунтов и грунтовых массивов.

При этом под *параметрами состава* понимается количество и общая характеристика твердых, жидких и газообразных компонентов грунта в занимаемом объеме; под *параметрами состояния* – характеристики естественных или искусственных полей, в которых существует изучаемый объем грунта; под *свойствами* – реакция грунта на изменение его состояния.

1.6. Различают *параметры строения*, характеризующие форму, размеры и местоположение в массиве крупных неоднородностей, соизмеримых с линейными размерами сооружений или их элементов (макростроение), и параметры, характеризующие форму, размеры и взаимное расположение твердых, жидких и газообразных компонентов в образцах или монолитах грунта (микростроение).

1.7. В процессе инженерно геологического опробования в каждой точке определяется состав, микростроение и состояние грунтов, а также их физические свойства как результат интерпретации измеренных параметров естественных или искусственных физических полей. Физические свойства грунтов, определяемые с помощью инженерно-геологических методов, далее называются инженерно-геологическими свойствами.

1.8. В процессе геофизических наблюдений измеряются параметры соответствующих геофизических полей, структура и интенсивность которых в общем случае зависят не только от физических свойств, но и от макростроения среды. Поэтому

параметры геофизических полей не тождественны их физическим свойствам и могут совпадать в случае однородных изотропных сред.

С помощью специальных приемов интерпретации осуществляется переход от параметров геофизических полей к параметрам макростроения среды и физическим свойствам грунтов в пределах выделенных неоднородностей.

Физические свойства грунтов, определяемые геофизическими методами, далее называются геофизическими свойствами.

1.9. Возможность использования геофизических методов для оценки инженерно-геологических характеристик мерзлых грунтов базируется на существовании связей между этими характеристиками и геофизическими свойствами. Определение инженерно-геологических свойств по геофизическим данным базируется либо на функциональных зависимостях, обусловленных единством физических полей, либо на зависимости тех и других от одних и тех же параметров состава, строения и состояния.

1.10. Связи, устанавливаемые на уровне сопоставления параметров полей, общем случае будут неопределенными, даже если эти параметры относятся к адекватным полям, в силу того, что каждый из них является функцией макростроения среды.

Связи на уровне сопоставления свойств грунтов более определенны, так как свойства не зависят от параметров макростроения среды.

Степень жесткости связей зависит от природы и характера полей, в которых определяются сопоставляемые свойства.

Наиболее надежными и корректными являются связи между свойствами, устанавливаемыми с помощью геофизических и инженерно-геологических методов в адекватных полях.

1.11. На практике широко применяются экспериментальные способы установления связей между физическими свойствами и параметрами состава, строения и состояния грунтов. При этом используются результаты натурных наблюдений и данные, полученные на образцах естественного сложения или приготовленных искусственным путем (физическое моделирование).

Наиболее распространено установление парных зависимостей, которые могут иметь функциональный (причинно-следственный) или стохастический (корреляционный) характер. Независимо от жесткости этих связей при практическом их применении требуется специальная проверка и корректировка для каждого конкретного случая.

Более универсальный характер носят многопараметровые зависимости, полученные с учетом изменения всех основных параметров состава, строения и состояния.

1.12. При установлении связей и их практическом применении необходимо учитывать масштабность исследований. Она

связана непосредственно с соотношением баз наблюдений и длин волн с одной стороны, и размерами изучаемых объемов, с другой. Разрешающая способность геофизических методов такова, что в большинстве случаев надежно выделяются неоднородности, линейные размеры которых соизмеримы или превышают базы и длины волн. Если размеры неоднородностей существенно меньше, то среда по геофизическим данным фиксируется как однородная (квазиоднородная). Таким образом, одна и та же среда в зависимости от масштаба исследований, может выступать как в качестве неоднородной, так и квазиоднородной.

1.13. Признаком неоднородности среды является закономерное изменение параметров волнового поля как при увеличении или уменьшении исследуемых объемов пород за счет увеличения или уменьшения баз и длин волн, так и при перемещении измерительных установок с постоянными базами и длинами волн.

1.14. Признаком квазиоднородной среды будет служить постоянство параметров волнового поля при достаточно больших базах и длинах волн и закономерные изменения этих параметров при уменьшении баз и длин волн. К параметрам волновых полей, полученным при малых базах и длинах волн, следует подходить так же, как и в случае неоднородных сред.

1.15. Признаком однородной среды является постоянство параметров полей независимо от размеров баз и длин волн.

1.16. Непосредственное сопоставление параметров, определенных по геофизическим и инженерно-геологическим данным, будет наиболее корректно, если они относятся к соизмеримым объемам, характеризуемым как однородные или квазиоднородные. Это следует иметь ввиду при выборе размеров измерительных установок и длин используемых волн для получения сопоставимых геофизических параметров. При этом необходимо учитывать, что параметры, определяемые при инженерно-геологическом опробовании грунтов, как правило, относятся к небольшим объемам, исчисляемым кубическими сантиметрами и дециметрами или, в редких случаях, достигающими кубических метров.

1.17. Инженерно-геологические характеристики, найденные непосредственно (в результате опробований и испытаний) или с помощью обнаруженных связей, могут быть распространены на элементы массива, выделенные при геофизических исследованиях как однородные (или квазиоднородные) по свойству, для которого эти связи установлены.

1.18. Толща мерзлых дисперсных грунтов как объект геофизических исследований характеризуется следующими особенностями:

наличием границ, на которых происходит резкое изменение упругих и электрических свойств при переходе грунтов из талого в мерзлое состояние;

сложным псевдоблоковым геосейсмическим и геоэлектрическим строением мерзлого массива, обусловленным изменением физических свойств благодаря изменению литологии, влажности (льдистости), криогенной текстуры и температуры как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях;

нестабильностью границ и свойств мерзлых грунтов во времени, связанной с изменением температуры.

1.19. Определение инженерно-геологических характеристик мерзлых массивов с помощью геофизических методов может быть выполнено только на основе решения двух взаимосвязанных задач:

определения строения массива, заключающегося в установлении размеров и форм объемов пород с одинаковыми его физическими свойствами и количественной оценки этих свойств;

определения инженерно-геологических параметров грунтов по найденным их геофизическим свойствам.

1.20. Основные требования, предъявляемые к геофизическим методам, привлекаемым для определения инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов, заключаются в следующем:

методы должны основываться на изучении физических свойств грунтов, причем связи должны быть теоретически обоснованы, хорошо изучены и достаточно надежны;

изучаемые свойства должны определяться с достаточной степенью точности;

методы должны решать также и структурные задачи;

предпочтительно использовать методы, позволяющие проводить разномасштабные исследования (от образца до массива).

1.21. Для наиболее полного и объективного решения поставленной задачи целесообразно использовать комплекс геофизических методов, основанных на изучении различных физических полей.

При выборе комплекса, который должен быть доступен производственным организациям, ведущим изыскания в районах развития мерзлых пород, следует учитывать:

наличие серийной аппаратуры и стандартной техники измерений, поддающейся нормированию;

разработанность приемов объективной интерпретации результатов наблюдений;

экономическую эффективность.

1.22. Оптимальными являются комплекс геофизических методов, включающий электроразведку на постоянном и низкочастотном переменном токе, сейсмоакустические и радиоизотопные методы.

2.ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА ПОСТОЯННОМ И НИЗКОЧАСТОТНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

2.1. Для определения инженерно-геологических характеристик мерзлых пород наиболее широко применяется электроразведка на постоянном и низкочастотном переменном токе. К числу ее преимуществ перед другими электроразведочными методами относятся:

применимость в районах, сложенных любыми породами;

возможность определения электрических свойств пород в массиве, что необходимо для решения широкого круга задач, связанных с определением состава и состояния грунта, а также элементов залегания границ объектов различной формы и размеров, характеризующихся одинаковыми свойствами;

наличие хорошо разработанной методики проведения полевых работ и приемов интерпретации результатов наблюдений;

сравнительно высокая производительность и мобильность, допускающая ее применение в труднодоступных районах.

2.2. При изучении талых и мерзлых толщ используется одна и та же аппаратура и техника проведения электроразведочных полевых работ. Все отличия при исследовании мерзлых толщ заключаются в правильном подборе методов, способных решать с необходимой точностью и достоверностью поставленные задачи в тех или иных условиях, в последовательности применения выбранных методов и в соответствующем подходе к интерпретации результатов наблюдений, учитывающем разведочные возможности применяемых методов и особенности геоэлектрического строения мерзлых толщ.

