Система нормативных документов в строительстве

СВОД ПРАВИЛ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

СП 11-105-97

Часть VI. Правила производства геофизических исследований

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
(ГОССТРОЙ РОССИИ)

Москва

gost.e-ecolog.ru

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований» /Госстрой России. — М.: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя России, 2004. — 50 с.

ПРЕДИСЛОВИЕ

РАЗРАБОТАН Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ФГУП «ПНИИИС») Госстроя России при участии Геологического факультета МГУ, ФГУП «Противокарстовая и береговая защита», МГСУ, ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева», «ИМЦ Стройизыскания», Объединенным научным Советом по криологии Земли РАН, ЗАО «Геологоразведка».

ВНЕСЕН ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России.

ОДОБРЕН Управлением стандартизации, технического нормирования и сертификации Госстроя России (письмо от 17.02.2004 г. № 9-20/112).

ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ с 1 июля 2004 г. впервые.

ISBN 5-88111-090-0

© ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

1. Область применения ... 1
2. Нормативные ссылки ... 1
3. Термины и определения ... 2
4. Общие положения ... 2
5. Методы геофизических исследований ... 4
5.1. Электромагнитные методы ... 4
5.2. Сейсмоакустические методы ... 8
5.3. Магниторазведочные методы ... 11
5.4. Гравиразведочные методы ... 12
5.5. Ядерно-физические методы ... 12
5.6. Газово-эманационные методы ... 13
5.7. Термометрия ... 13
5.8. Сопутствующие методы ... 14
6. Инженерно-геологические задачи и геофизические методы их решения ... 14
6.1. Изучение в плане и разрезе положения геологических границ ... 14
6.2. Изучение состава, строения, состояния и свойств грунтов ... 16
6.3. Изучение геологических и инженерно-геологических процессов ... 18
6.4. Сейсмическое микрорайонирование ... 19
7. Состав геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях ... 19
8. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях для разработки предпроектной документации ... 22
9. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях для разработки проекта ... 23
10. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях для разработки рабочей документации ... 24
11. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях в период строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений ... 25
Приложение А. Термины и определения ... 28
Приложение Б. Объемы геофизических работ при решении основных инженерно-геологических задач ... 29
Приложение В. Сокращенные названия геофизических методов ... 30
Приложение Г. Краткая характеристика геофизических методов, используемых при инженерных изысканиях ... 32
Приложение Д. Инженерно-геологические задачи и геофизические методы их решения ... 36
Приложение Е. Определение инженерно-геологических характеристик грунтов по результатам геофизических исследований ... 39
Приложение Ж. Зависимость удельных электрических сопротивлений (УЭС) от состава грунта ... 42
Приложение И. Зависимость скорости продольных волн (V_p) от литологического состава и влажности для мерзлых грунтов при $t = -1$ °С ... 43
Приложение К. Определение минерализации подземных вод (а) и засоленности мерзлых (б) и талых (в) дисперсных грунтов по данным электрометрии ... 44
Приложение Л. Зависимость скорости продольных волн от объемной влажности (а) и льдистости (б) мерзлых суглинисто-глинистых грунтов ... 45
Приложение М. Оценка прочности при одноосном сжатии ($\sigma_{сж}$) мерзлых грунтов по значениям скоростей продольных волн ... 46
Приложение Н. Номограммы для оценки криогенного строения мерзлых суглинков при $t = -1$ °С по данным ультразвуковых (а) и электрических (б) измерений ... 47
Приложение П. Глубинность электроразведки методом сопротивлений для симметричных (AMNB), трехэлектродных (AMNC→∞) и дипольных (ABMN) установок при контрастности разрезов $M_2 > 10$ ... 48
Приложение Р. Зависимость глубины радиолокационного зондирования локальных (а) и линейных (б) объектов в глинах с низкой влажностью от энергетического потенциала E* радара ... 49

ВВЕДЕНИЕ

Свод правил по инженерно-геологическим изысканиям для строительства (Часть VI. «Правила производства геофизических исследований») разработан в развитие обязательных положений и требований СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Свод правил дополняет серию документов СП 11-105 — «Инженерно-геологические изыскания для строительства» (Части I—V).