2.3. По способу измерений и характеру решаемых задач методы постоянного и низкочастотного переменного тока подразделяются на профилирование, вертикальное электрическое зондирование и каротаж скважин.

2.4. Электропрофилирование (ЭП) применяется для изучения строения массивов талых и мерзлых грунтов в горизонтальном направлении. С помощью ЭП решаются следующие задачи:

выделение участков распространения мерзлых грунтов в плане;

поиски и определения элементов залегания жильных льдов;

изучение изменений состава, влажности (льдистости), криогенной текстуры и температуры мерзлых грунтов в горизонтальном направлении.

2.5. В зависимости от характера изучаемого поля и измеряемых параметров могут быть выделены следующие виды профилирования:

профилирование на постоянном токе и низкочастотном переменном токе методом сопротивления (ЭП КС);

профилирование на постоянном токе методом двух составляющих (ЭП МДС).

2.6. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) в зависимости от характера изучаемого поля и измеряемых параметров разделяется на ВЭЗ на постоянном и низкочастотном переменном токе по методу сопротивлений (ВЭЗ КС) и по методу двух составляющих (ВЭЗ МДС).

2.7. ВЭЗ используются для определения последовательности залегания в разрезе горизонтальных и крутопадающих слоев, их мощности и удельное электрическое сопротивление (УЭС). С помощью ВЭЗ решаются следующие задачи:

выделение в разрезе слоев различного литологического состава и определение их элементов залегания;

определение мощности мерзлых грунтов, обнаружение чередования талых и мерзлых грунтов вертикальном направлении и оценка их мощности;

изучение изменения состава, влажности (льдистости), криогенной текстуры и температуры мерзлых грунтов в вертикальном направлении.

2.8. По степени сложности геоэлектрического строения массивы горных пород могут быть приближенно подразделены на простые, градиентные, осложненные и сложные. Степень сложности массивов в геоэлектрическом отношении предварительно оценивается по совокупности известных для районов геоэлектрических и геологических данных и уточняется в ходе электроразведочных работ.

2.9. В случае горизонтально-слоистого геоэлектрического строения массива применяются ВЭЗ КС. При необходимости изучения наклонных и крутопадающих геоэлектрических границ применяются круговые ВЭЗ КС и ВЭЗ МДС.

2.10. С помощью электрического каротажа скважин могут быть решены следующие задачи:

уточнение границ в массиве между грунтами различного состава;

выделение слоев грунтов с различной криогенной текстурой;

обнаружение мощных прослоев льда или интервалов с повышенной льдистостью;

определение общей льдистости грунтов за счет ледяных включений.

Сведения, получаемые в результате обработки каротажных диаграмм, необходимы также для повышения точности интерпретации данных ВЭЗ.

2.11. Все виды электрического каротажа выполняются в соответствии с "Инструкцией по применению каротажных методов при инженерных изысканиях в строительстве" (РСН 46-79).

Специфика электрического каротажа мерзлых пород за-

ключается в том, что все измерения могут быть проведены только в сухих необсаженных скважинах.

2.12. Мерзлые дисперсные грунты представляют собой сложные гетерогенные системы, состоящие из минеральных и органических частиц, льда, незамерзшей воды и газов, заполняющих поровое пространство.

2.13. Наличие в мерзлых грунтах льда в качестве породообразующего минерала существенно изменяет электрические свойства, присущие им в талом состоянии.

Основным электрическим параметром, несущим информацию о составе, строении и состоянии мерзлых грунтов и льда, является УЭС.

Сложный характер взаимодействия незамерзшей воды с минеральным скелетом и льдом обусловливает широкий диапазон изменения УЭС мерзлых грунтов.

2.14. Большинство породообразующих минералов, составляющих скелет дисперсной породы, относится к диэлектрикам и обладает высокими значениями УЭС (10^7–10^{12} и более Омм), которые можно считать бесконечно большими с точки зрения практической электроразведки. Исключение представляет небольшая группа минералов и пород, обладающих электронной проводимостью. УЭС этих минералов и пород изменяется от сотых долей до первых десятков Омм.

Существенной зависимости УЭС породообразующих минералов от температуры в диапазоне, свойственном мерзлым грунтам в естественном состоянии не наблюдается.

2.15. В общем случае УЭС льда зависит от концентрации (минерализации) замерзшего электролита и температуры.

УЭС льда из дистиллированной воды при понижении температуры от 0 до -50°С изменяется от 10^7 до 10^{10} Омм.

Увеличение концентрации исходного электролита при постоянной температуре приводит к уменьшению УЭС льда, главным образом, за счет образования пленки незамерзшей воды между отдельными кристаллами льда и увеличения ее толщины.

Зависимость УЭС льда от температуры при различной концентрации исходного электролита приведена в прил. 1.

2.16. Электропроводимость большинства горных пород имеет ионную природу. Их УЭС в области положительных температур тесно связано с пористостью, степенью заполнения пор водой и ее минерализацией. При отрицательных температурах вода переходит в лед и прохождение тока через мерзлую породу осуществляется по пленкам незамерзшей, главным образом, связанной воды, окружающей зерна минерального скелета и льда. В результате понижения температуры и замерзания воды сечение токопроводящих путей уменьшается, а их длина растет, что приводит к увеличению УЭС. Таким образом, величина УЭС дисперсных грунтов при промерзании зависит от факторов, определяющих количество и характер распределения незамерзшей во-

ды, т.е. от литологии, минерализации, пористости, льдистости, криогенной текстуры и температуры.

2.17. Среди дисперсных грунтов с массивной криогенной текстурой наибольшими величинами УЭС в мерзлом состоянии обладают пески, содержащие незамерзшую воду в очень незначительных количествах. При переходе температуры через 0°C почти вся свободная вода в них переходит в лед и УЭС возрастает в десятки, а иногда и в сотни раз. Мерзлые супеси и суглинки, в которых незамерзшей воды значительно больше, характеризуются промежуточными значениями УЭС. Наибольшее количество незамерзшей воды содержится в глинах, вследствие чего при промерзании их УЭС увеличивается незначительно (всего в два-три раза).

Обобщенные данные об УЭС мерзлых дисперсных пород Западной Сибири приведены в прил. 2.

2.18. На величину УЭС мерзлых грунтов со шлировыми криогенными текстурами преобладающее влияние оказывает электропроводность льда. Степень этого влияния зависит от характера пространственного расположения шлиров льда в мерзлой породе (типа криогенных текстур), их количества в единичном объеме и мощности (льдистости).

2.19. Зависимости электрических характеристик мерзлых грунтов от типа криогенной текстуры исследованы с помощью теоретических моделей, представляющих собой блоки с массивной криогенной текстурой, заполняющих пространственную решетку, состоящую из прослоев льда различной мощности.

2.20. Для моделей мерзлых грунтов со слоистой, сетчато-слоистой и равномерно-сетчатой текстурой на основании законов Ома и Кирхгофа по известным значениям УЭС ледяных прослоев $\rho_л$ и грунта с массивной криогенной текстурой $\rho_г$ получены следующие выражения для электрических характеристик:

для грунтов со слоистыми текстурами:

$$\rho_n = \frac{\rho_г + m\rho_л}{1+m} = \rho_г \frac{1+\mu m}{1+m}; \qquad (1)$$

$$\rho_t = \frac{\rho_г \rho_л (1+m)}{m\rho_г + \rho_л} = \rho_г \frac{\mu(1+m)}{m+\mu}; \qquad (2)$$

$$\rho_m = \sqrt{\rho_n \rho_t} = \rho_г \sqrt{\frac{\mu(1+\mu m)}{m+\mu}}; \qquad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} = \sqrt{\frac{(1+\mu m)(\mu+m)}{\mu(1+m)^2}}, \qquad (4)$$

где μ – соотношение УЭС льда и породы с массивной текстурой;
ρ_n – поперечное УЭС;

ρ_t – продольное УЭС;
ρ_m – среднеквадратичное УЭС;
λ – коэффициент анизотропии;
здесь

$$m = \frac{\Sigma h_л}{\Sigma h_г},$$

где $\Sigma h_л$ – суммарная мощность ледяных шлиров в единице объема
$\Sigma h_г$ – суммарная мощность прослоев породы с массивной текстурой в единице объема;
для грунтов со слоисто-сетчатыми текстурами

$$\rho_n = \rho_г\left\{\frac{m\mu}{1+m} + \frac{\mu(1+q)^2}{(1+m)[(1+q)^2-1]+\mu}\right\}; \quad (5)$$

$$\rho_t = \rho_г\left\{\frac{qm}{1+m} + \frac{\mu(1+m)}{[(1+m)(1+q)-1]+\mu}\right\}; \quad (6)$$

$$\rho_m = \sqrt{\rho_n \rho_t}; \quad \lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}};$$

где m – отношение суммарной мощности льда, составляющего основную систему шлиров, к суммарной мощности грунта между ними;
q – то же, относящиеся к подчиненным системам шлиров.