Согласно СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» настоящий документ является федеральным нормативным документом Системы и устанавливает общие технические требования и правила, состав и объем геофизических исследований, выполняемых в составе инженерно-геологических изысканий на соответствующих этапах (стадиях) освоения и использования территорий: разработка предпроектной и проектной документации, строительство (реконструкция), эксплуатация и ликвидация (консервация) предприятий, зданий и сооружений.

Настоящий Свод правил является первым специализированным документом федерального уровня, регламентирующим правила производства геофизических исследований, выполняемых в составе инженерно-геологических изысканий. В связи с этим в документе сформулированы инженерно-геологические задачи, решаемые геофизическими методами (раздел 6) и приведены сведения справочного характера о физических основах методов (раздел 5), необходимые главным образом инженерам-геологам и проектировщикам, участвующим в составлении заданий для геофизических исследований.

СВОД ПРАВИЛ
CODE OF PRACTICE

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ENGINEERING GEOLOGICAL SITE INVESTIGATIONS FOR CONSTRUCTION

Дата введения 2004-07-01

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий Свод правил устанавливает основные технические требования и правила производства геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях для строительства, обеспечивающие выполнение обязательных требований, предусмотренных СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» и СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». Часть I.

Настоящий документ устанавливает состав и методы производства геофизических исследований, апробированные при инженерно-геологических изысканиях в различных инженерно-геологических условиях, в том числе на территориях распространения специфических грунтов и развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов, и предназначен для применения юридическими и физическими лицами, осуществляющими деятельность в области инженерных изысканий для строительства на территории Российской Федерации.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем Своде правил приведены ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП 2.01.15-90 «Инженерная защита территорий зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования».

СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения».

СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

СНиП 22.01-95 «Геофизика опасных природных воздействий».

СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах».

ГОСТ 8.002—86* «ГСИ. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения».

ГОСТ 8.326—89 «ГСИ. Метрологическое обеспечение разработки, изготовления и эксплуатации нестандартизированных средств измерения. Общие положения».

ГОСТ 9.602—89* «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии».

ГОСТ 12.0.001—82* «ССБТ. Система стандартов по безопасности труда. Основные положения».

ГОСТ 17624—87 «Бетоны. Ультразвуковые методы определения прочности».

ГОСТ 20522—96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

ГОСТ 21.302—96 «Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям».

ГОСТ 23061—90 «Грунты. Методы радиоизотопных измерений плотности и влажности».

ГОСТ 25260—82* «Породы горные. Метод полевого испытания пенетрационным каротажем».

ГОСТ 25358—82 «Метод полевого определения температуры».

СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».

СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».

СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила

Издание официальное

производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов».

СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов».

СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями».

СП 11-108-98 «Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод».

СП 11-109 98 «Изыскания грунтовых строительных материалов».

РСН 60-86 «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ».

РСН 64-87 «Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка».

РСН 65-87 «Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсмическое микрорайонирование».

РСН 66-87 «Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка».

РСН 75-90 «Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Каротажные методы».

РД 153-39.4Р-128-2002 (ВСН) «Инженерные изыскания для строительства магистральных нефтепроводов».

«Инструкция по гравиметрической разведке». — М.: Недра, 1975.

«Инструкция по магниторазведке». — М.: Недра, 1984.

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1. Термины с соответствующими определениями, использованные в настоящем Своде правил, приведены в приложении А*.

4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях являются самостоятельным видом работ согласно п. 5.1 СП 11-105-97 (часть I). В соответствии с п. 5.7 СП 11-105-97 (часть I) они выполняются на всех стадиях (этапах) проектирования в сочетании с другими видами инженерно-геологических работ с целью:

определения геологического строения массива горных пород;

выявления тектонических нарушений, в том числе активных, зон повышенной трещиноватости и обводненности;

определения глубины залегания уровня подземных вод, водоупоров, направления движения потоков подземных вод, а также гидрогеологических параметров грунтов и водоносных горизонтов;

определения состава, состояния и свойств грунтов в массиве и их изменений во времени;

выявления и изучения геологических процессов и их изменений во времени;

проведения мониторинга опасных геологических и инженерно-геологических процессов;

сейсмического микрорайонирования территории.