Для равномерно-сетчатой текстуры, где $m = q$, $\lambda = 1$, имеем

$$\rho_m = \rho_t = \rho_n = \rho_г\left\{\frac{m\mu}{1+m} + \frac{\mu(1+m)}{[(1+m)^2-1]+\mu}\right\} \quad (7)$$

2.21. На основании решения задачи о поле точечного источника постоянного тока в слоистых и сетчато-слоистых средах получено выражение для $\rho_к$ представляющего собой кажущееся электрическое сопротивление, т.е. геофизический параметр, измеряемый на дневной поверхности, в скважине или на образце:

$$\rho_к = \frac{\rho_x \lambda_y \lambda_z}{\sqrt{1+A+B+C+D}}, \quad (8)$$

где

$$A = \frac{1}{2}(\lambda_y^2-1)\cos\alpha \sin^2\beta \sin^2\varphi;$$

$$B = (\lambda_y^2-1)\sin^2\beta \cos^2\varphi;$$

$$C = (\lambda_y^2-1)\cos^2\alpha \sin\varphi;$$

$$D = (\lambda_z^2-1)\sin^2\alpha \sin^2\varphi;$$

ρ_x – УЭС мерзлой породы в направлении оси X;

$\lambda_y = \sqrt{\frac{\rho_y}{\rho_x}}$ – коэффициент анизотропии мерзлой породы в направлении оси Y;

$\lambda_z = \sqrt{\frac{\rho_z}{\rho_x}}$ – коэффициент анизотропии мерзлой породы в направлении оси Z;

α – угол падения основной системы шлиров льда относительно дневной поверхности;

φ – угол между осью установки и простиранием основной системы шлиров льда;

β – угол прецессии.

2.22. Из выражения (8) следует, что величина $\rho_к$ на поверхности неравномерной, сетчато-слоистой среды с произвольным падением пропластков максимальной мощности, не зависит от типа измерительной установки. Выражение (8) является уравнением эллипса в неявной форме. Большая полуось этого эллипса направлена по простиранию прослоев льда максимальной мощности ($\varphi = 0^0$). При этом большая полуось равна:

$$\rho_к = \frac{\rho_x \lambda_y \lambda_z}{\sqrt{1+(\lambda_y^2-1)\sin^2\beta}}, \qquad (9)$$

и малая полуось ($\varphi = 90^0$)

$$\rho_к = \frac{\rho_x \lambda_y \lambda_z}{\sqrt{1+(\lambda^2-1)\cos^2\alpha+(\lambda_x^2-1)\sin^2\alpha}}. \qquad (10)$$

2.23. В мерзлых толщах с неравномерной сетчато-слоистой криогенной текстурой наиболее распространен случай, когда шлиры максимальной мощности располагаются параллельно дневной поверхности. В этом случае $\alpha = 0$ и $\beta = 0$ (ось установки совпадает с направлением ρ_x) и величина $\rho_к$ определяемая с помощью наземных методов, равна:

$$\rho_к = \frac{\rho_x \lambda_y \lambda_z}{\sqrt{1+(\lambda_y^2-1)\sin^2\varphi}}. \qquad (11)$$

Выражение (11) является уравнением эллипса, большая полуось которого ($\varphi = 0^0$) $\rho_к = \rho_x \lambda_y \lambda_z$ ориентирована по простиранию шлиров максимальной мощности (в данном случае по оси X), а малая полуось $\rho_к = \rho_x \lambda_z$ – перпендикулярно к ней ($\varphi = 90^0$).

При измерениях в скважинах, пробуренных нормально к земной поверхности, $\alpha = 90^0$ и $\varphi = 90^0$. В этом случае величина $\rho_к$ равна:

$$\rho_к = \rho_x \lambda_y. \qquad (12)$$

При измерениях на образцах мерзлых грунтов с неравномерно-сетчатой текстурой величина $\rho_к$ существенно зависит от размещения измерительных электродов относительно шлиров льда. Переход к величинам УЭС по направлениям, перпендикулярным простиранию различных шлировых систем, возможен, если известны углы α и φ.

2.24. Результаты теоретических расчетов, модельных экспериментов и натурных измерений позволяют сформулировать основные практические рекомендации по применению методов электроразведки для оценки инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов:

1) для количественной и качественной оценки инженерно-геологических характеристик массивов мерзлых грунтов необходимо использовать величины УЭС и коэффициенты анизотропии по различным направлениям, которые могут быть получены одновременно со структурными параметрами α и φ в результате интерпретации кривых $\rho_к$, выполненной с учетом способа и места измерений;

2) при наземных наблюдениях по характеру изменений величин $\rho_к$ могут быть определены величины:

УЭС грунтов, слагающих массив, если они обладают массивной или равномерно-сетчатой криогенной текстурой, а слои залегают параллельно земной поверхности;

среднего УЭС анизотропных грунтов в случае слоистых и сетчато-слоистых криогенных текстур, а при наклонно-слоистых или сетчато-слоистых криогенных текстурах может быть дополнительно определено и простирание основной системы шлиров льда;

3) при измерениях в скважинах по величинам $\rho_к$ могут быть определены УЭС мерзлых грунтов с массивной и равномерно-сетчатой криогенной текстурами. Полученные величины УЭС должны быть сопоставимыми с величинами УЭС, определяемыми с помощью наземных методов. В случае горизонтально-слоистых криогенных текстур по величинам $\rho_к$ может быть установлено продольное УЭС. Если мерзлые грунты обладают неравномерной сетчато-слоистой криогенной текстурой и основная система шлиров льда залегает горизонтально, то по величинам $\rho_к$ может быть установлено среднее УЭС анизотропной среды;

4) для того чтобы по значениям $\rho_к$ могли быть получены величины УЭС, ρ_m, ρ_t и λ необходимо применять способы измерений, позволяющие учесть влияние структурных факторов при наземных наблюдениях и измерениях на образцах и стенках обнажений. Такими способами являются ЭП и ВЭЗ МДС и круговые измерения $\rho_к$. При измерениях в скважинах размеры зондов должны быть достаточно большими с тем, чтобы обеспечить определение величины ρ_t мерзлых пород со слоистыми и сетчато-слоистыми криогенными текстурами;

5) характер зависимости величин УЭС, ρ_m и ρ_t от состава, строения и температуры мерзлых грунтов таков, что по ним могут быть установлены достаточно точно температура и льдистость, если известен литологический состав. Для определения указанных величин построены номограммы (прил. 3, 4, 5).

3. СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

3.1. Возможность использования сейсмоакустических методов для оценки инженерно-геологических характеристик базируется на резкой скоростной дифференциации мерзлых грунтов (в зависимости от литологического состава, льдистости, температуры и криогенного строения), которая значительно выше, чем в идентичных по составу талых грунтах.

3.2. Важным преимуществом сейсмоакустических методов по сравнению с другими геофизическими методами является наличие прямых связей между скоростными характеристиками грунтов с одной стороны, и с прочностными и деформационными – с другой.

3.3. Для перехода от сейсмических к инженерно-геологическим характеристикам необходимо иметь данные о температуре грунтов. Эти данные могут быть получены с помощью термометрии скважин, которая является обязательной частью комплекса сейсмоакустических исследований.

3.4. Рациональный комплекс разночастотных сейсмоакустических методов, позволяющий решать структурные задачи и одновременно получать исходные данные для оценки инженерно-геологических характеристик грунтов, включает сейсмические наблюдения на дневной поверхности корреляционным методом преломленных волн (КМПВ), сейсмический и ультразвуковой каротаж (УЗК), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) и ультразвуковые лабораторные методы.

3.5. При сейсмоакустических исследованиях изучаемые объемы грунтов могут изменяться в широких пределах в соответствии с базами наблюдений и частотами регистрируемых волн – от единиц до тысяч м^3 при наземных наблюдениях, и от единиц до десятков дм^3 при измерениях на образцах, поэтому при наземных наблюдениях чаще всего приходится иметь дело с неоднородными средами, при наблюдениях в горных выработках – с квазиоднородными, при лабораторных – с однородными.

3.6. В зависимости от сложности геосейсмического разреза, характера объекта, стадии изысканий и конкретных решаемых задач может применяться либо весь комплекс, либо его часть, исходя из физических возможностей каждого метода.

3.7. С помощью наземной сейсморазведки изучается строение массива, динамика сезонного промерзания и протаивания, определяются скорости распространения упругих волн, по

значениям которых можно вычислить упругие динамические модули, а также оценить изменение литологического состава, льдистости и температуры в плане.

3.8. УЗК обеспечивает расчленение разреза и получение истинных значений скоростей по стволу скважины с точностью достаточной для оценки литологического состава, прочностных характеристик и расчета упругих модулей выделяемых слоев грунта.

3.9. Ультразвуковые измерения на кернах (керноскопия) обеспечивают независимое получение тех же параметров, что и УЗК, и дают материал для непосредственного точного сопоставления инженерно-геологических и геофизических свойств.

3.10. ВСП позволяет, опираясь на данные УЗК и керноскопию, производить детальное расчленение оклоскважинного пространства по упругим свойствам.

3.11. Лабораторные ультразвуковые измерения служат для установления зависимостей между инженерно-геологическими и сейсмическими свойствами мерзлых грунтов. Эти зависимости используются для интерпретации данных наземных и скважинных сейсмоакустических методов.

3.12. Все виды сейсмоакустических исследований выполняются в соответствии с требованиями нормативных документов: "Инструкции по применению сейсморазведки в инженерных изысканиях для строительства" (РСН 47-77) и "Инструкции по применению коротажных методов при инженерных изысканиях для строительства" (РСН 46-79).

3.13. Основными параметрами, несущими информацию о составе, строении и температуре мерзлых грунтов, являются скорости распространения упругих волн: продольных v_p, поперечных v_s и поверхностных v_R.

Значения v_p могут быть всегда получены при любых видах сейсмоакустических исследований.

Для получения v_s необходимы ориентированные системы наблюдений при наземных видах наблюдений или специальные сдвиговые датчики при ультразвуковых наблюдениях.

Значения v_R определяются при всех видах исследований по методике профилирования.

3.14. Закономерности изменения сейсмических и инженерно-геологических характеристик грунтов могут быть экспериментально исследованы на объемных моделях с переменными параметрами. Параметры моделей должны определяться во всем диапазоне их изменения с достаточной точностью, а величину исследуемого сейсмического свойства – скорости распространения упругих волн – следует рассматривать как сложную функцию этих взаимосвязанных параметров и температуры. Такой подход обеспечивает наиболее общий характер получаемых зависимостей и дает возможность сопоставлять и анализировать всю совокупность измеряемых величин.

3.15. Экспериментальные исследования связей между составом, температурой и упругими свойствами производятся на модели, отвечающей равномерному распределению дисперсных частиц грунта в единичном объеме, частично или полностью заполненном незамерзшей водой и льдом (см. рисунок). Параметрами модели являются объемная влажность, пористость, степень заполнения пор водой и льдом, содержание незамерзшей воды и льда (фазовый состав), общая объемная масса и объемная масса скелета, а также изучаемые упругие свойства. Среди них — в первую очередь скорости распространения упругих волн, непосредственно используемые в сейсмической разведке, и особенно скорость продольных волн v_p, относительно просто определяемая как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Модель синтезирует два взаимосвязанных процесса: заполнение порового пространства водой и льдом до полного влагонасыщения и замещение минеральной части скелета модели соответствующим количеством льда при полном влагонасыщении.

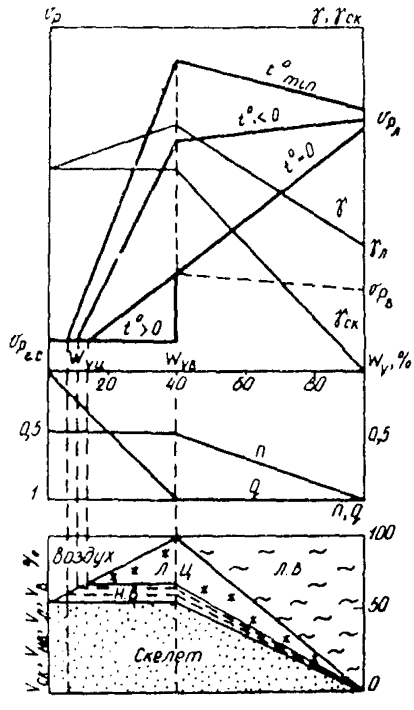


Схема изменения параметров модели мерзлого дисперсного грунта от объемной влажности W_y и температуры

При увеличении объемной влажности W_y от 0 до 100% параметры модели изменяются следующим образом. Величина пористости n, определяемая начальной упаковкой грунтовых частиц, при изменении W_y от 0 до полного влагонасыщения остается постоянной. При этом степень заполнения пор водой и льдом q возрастает от 0 до 1, объемная масса скелета $\gamma_{ск}$ не меняется, а общая объемная масса γ увеличивается за счет влагонасыщения. Дальнейшее увеличение W_y до 100% при $q = 1$ приводит к следующим предельным значениям параметров. $n \to 1$; $\gamma_{ск} \to 0$; $\gamma \to \gamma_л$. При изменении температуры в модели происходит перераспределение объемных составляющих незамерзшей воды и льда. На рисунке схематично показаны также вероятные пределы изменения скорости упругих волн при рас-

смотренных изменениях параметров модели.

Любое отклонение от рассмотренной идеализированной схемы изменения параметров при увеличении влажности мерзлого грунта, например, замещение минеральных зерен льдом при неполном влагонасыщении (защемленный льдом воздух), также может быть описано и графически представлено соответствующим изменением параметров модели по предлагаемому принципу.

3.16. Практически для каждого типа грунта модель может быть реализована в виде последовательного ряда образцов с заданным объемным соотношением компонентов. Параметры состава изменяются дискретно от образца к образцу. Количество образцов выбирается таким образом, чтобы с достаточной полнотой охарактеризовать весь диапазон изменения параметров.

3.17. Для некоторых разновидностей дисперсных грунтов, распространенных в северных районах Западной Сибири, построены обобщенные диаграммы в рамках описанной модели (прил.6,7,8). Обобщенные диаграммы могут быть практически использованы для определения состава грунта по известным значениям v_p и t°. При этом необходимо иметь в виду возможность неоднозначного решения, так как при определенных сочетаниях параметров различные по литологическому составу грунты могут характеризоваться одинаковыми значениями скорости. По известным параметрам состава и t° с помощью обобщенных диаграмм могут быть найдены значения v_p.

3.18. Экспериментальные исследования зависимостей между сопротивлением одноосному сжатию $\sigma_{вр}^{сж}$, v_p и t°, выполненные в рамках модели, описанной в п. 3.15, позволили установить следующие закономерности, присущие дисперсным грунтам, независимо от литологического состава:

1) совокупность экспериментальных точек в координатной плоскости "скорость – прочность" распадается на семейство кривых вида

$$\sigma_{вр}^{сж} = A v_p^2 - B v_p + C , \qquad (13)$$

где A, B, C – коэффициенты, зависящие только от температуры;

2) при фиксированной температуре изменение дисперсности грунтов от тонкой к грубой однозначно вызывает увеличение как скорости, так и прочности. То же наблюдается и при увеличении влажности.

3.19. На основании экспериментальных данных построена номограмма (прил. 9), позволяющая оценивать величину $\sigma_{вр}^{сж}$ для дисперсных грунтов и льда по известным значениям v_p и t°. Значения $\sigma_{вр}^{сж}$ соответствуют скорости нагружения образца 2 МПа/мин.

3.20. Значения динамических параметров — модуля упругости $E_д$ и коэффициента Пуассона $\mu_д$ определяются на основании известных формул теории упругости по найденным в результате полевых или лабораторных наблюдений значениям v_p и v_s. Входящие в формулы значения объемной массы γ определяются в лаборатории или снимаются в обобщенных диаграммах (прил. 6,7,8).

$$E_д = \frac{v_s^2 \gamma (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2}; \qquad (14)$$

или

$$E_д = \frac{v_p^2 \gamma (1+\mu_д)(1-2\mu_д)}{1-\mu_д}; \qquad (15)$$

$$\mu_д = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}. \qquad (16)$$

3.21. В тех случаях, когда регистрация v_s затруднена или невозможна, для вычисления динамических параметров вместо значений v_s могут быть использованы значения v_R. Эти величины связаны соотношением:

$$\left(2 - \frac{v_R^2}{v_s^2}\right) = 1\sqrt{\left(1 - \frac{v_R^2}{v_s^2}\right)\left(1 - \frac{v_R^2}{v_p^2}\right)}. \qquad (17)$$

Для сокращения времени расчета может быть использована номограмма, позволяющая определять значения $E_д$ и $\mu_д$ по величине отношения $\frac{v_p}{v_R}$ (прил. 10).