4.2. При изысканиях для разработки предпроектной документации на больших площадях (трассах значительной протяженности), в районах с развитием опасных инженерно-геологических процессов и в особых условиях (шельф, подрабатываемые и урбанизированные территории), а также при мониторинге возможных изменений геологической, геокриологической и экологической обстановки геофизические исследования рекомендуется выполнять в составе первоочередных работ.

4.3. Геофизические исследования обладают рядом особенностей, выделяющих их среди других видов инженерно-геологических исследований:

получаемая с их помощью информация носит интегральный характер, т.е. относится к определенному объему (а не к «точке») пород;

геофизические методы позволяют прослеживать геологические границы непрерывно;

в ряде случаев информация о характеристиках массива может быть получена преимущественно с помощью геофизических методов (например, оценка неоднородности массива, определение динамических модулей упругости);

геофизические исследования в большинстве случаев проводятся без нарушения сплошности изучаемой геологической среды и могут выполняться многократно (с любой заданной периодичностью) без изменения условий наблюдения, что позволяет эффективно использовать их для проверки получаемой информации и проведения мониторинга изменений геологической среды;

* Здесь и далее в тексте при ссылках на пункты и разделы, таблицы и приложения имеется в виду настоящий Свод правил

геофизические наблюдения позволяют оценивать состояние пород и локализовать участки прогнозируемого его изменения (например, напряжение, сплошность, влажность и пр.);

геофизические исследования позволяют производить дистанционные наблюдения, в том числе в процессе мониторинга;

геофизические исследования по стоимости и срокам выполнения во многих случаях предпочтительнее горнопроходческих, полевых опытных и других видов изысканий, особенно на стадии обоснования инвестиций.

4.4. Необходимым условием применения любого геофизического метода является наличие дифференциации исследуемых сред по физическим свойствам, достаточной для ее установления с помощью имеющихся технических средств.

4.5. Геофизические методы должны быть обеспечены:

соответствующей аппаратурой, точность которой должна обеспечивать решение поставленной задачи, с полным комплектом необходимого оборудования;

корректными системами наблюдений в различных условиях проведения исследований;

надежными способами интерпретации результатов измерений.

4.6. Геофизические методы по изучаемым физическим полям и их природе, а также свойствам грунтов подразделяются на:

электромагнитные;
сейсмоакустические;
магнитометрические;
гравиметрические;
ядерно-физические;
газово-эманационные;
термометрические.

4.7. Геофизические методы по технологиям (виду) наблюдений подразделяются на:

аэрокосмические или дистанционные;
наземные;
акваториальные;
скважинные;
подземные;
лабораторные;
смешанных технологий.

4.8. Сокращенные названия геофизических методов, используемые в настоящем документе, приведены в приложении Б. Методы геофизических исследований и краткая характеристика геофизических методов приведены в приложениях В и Г.

4.9. В тех случаях, когда поставленная инженерно-геологическая задача (п. 4.1) не может быть однозначно решена одним из геофизических методов или ее решение требует дополнительной проверки, следует использовать комплекс геофизических методов, включающий 1—2 основных метода и вспомогательные методы, выбираемые по результатам работ, использующих основные методы (приложение Д).

Основными являются методы, которые могут решать задачу самостоятельно и основаны на существенном различии контактирующих пород по свойствам, определяющим структуру и интенсивность исследуемого поля.

Вспомогательные методы, как правило, не решают задачи самостоятельно, а применяются для уточнения решений, найденных с помощью основных методов. Их применяют для уточнения природы геофизических аномалий, детализации геометрии геологических объектов, получения дополнительных характеристик изучаемой среды.

4.10. Основными показателями, которые влияют па выбор рационального комплекса методов, являются:

информативность метода по отношению к решаемой задаче в конкретных инженерно-геологических условиях;

стоимость работ, выполняемых данным методом, и его производительность, определяющая сроки работ;

количество обслуживающего персонала;

трудоемкость и сложность обработки результатов наблюдений.