3.22. Связь между $E_д$ и E_c может быть приближенно оценена с помощью эмпирического выражения

$$E_c = 0{,}6 + 0{,}16 E_д + 0{,}01 E_д^2. \qquad (18)$$

3.23. Для оценки модуля деформации $E_{деф}$ по величине может быть использовано выражение

$$E_{деф} = \frac{v_p^2}{10^4}. \qquad (19)$$

3.24. Мерзлые дисперсные грунты обладают различной селективной способностью по отношению к колебаниям различных частот.

По результатам полевых и лабораторных исследований установлено, что в низкотемпературных грубодисперсных грунтах регистрируемые частоты значительно выше, чем в тонкодисперсных высокотемпературных.

Эти особенности следует учитывать при сейсмическом микрорайонировании территорий, сложными мерзлыми дисперсными грунтами.

4. РАДИОИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ

4.1. Наиболее совершенными из разработок по использованию радиоизотопов для оценки инженерно-геологических характеристик горных пород являются методы определения объемной массы и влажности в скважинах. До последнего времени основным способом определения этих параметров является отбор проб с последующим их обмером и взвешивание во влажном (исходном) и сухом состоянии. С применением радиоизотопных методов не просто ускоряется процесс измерения этих параметров, но коренным образом изменяется технология, резко повышается экономическая эффективность и информативность исследований. Основные достоинства этих методов сводятся к следующему:

измерения проводятся в поле, без отбора проб непосредственно в исследуемом массиве, результаты измерений становятся достоянием изыскателей также непосредственно в поле;

на показания радиоизотопных методов не влияют ни агрегатные состояния, ни консистенция, ни структура и текстура горных пород;

определяемый параметр осредняется по объему, составляющему 10—20 дм^3;

метод обладает высокой экономичностью (в 3—5 раз выше чем у термостатно-весового) и производительностью (2—3 мин на 1 измерение);

точность каждого замера контролируется непосредственно в ходе измерения или сразу по его окончании;

измерения могут выполняться в одной точке неограниченное число раз.

4.2. Для измерения объемной массы горных пород используется гамма-гамма-метод, основанный на существующей функциональной зависимости между объемной массой исследуемого вещества и интенсивностью рассеянных гамма-квантов от некоторого радиоактивного источника, в качестве которого чаще всего применяют кобальт-60 и цезий-137. Существование указанной функциональной зависимости обусловлено связью между количеством электронов в единичном объеме изучаемого вещества и его объемной массой.

4.3. Измерение объемной массы по гамма-гамма-методу сводится к измерению интенсивности отраженного гамма-излучения и делению на значение интенсивности, получаемое в контрольном устройстве, и определению искомого параметра по градуировочной характеристике прибора.

4.4. Нейтронный метод измерения влажности основан на эффекте замедления нейтронов на ядрах водорода. Поскольку замедляющая способность горных пород по отношению к быстрым нейтронам определяется в основном содержанием водорода, имеет место функциональная зависимость между интенсивностью замедленных нейтронов и влажностью. В случае, ес-

ли измеряется интенсивность медленных нейтронов, мы имеем дело с нейтрон-нейтронным методом; если же измеряется интенсивность захватного гамма-излучения, возникающего при поглощении медленных нейтронов скелетом породы, мы имеем дело с нейтрон-гамма методом. В качестве источников быстрых нейтронов чаще всего используются плутоний-бериллиевый, полоний-бериллиевый и плутоний-борный. Определение влажности в обоих случаях, как и при определении плотности, сводится в конечном итоге к снятию показаний с градуировочного графика.

4.5. Все виды радиоизотопных измерений проводятся в соответствии с "Методическими рекомендациями по определению показателей физико-механических свойств грунтов радиоизотопными методами".

5. ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЗЛЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

5.1. Задачами, стоящими перед комплексом геофизических методов являются:

изучение структуры массива с определением границ блоков, характеризующихся близким составом, строением, температурой и физико-механическими свойствами;

оценка степени неоднородности выделенных блоков и изучение изменения параметров грунтов в пределах каждого блока;

количественная оценка инженерно-геологических характеристик грунтов массива.

5.2. Ни один из геофизических методов в отдельности не решает этих задач целиком. Каждый из них обладает определенными разрешающими способностями, как с точки зрения объемов изучаемых грунтов и глубины исследования, так и с точки зрения возможности оценки инженерно-геологических характеристик, опирающейся на их связь с геофизическими свойствами. Только комплексное использование результатов применения различных методов может дать достаточно объективные ответы на большинство вопросов при изучении массивов мерзлых грунтов.

5.3. Особенности комплексирования геофизических методов связаны в первую очередь с задачами, стоящими перед каждым этапом исследований и возможностями решения этих задач применяемыми методами.

Задачей первого этапа исследований следует считать оценку структуры изучаемой площади. Ее решение должно позволить правильно распределить объемы дальнейших исследований, направленных на уточнение представлений как о плановом строении площади, так и о разрезе. Только после выполнения

этих работ на основании полученных сведений следует размещать горные выработки (скважины и при необходимости, определяемой техническим заданием, шурфы).

Задача следующего этапа состоит в детальном изучении разреза в точках заложения скважин.

Завершающей стадией исследований является распространение значений инженерно-геологических характеристик, определенных в скважинах, на изучаемый массив грунтов и его элементы.

5.4. В соответствии с указанной последовательностью выполняемых работ на первом этапе должны применяться наземные геофизические методы, в число которых входит электропрофилирование и сейсмическое профилирование. Выбор электроразведочных установок или систем наблюдения при сейсморазведке определяется на основании известных данных о строении площади и рекогносцировочных работ. Наблюдения следует выполнять по одним и тем же профилями с шагом, размеры которого зависят от масштаба исследований и предполагаемой неоднородности массива. Сеть наблюдений при этом должна в обязательном порядке закрепляться на местности для обеспечения возможности повторных измерений. К геофизическим профилям привязываются контуры площадной ландшафтной съемки участка. В силу особенностей электропрофилирования МДС, позволяющих по измерениям на одном профиле устанавливать простирание границ, возможно разрежение сети электроразведочных профилей по сравнению с сейсморазведочными. Вместе с тем результаты предварительной интерпретации геофизических наземных исследований могут подсказать необходимость детализации работ на отдельных участках сложного строения массива.

5.5. Интерпретация электроразведочных и сейсморазведочных данных первоначально выполняется раздельно. По данным электроразведки строятся геоэлектрические разрезы и планы простирания геоэлектрических границ по профилям, схема корреляции границ на плане участка и оценивается $\rho_к$ выделенных элементов разреза. Результаты сейсморазведки представляются в виде геосейсмических разрезов, где кроме глубины залегания преломляющих границ основной нагрузкой являются значения скоростей прямых волн в верхней части разреза и граничных скоростей продольных и поперечных волн вдоль преломляющих границ. Эти значения выносятся на план участка, и, по возможности, также строится корреляционная схема.

5.6. Совместное рассмотрение результатов электроразведочных и сейсморазведочных данных позволяет составить предварительное представление о строении участка в плане и частично по глубине, а также о некоторых инженерно-геологических характеристиках пород на изучаемой площади.

Основными особенностями геофизических работ, выпол-

няемых на этом этапе исследований, которые необходимо иметь ввиду как при проектировании работ, так и при интерпретации, являются следующие:

электроразведка позволяет с определенной точностью установить положение границ в плане и разрезе на глубину, зависящую от соотношения УЭС контактирующих пород и размеров и типов установок профилирования. Значения $\rho_к$ получаемые при ЭП не дают основания для количественной оценки инженерно-геологических характеристик грунтов. Вместе с тем некоторые предварительные данные качественного характера могут быть извлечены и из них;

данные наземной сейсморазведки, позволяющие с высокой точностью определять глубины залегания преломляющих границ, в ряде случаев обладают меньшей по сравнению с электроразведкой способностью к детализации разреза и выделения объектов малых размеров. В то же время, получаемые значения граничных скоростей могут быть использованы для количественной оценки инженерно-геологических характеристик пород преломляющего горизонта.

Электропрофилирование и сейсмопрофилирование дополняют друг друга и в процессе совместной комплексной интепретации позволяют предварительно оценить строение изучаемой территории в плане с точки зрения ее инженерно-геокриологических особенностей. В связи с тем, что границы мерзлых и талых пород являются наиболее контрастными границами как электрических, так и сейсмических свойств грунтов, максимум сведений о строении площади относится именно к ним.

5.7. Уточнение строения толщи по глубине, а также уточнение параметров грунтов разреза производится по данным ВЭЗ, точки которых выбираются на основании данных профилирования. В результате интерпретации кривых ВЭЗ КС или ВЭЗ МДС определяются элементы залегания пород с разными сопротивлениями и устанавливаются значения УЭС. По ним производится оценка льдистости и характера криотекстуры пород с помощью номограмм, представленных в прил. 3, 4, 5.

5.8. Совместное рассмотрение результатов электропрофилирования, сейсмопрофилирования и ВЭЗ дает возможность на каждом из профилей выделять элементы с близкими значениями скоростей и УЭС и соответственно близкими инженерно-геологическими характеристиками. Этими характеристиками будут являться литология, льдистость, криогенная текстура и температура. Пределы возможной неоднозначности оценки указанных параметров во многом сокращаются именно благодаря совместному рассмотрению результатов комплексных электроразведочных и сесморазведочных исследований.

5.9. На основании результатов наземных геофизических работ намечаются места заложения горных выработок, которые должны более точно охарактеризовать выделенные слои (бло-

ки). Выработки должны располагаться в центральной части блоков, а не в приконтактовых областях.

5.10. Отбор образцов керна для лабораторных анализов должен сопровождаться ультразвуковой керноскопией, поскольку данные керноскопии могут быть наиболее надежно сопоставлены с результатами анализов грунтов, относящихся к конкретным точкам массива. Кроме того, прозвучивание керна в различных направлениях позволяет в некоторой степени оценивать скоростную анизотропию грунтов. Измерения скорости должны производиться сразу же после извлечения керна из скважины, чтобы он не успел отеплиться. Отбираемый для анализа и прозвучивания образец должен быть однороден, в противном случае может оказаться, что данные керноскопии и лабораторного анализа будут характеризовать разные грунты.

5.11. Скважины, помимо получения необходимых инженерно-геологических параметров, определяемых инженерно-геологическими методами используются для выполнения геофизических исследований. Ими являются термометрия, УЗК, КС и радиоизотопный каротаж.

5.12. Помимо геофизических методов обязательным элементом скважинных исследований является термометрия. Она выполняется после некоторой выстойки скважины в течение времени, определяемого опытом. Для изучения динамики температурного поля термометрия проводится периодически через некоторые интервалы времени в зависимости от сезона наблюдений.

5.13. УЗК и КС желательно выполнять в сроки, близкие к проведению термометрии. Если термометрия и радиоизотопный каротаж могут выполняться в обсаженных скважинах, то УЗК и КС требуют отсутствия обсадки. Чтобы скважина не заполнялась водой, фильтрующейся из сезонно-талого слоя, необходимо задавливание кондуктора глубже границы максимального сезонного протаивания.

5.14. При УЗК определяются скорости продольных и поверхностных волн, на основании которых по исследованным зависимостям с учетом температуры грунтов оценивается их литологический состав, влажность, льдистость, объемная масса, $\sigma_{вр}^{ск}$, $E_{дин}$ и рассчитываются $E_д$ и $\mu_д$. По величине $E_д$ оценивается $E_с$. При бескерновом бурении данные УЗК являются основными для оценки литологического состава. Слабая зависимость скорости распространения упругих волн от влажности в интервале достаточно низких температур и в грубодисперсных породах не всегда позволяет выделить ледяные прослойки.

5.15. При электрокаротаже методом КС определяются $\rho_к$, приближающиеся по своему значению к ρ_t. На диаграммах электрокаротажа четко фиксируются участки повышенной льдистости и достаточно надежно выделяются отдельные про-

пластки льда, что невозможно по другим видам каротажа. Установленные зависимости сопротивлений от льдистости при различных температурах для различного типа криогенных текстур позволяют по значениям оценить льдистость пересеченных скважиной пород (прил. 3, 4, 5).

5.16. Результаты радиоизотопного каротажа, представляемые в виде диаграмм объемной массы и влажности, являются непосредственно инженерно-геологическими характеристиками и уточнению со стороны других видов каротажа практически не подвергаются. Следует иметь в виду, что получаемые величины характеризуют некоторый объем пород, значительно превышающий объем отобранных образцов. Поэтому влажность, оцененная с его помощью, часто отличается от данных лабораторных определений в сторону завышения.

5.17. Использование материалов комплексного геофизического изучения скважин позволяет достаточно обоснованно, объективно и подробно охарактеризовать инженерно-геологические параметры грунтов даже в тех случаях, когда скважина пройдена без отбора керна.

5.18. Общая схема комплексного использования данных различных каротажных методов сводится к следующему:

термометрия дает значения температуры, которые используются при интерпретации данных УЗК и КС;

с помощью УЗК оценивается литология и механические свойства грунтов, для чего нужны данные термометрии и радиоизотопного определения объемной массы, более точные, чем могут быть найдены по скоростям упругих волн;

КС позволяет оценить криогенное строение и льдистость, если известна температура и литология грунтов по данным УЗК, а также выделить в разрезе шлиры льда точнее, чем это позволяют другие виды каротажа.

5.19. При сопоставлении результатов интепретации каротажных данных с данными бурения и инженерно-геологического опробования скважин следует иметь в виду, что каротажные данные могут оказаться более объективными. Это связано с ошибками при визуальном описании керна и определения глубины границ и точек отбора образцов после извлечения керна из снаряда.

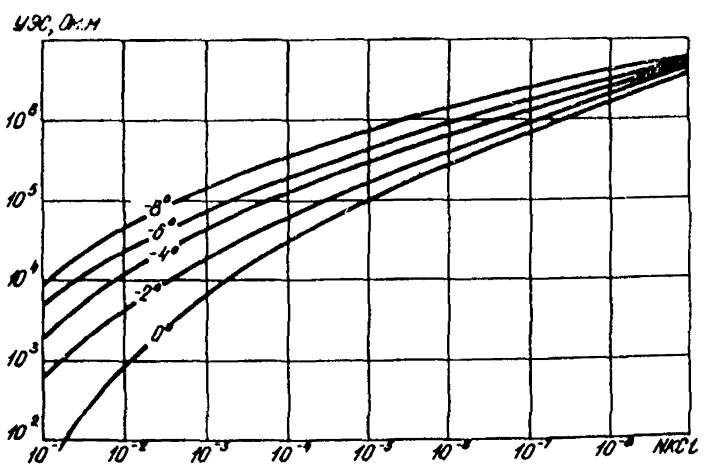
5.20. На последнем этапе исследований, задачей которого является распространение инженерно-геологических характеристик, полученных по разрезу скважины, на элементы изучаемого массива, используются результаты наземных наблюдений (в основном ВЭЗ), а также специально выполняемого ВСП, детальность выделения границ с помощью которого превышает возможности прочих методов.

Наиболее надежные данные ВСП могут быть получены при встречном сейсмическом просвечивании из двух скважин. Это

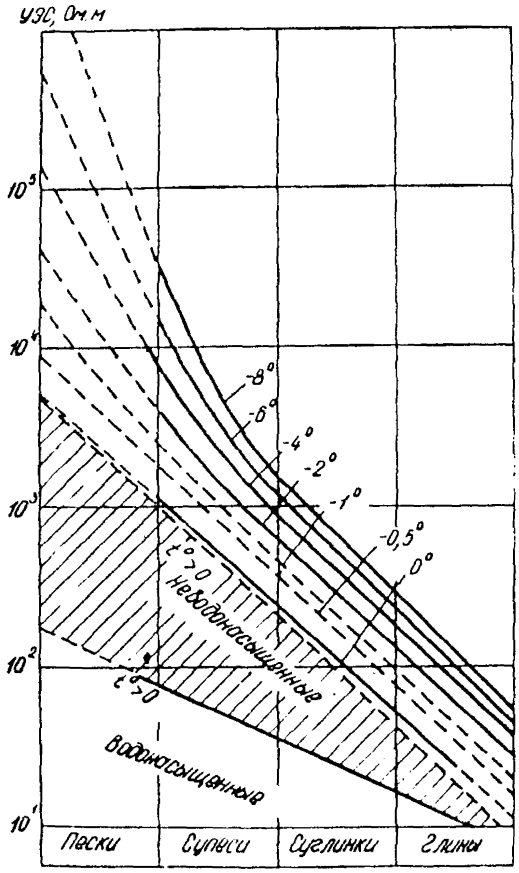
приобретает особое значение, когда между используемыми скважинами имеются негоризонтальные границы. Если среда, пересеченная скважиной, горизонтально-слоиста, то данные ВСП могут быть использованы для более точной оценки пластовых скоростей и, соответственно, для более точного определения инженерно-геологических параметров слоев.