4.11. Программа геофизических исследований, являющаяся составной частью программы инженерно-геологических изысканий, разрабатывается на основании технического задания заказчика с учетом собранных материалов по геофизической изученности территории, а также материалов инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий прошлых лет, выполненных на исследуемой территории, или в аналогичных условиях на прилегающих участках (территориях).

При разработке программы геофизических исследований формируется априорная физико-геологическая модель исследуемой территории, в соответствии с которой и с учетом категории сложности инженерно-геологических условий (приложение Б СП 11-105-97 (часть I)), а также в соответствии с приложениями Б и Д намечаются состав, объем, методика и технология геофизических исследований.

В случае, когда геофизические исследования проводятся как отдельный самостоятельный вид работ, программа составляется только на геофизические работы и исследования.

4.12. Программа геофизических исследований должна быть увязана по задачам, срокам и объемам с программами других видов изыска-

ний во избежание дублирования или для экономии времени и средств на производство изыскательских работ.

4.13. При производстве геофизических исследований необходимо соблюдать технические требования, изложенные в нормативных документах: РСН 64-87 для электроразведки, РСН 66-87 для сейсморазведки, РСН 75-90 для каротажных работ, «Инструкции по гравиметрической разведке», «Технической инструкции по магнитной разведке».

4.14. Средства измерений, используемые для выполнения геофизических исследований, на основании закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» должны быть аттестованы и поверены в соответствии с требованиями нормативных документов Госстандарта России (ГОСТ 8.002*, ГОСТ 8.326 и др.).

Организации, выполняющие геофизические исследования, должны вести учет средств измерений, подлежащих поверке в установленном порядке.

4.15. При выполнении геофизических работ должны соблюдаться требования нормативных документов по охране труда, об условиях соблюдения пожарной безопасности и охране окружающей природной среды (ГОСТ 12.0.001* и др.).

5. МЕТОДЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Электромагнитные методы

5.1.1. Электромагнитные методы, основанные на изучении естественных и искусственно создаваемых электромагнитных полей различного происхождения, включают методы естественного электромагнитного поля, методы постоянного (или низкочастотного) тока и методы переменных электромагнитных полей

Методы естественного электромагнитного поля

5.1.2. *Методы естественного электрического поля* (методы ЕП) электрохимического и электрокинетического происхождения основаны на связи электропотенциалов этих полей с направлением и интенсивностью соответствующих процессов. На изучении полей электрохимического происхождения основаны способы обнаружения и локализации в пространстве мест коррозии металлических конструкций или их элементов, а также мест окислительно-восстановительных реакций, протекающих в породах. На изучении полей электрокинетического происхождения, обусловленных диффузионно-адсорбционными и фильтрационными процессами в породах, основаны способы обнаружения мест питания, фильтрации и разгрузки естественных и техногенных вод.

В методе ЕП применяются два способа наблюдений: способ потенциала, когда на каждой точке измеряют потенциал по отношению к какой-либо общей точке профиля или площадки, и способ градиента потенциала, при котором измеряется разность потенциала между соседними точками. Интерпретация, как правило, выполняется на качественном уровне.

Каротаж потенциалов собственной поляризации (ПС), изучающий поля той же природы, позволяет выделять сухие и водоносные пласты, зоны минерализации и т.п.

5.1.3. *Метод естественного импульсного электромагнитного поля* (ЕИЭМПЗ) основан на возникновении локальных электромагнитных полей при механо-электрических преобразованиях горных пород под воздействием механических нагрузок. Частота электромагнитных импульсов является индикатором процессов деформации в скрытой стадии их развития, позволяя локализовать места подготавливаемых нарушений сплошности.

Методы постоянного (низкочастотного) тока

5.1.4. *Методы сопротивления* основаны на изучении поля, создаваемого в массиве искусственными источниками постоянного или низкочастотного переменного тока, пропускаемого между питающими электродами — заземлениями. Измеряется сила этого тока и напряжение между приемными электродами, по значениям которых с учетом геометрического коэффициента установки рассчитывается кажущееся сопротивление ($\rho_к$), являющееся параметром электрического поля, косвенно характеризующим истинные электрические параметры геологической среды. При этом увеличение геометрических размеров установок ведет к увеличению глубинности исследований.

При измерениях напряжения электрического поля в различных азимутах возможно изучение пространственной структуры грунтового массива. Методами, использующими эту возможность, являются: метод двух составляющих (МДС), метод векторных измерений электрического поля (ВИЭП), круговые наблюдения.

Основными используемыми модификациями метода сопротивления являются электропрофилирование (ЭП) и вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), выполняемые различными установками. Глубинность метода сопротивления оценивается по приложению П.

5.1.5. Электропрофилирование (ЭП) выполняется путем производства измерений с помощью неизменяемой установки с выбранным шагом по профилю.

Электропрофилирование может выполняться в различных модификациях, имеющих свои преимущества и недостатки в зависимости от стоящих задач и условий их решения: симметричное четырехэлектродное (СЭП), двухстороннее трехэлектродное — комбинированное (КЭП), дипольное двухстороннее (ДЭП). Все эти модификации могут быть использованы в варианте двух составляющих (ЭП МДС). Одновременное использование нескольких разносов позволяет производить исследования на нескольких уровнях глубин. Чаще всего применяется двухразносное электропрофилирование.

Первичным результатом ЭП являются графики кажущегося электрического сопротивления ($\rho_к$) вдоль профиля наблюдений.

Интерпретация результатов ЭП дает возможность определения положения в плане границ пород, имеющих разное удельное электрическое сопротивление (УЭС).

При использовании ЭП в модификации МДС возможна оценка азимута простирания изучаемых границ, а в благоприятных условиях и глубины их залегания по профилю. В методе ВИЭП предметом исследований в первую очередь является определение местоположения объекта, создающего аномалию.

5.1.6. *Вертикальное электрическое зондирование* (ВЭЗ) выполняется путем производства измерений кажущихся сопротивлений $\rho_к$ при изменяющихся линейных размерах измерительной установки. Результатом являются кривые ВЭЗ, представляющие собой графики зависимости $\rho_к$ от действующего расстояния измерительной установки (разноса — r). ВЭЗ, выполняемые в нескольких азимутах при неизменном положении центра, носят название круговых ВЭЗ (КВЭЗ). При использовании дипольных измерительных установок метод имеет название дипольного электрического зондирования (ДЭЗ).

Вертикальные электрические зондирования выполняются как в отдельных точках или по профилям, так и по площади на поверхности суши или на акваториях. Глубинность исследований и разрешающая способность метода зависят от соотношения сопротивлений пород на их границах и от размеров измерительной установки.

Интерпретация кривых ВЭЗ, выполняемая различными способами (палеточным, методом подбора, с помощью различных компьютерных программ, методом особых точек), позволяет определять УЭС пород и положение в пространстве границ пород.

По значениям УЭС, используя установленные связи и зависимости, возможна оценка параметров состава пород, их строения, состояния и свойств.

5.1.7. В *модификации двух составляющих метода* ВЭЗ (ВЭЗ МДС), используемого для получения информации о горизонтально неоднородных геоэлектрических массивах, кроме традиционных измерений $\rho_к$ производят измерения разности потенциалов в приемной линии, расположенной перпендикулярно основной измерительной установке.

Интерпретация кривых ВЭЗ МДС производится с помощью специальных номограмм и позволяет определять не только УЭС, мощность и глубину залегания геоэлектрических границ, но элементы их залегания.

5.1.8 *Бесконтактное электрическое зондирование*, выполняемое на низких частотах с применением специальных емкостных электродов, используется в условиях, где осуществление заземления затруднено (при работах зимой, на скальных породах, твердых покрытиях). В этой модификации ВЭЗ применяется установка точечного зондирования, в которой фиксируется положение одного питающего электрода (второй располагается в «бесконечности»), а приемный диполь перемещается. При профильных наблюдениях, когда соседние установки перекрывают разносами друг друга, точечные зондирования пересчитываются (трансформируются) в трехэлектродные и интерпретируются обычным способом.