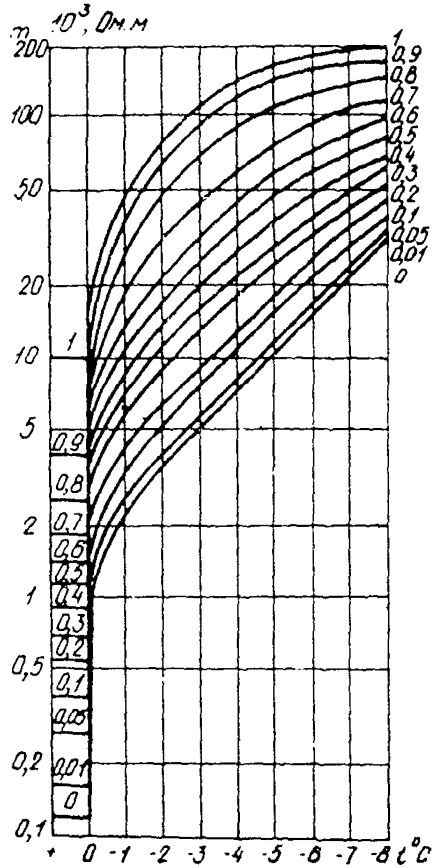
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

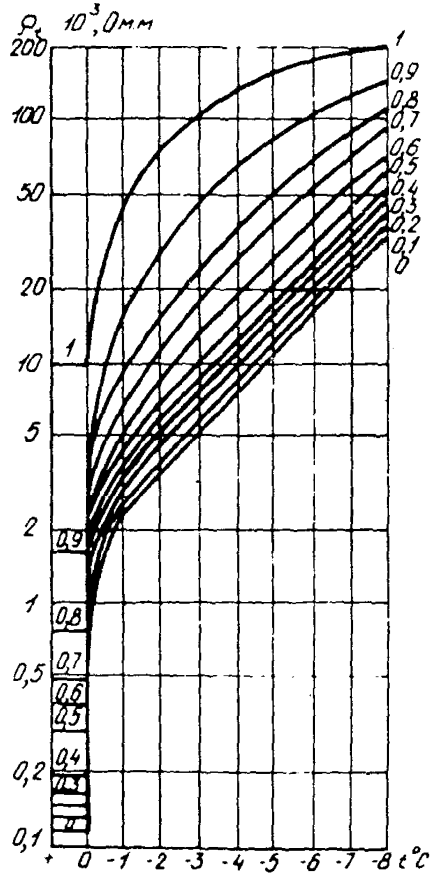
Зависимость УЭС льда от минерализации и температуры



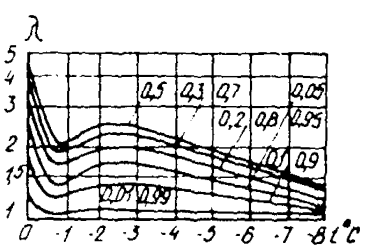
Зависимость УЭС дисперсных грунтов от литологического состава и температуры

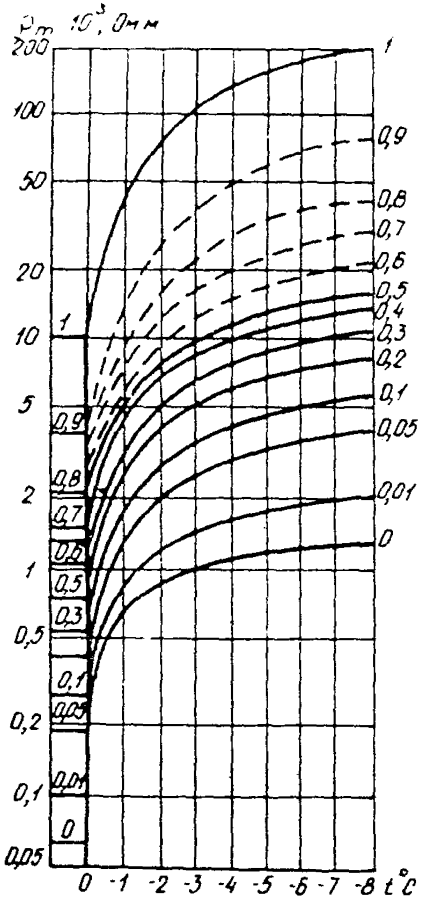


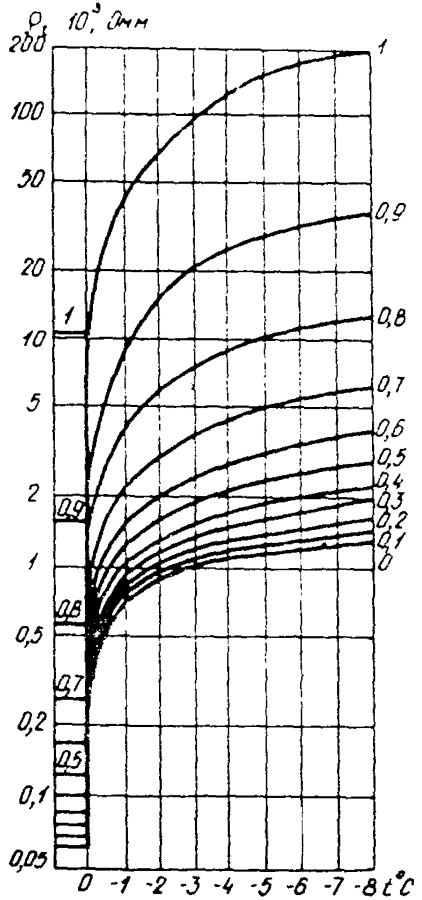




Номограммы для определения ρ_m, ρ_t и λ мерзлого песка с горизонтально-слоистой криогенной текстурой в зависимости от температуры. Параметр кривых — льдистость за счет шлировых льдовыделений $Л_в$