5.1.9. *Электрическая томография*, являющаяся модификацией метода ВЭЗ с использованием многоканальных (многоэлектродных) установок, применяется при детальных исследованиях двумерно неоднородных разрезов. В этой модификации ВЭЗ вдоль профиля наблюдений устанавливается набор электродов, расположенных на равных расстояниях. При этом электроды многократно используются в качестве как приемных, так и питающих.

Обработка и интерпретация данных электрической томографии ведется с помощью специального программного обеспечения.

5.1.10. *Каротаж сопротивлений* (КС) выполняется путем производства измерений силы тока в питающей и напряжения в приемной линиях и вычисления кажущихся сопротивлений $\rho_к$ пород при перемещении измерительной установки (зонда) вдоль скважины.

Обязательным условием выполнения каротажа методом КС является отсутствие обсадных металлических труб. Контакт питающих и приемных электродов с грунтом (стенкой скважины) осуществляется либо через жидкость, за-

полняющую ствол скважины, либо (в сухих скважинах) путем специального прижима электродов к стенке. При работах в скважинах, заполненных водой, измерения могут выполняться непрерывно в процессе перемещения (поднятия или опускания) зонда, в сухих скважинах измерения выполняются в точечном режиме. Результатом каротажа являются каротажные диаграммы (графики зависимости $\rho_к$ от глубины). При интерпретации каротажных диаграмм определяется положение границ пород, пересекаемых скважиной, и их *УЭС*.

5.1.11. *Боковое каротажное зондирование* (БКЗ) выполняется путем определения $\rho_к$ в исследуемых точках скважины при использовании набора зондов различного размера. В результате количественно характеризуется геоэлектрическое строение околоскважинного пространства на различных расстояниях от ствола скважины. Это позволяет судить о глубине проникновения в породы бурового раствора и удельных сопротивлениях пород, вскрытых скважиной.

5.1.12. *Токовый каротаж* выполняется в сухих скважинах путем измерения силы тока в питающей цепи при перемещении зонда. При этом оценивается положение границ пород, обеспечивающих различные условия заземления питающего электрода и, соответственно, сила тока.

Модификацией токового каротажа является *электродинамическое зондирование* (ЭДЗ), которое совмещает токовый каротаж с динамическим зондированием. Оба метода исследования выполняются одновременно единым измерительным зондом — скважинным снарядом.

5.1.13. *Резистивиметрия* (Рез) является методом определения УЭС среды (грунта или жидкости), помещаемой в специальную форму (резистивиметр), содержащую в конструкции питающие и приемные электроды, путем измерения силы тока и напряжения. Возможны варианты измерений при помещении и перемещении резистивиметра в исследуемом водоеме или стволе скважины. По измеренному значению УЭС и имеющимся корреляционным связям его с параметрами состава пород, минерализацией жидкости оцениваются эти характеристики, обнаруживаются участки изменения минерализации воды в исследуемом водоеме или скважине, свидетельствующие о разгрузке подземных или поглощении поверхностных вод, а также о наличии источников загрязнения.

5.1.14. *Метод заряженного тела* (МЗТ) позволяет изучать распределение потенциала или градиента потенциала на поверхности земли, создаваемого искусственным источником тока, расположенным в заряжаемом теле, находящемся в скважине. В зависимости от задач и, соответственно, модификации метода заряжаемым телом может служить либо опускаемый в скважину мешочек с солью, создающий при растворении электролит, обладающий повышенной электропроводностью (гидрогеологический вариант), либо вскрытый скважиной проводник, такой, как руда, металлическая конструкция (так называемый «рудный вариант»). Изучение эквипотенциальных линий на поверхности земли позволяет судить в первом случае о направлении и скорости фильтрации подземных вод, во втором — о протяженности и конфигурации исследуемого проводящего объекта.

Метод вызванной поляризации

5.1.15. *Метод вызванной поляризации* (ВП) выполняется путем изучения вторичного электрического поля, обусловленного электрохимическими и электрокинетическими процессами, возникающими при пропускании тока в горных породах, содержащих минералы с электронным типом проводимости и внутрипоровую влагу. Интенсивность процесса ВП — поляризуемость (η) определяется с использованием трех основных способов измерения.

Измерение ВП *во временной области* (или в импульсном режиме) основано на регистрации разности потенциалов в приемной линии во время и через определенное время после выключения прямоугольного импульса тока в питающей линии. Изучаемая кажущаяся поляризуемость ($\eta_к$) вычисляется как отношение вызванной поляризации через фиксированное время после отключения питающего тока ($\Delta U_{вп}$) к напряжению возбуждающего тока (ΔU).

Амплитудно-частотные измерения поляризуемости основаны на изучении поля при пропускании в питающих линиях переменного тока двух различных частот. Параметр поляризуемости (*PFE*) вычисляется как отношение разности эффекта на низких и высоких частотах к электрическому полю на низкой частоте.

Фазово-частотные измерения основаны на фиксации сдвига фаз основной гармоники в приемной линии относительно токовой.

Метод ВП может использоваться в модификации, как зондирования (ВЭЗ ВП), так и профилирования (ЭП ВП). При этом применяются такие же установки, как в методе сопротивлений. Метод ВП необходимо применять в комплексе с методами сопротивления.

Интерпретация ВП производится при профилировании на качественном уровне, а при зондировании используются соответствующие

компьютерные программы или палетки. При геологической интерпретации результатов метода ВП используют установленные связи $\eta_к$ с вещественным составом пород или их состоянием (мерзлое — талое) или судят о наличии рудных минералов и электропроводящих тел

Методы переменных электромагнитных полей

5.1.16. Из методов электроразведки переменными электромагнитными полями в практике инженерных изысканий чаще всего используются методы, основанные на измерении искусственных установившихся гармонических или неустановившихся полей различной частоты. Преимуществом методов переменного тока является возможность выполнять наблюдения без гальванического контакта (без заземлений).

5.1.17. *Установившиеся гармонические поля* используются в следующих методах:

частотные электромагнитные зондирования (ЧЭМЗ) в различных модификациях;

собственно частотные (ЧЗ), дистанционные (ДЗ), изопараметрические (ИЗ);

при гальваническом или индуктивном способе возбуждения поля различных частот;

дипольное индуктивное профилирование (ДИП). Другое используемое название — дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМП);

радиокомпарационный метод (радиокип);

радиоволновое просвечивание (РВП). Другое используемое название — радиоволновая геоинтроскопия (РВГИ);

электромагнитный каротаж (ЭМК), включающий диэлектрический (ДК) и индукционный (ИК).

5.1.18. *Частотное электромагнитное зондирование (ЧЭМЗ)* является методом, изучающим электрическую или магнитную составляющую электромагнитного поля, создаваемого гальваническим (с помощью заземления) или индукционным способом при помощи диполя или петли (рамки), питаемых переменным током. В зависимости от используемой модификации метода регистрируется напряженность компонентов магнитной ($H_{x,y,z}$) или электрической ($E_{x,y,z}$) составляющей поля (полного вектора, отдельных компонентов или их отношения) как функции периода переменного тока ($\sqrt{T}$), расстояния между излучателем и приемником (r), или обобщенного электромагнитного параметра p ($p = |k| \cdot r$), где k — волновое число). Эффективное кажущееся сопротивление (p_ω) вычисляется из отношения измеренной разности потенциалов в приемном устройстве к силе тока в излучателе с учетом геометрического коэффициента установки. Уменьшая частоту тока, увеличивают глубинность исследования вследствие «скин-эффекта».

Методы интерпретации кривых частотного зондирования разработаны в основном для случая горизонтального строения разреза. В результате устанавливается положение горизонтальных или субгоризонтальных границ пород, характеризующихся отличающимися УЭС и (или) диэлектрической проницаемостью.

Геологическое истолкование получаемых материалов выполняется в основном на качественном уровне с использованием имеющихся сведений о зависимостях УЭС и диэлектрической проницаемости от состава и состояния исследуемых пород.