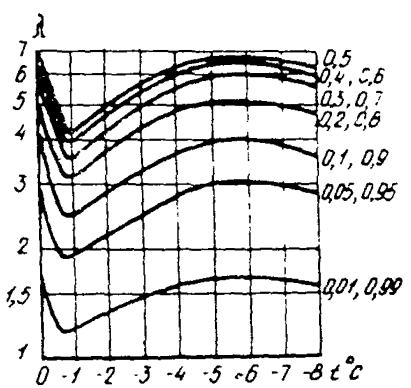




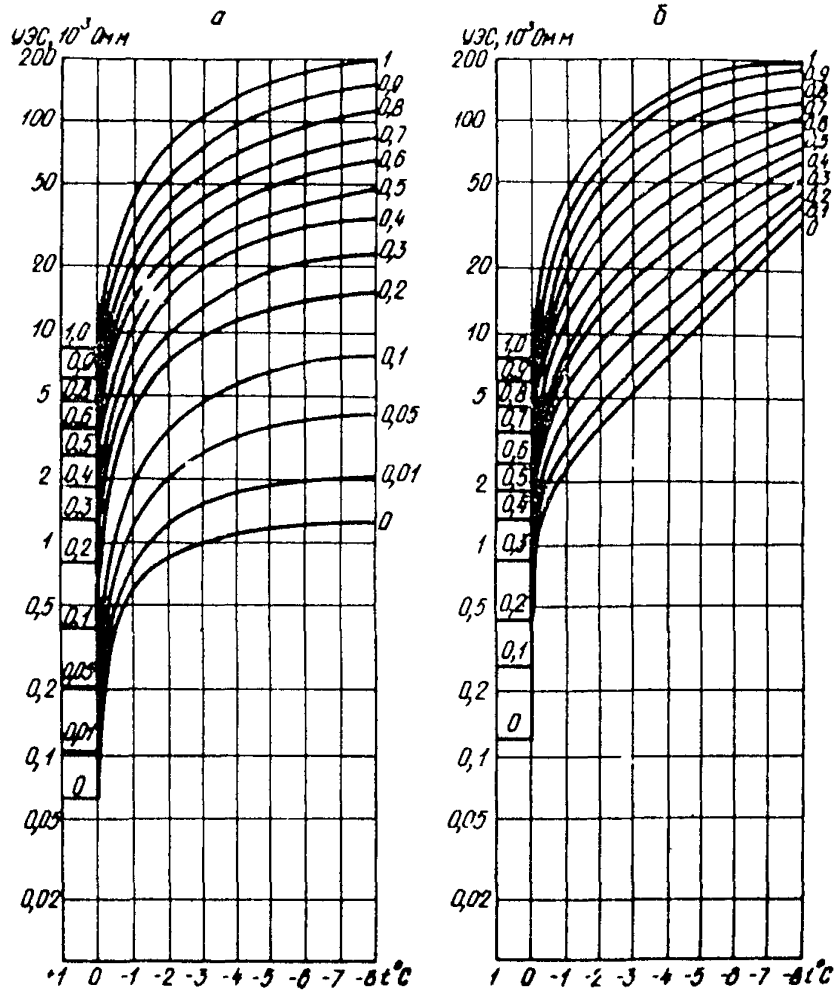
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Номограммы для определения ρ_m, ρ_t и λ мерзлых супесей и суглинков с горизонтально-слоистой криогенной текстурой в зависимости от температуры.

Параметр кривых — льдистость за счет шлировых льдовыделений

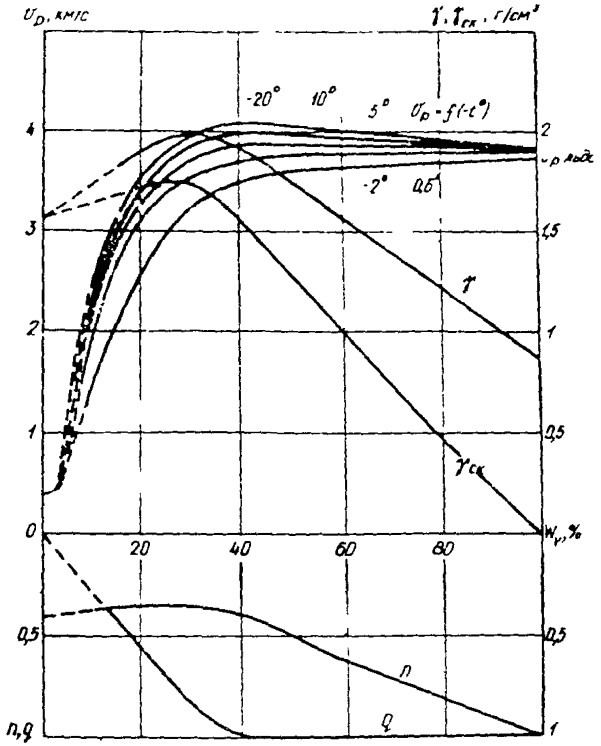


Номограммы для определения УЭС мерзлых супесей и суглинков (*а*) и песков (*б*) с равномерно-сетчатой криогенной текстурой в зависимости от температуры. Параметр кривых – льдистость за счет шлировых льдовыделений $\Lambda_ш$



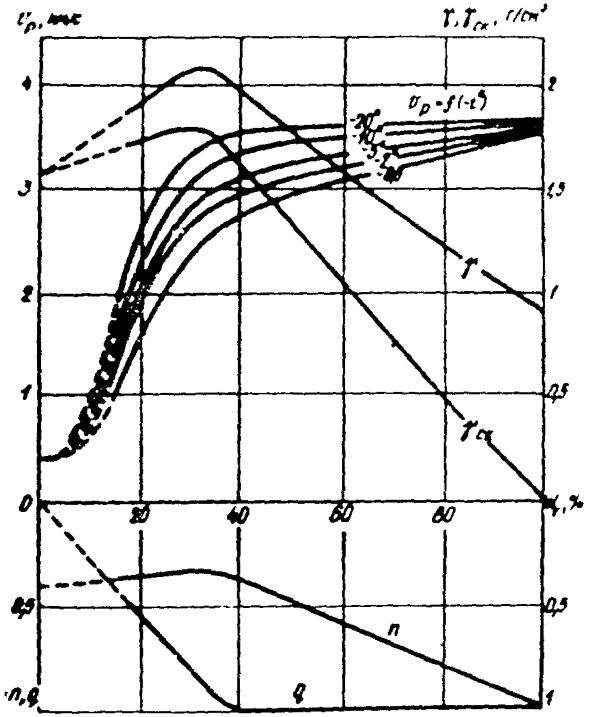
ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Обобщенная диаграмма зависимости v_p от параметров состава и температуры для мерзлых песков



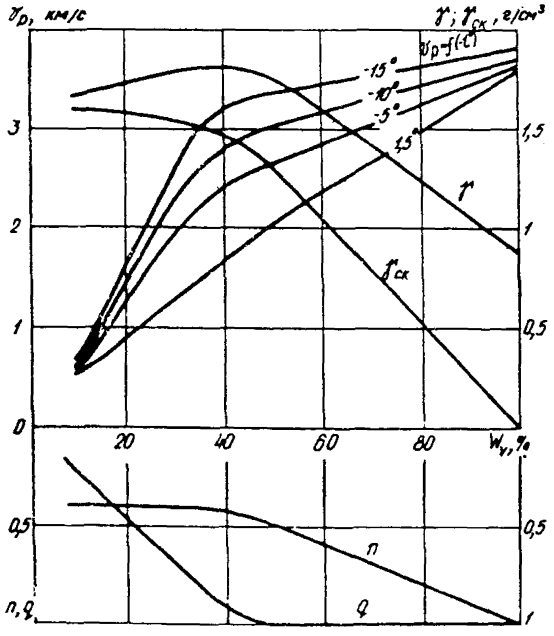
ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Обобщенная диаграмма зависимости v_p от параметров состава и температуры для мерзлых суглинков



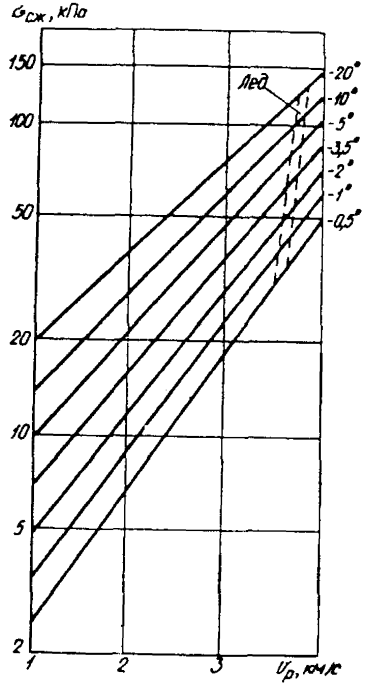
ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Обобщенная диаграмма зависимости v_p от параметров состава и температуры для мерзлых глин



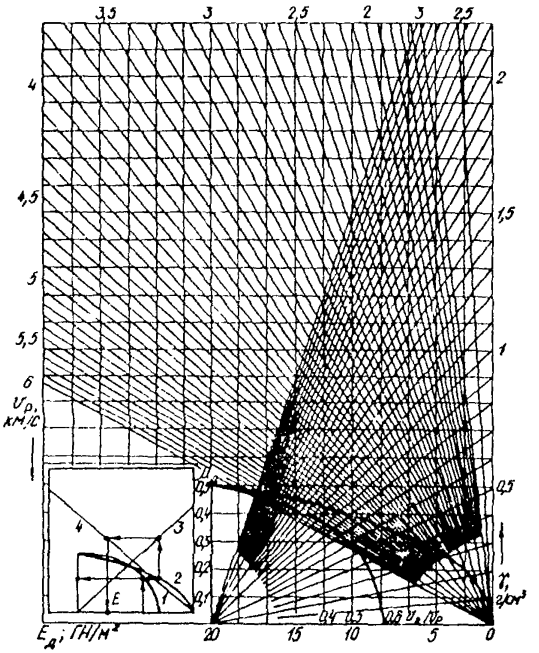
ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Номограмма для определения $\sigma_{сж}$ по значениям v_p и температуре



ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Номограмма для определения $E_д$ и $\mu_д$ по значениям v_R/v_p



gost.e-ecolog.ru