5.1.19. *При дипольном индуктивном профилировании* (ДИП) *или дипольном электромагнитном профилировании* (ДЭМП) изучается поведение измеряемого параметра электромагнитного поля (напряженность, отношение компонентов вектора напряженности) вдоль профиля наблюдений. Модификациями электромагнитного профилирования являются ВЧЭП (высокочастотное электромагнитное профилирование) и НЭП (непрерывное электромагнитное профилирование). Интерпретация данных профилирования позволяет установить положение геологических границ или локальных проводящих объектов в плане, а при благоприятных условиях оценить состав пород.

5.1.20. В *радиокомпарационном методе (радиокип)* изучается поле удаленных длинноволновых (ДВ) или сверхдлинноволновых (СДВ) радиостанций. Метод применяется в модификации профилирования с измерением электрических и магнитных составляющих поля и азимута вектора напряженности поля. По положению характерных аномалий на профиле фиксируются границы пород с разными УЭС и (или) диэлектрической проницаемостью.

5.1.21. В *методе радиоволнового просвечивания* (РВП) на выбранных оптимальных рабочих частотах измеряются компоненты электромагнитного поля (электрические или магнитные) и изучается поглощение энергии радиоволн породами, геологическими или техногенными образованиями, находящимися на трассе распространения волны, между приемной и излучающей антенной.

Передатчик и приемник с излучающей и приемной антеннами располагаются обычно в двух скважинах или в скважине и на поверхности, возможно также профилирование вдоль одной скважины. Анализ полученных данных позволяет определять удельное сопротивление и диэлектрическую проницаемость пород в ес-

тественном залегании и их распределение в изучаемом объеме среды. Диапазон применяемых частот (0,1 — 30 МГц) позволяет работать в породах с удельным электрическим сопротивлением от 20 Ом·м и выше при расстоянии между скважинами от 5 до 60 м.

Особым условием применения метода является наличие скважин с обсадкой ствола радиопрозрачными (полиэтиленовыми) трубами с внутренним диаметром не менее 45 мм.

5.1.22. При *электромагнитном каротаже* (ЭМК) возбуждение поля и его регистрация производятся с помощью антенн — магнитных диполей (катушек), перемещаемых вдоль ствола скважины при постоянном расстоянии между ними. Регистрируемая разность потенциалов связана с УЭС пород и их диэлектрической проницаемостью. Условием выполнения работ является отсутствие металлической обсадки скважины. Оценка влажности пород производится по корреляционным зависимостям диэлектрической проницаемости от содержания воды, установленным для пород различного состава. ЭМК может выполняться как в скважинах, заполненных жидкостью (буровым раствором), так и в сухих.

5.1.23. *Неустановившиеся или импульсные поля* используются в следующих методах:

метод переходных процессов (МПП);

зондирование становлением поля (ЗСП);

радиолокационное зондирование (РЛЗ);

радиолокационная аэросъемка.

5.1.24. *В методах зондирования становлением поля* (ЗСП) *и переходных процессов* (МПП) регистрируется процесс стабилизации поля, возникающего при искусственном возбуждении его прямоугольными импульсами постоянного тока. Различают две модификации метода: в «ближней зоне» (ЗСБЗ), которая находит наибольшее применение в решении инженерно-геологических задач, и «в дальней зоне» (ЗСДЗ). По результатам изучения процесса становления определяются приведенные кажущиеся сопротивления (ρ_τ) и суммарная проводимость (S_τ) для различных времен становления поля (t), меньшее из которых отвечает верхней части разреза, а наибольшее — обобщенной характеристике разреза в целом. Интерпретации палеточным и машинным способом подвергаются графики зависимости ρ_τ и S_τ от $\sqrt{2\pi t}$. По результатам интерпретации выполняется расчленение разреза по вертикали на слои с различными УЭС.

5.1.25. При *радиолокационном зондировании (РЛЗ)* изучаются сигналы, являющиеся отражениями коротких радиоимпульсов от подповерхностных объектов. Изучаются кинематические и динамические характеристики, величина которых зависит от расстояния до отражающего объекта и электрических свойств среды. РЛЗ выполняется как в отдельных точках, так и при наблюдениях вдоль профилей. По результатам РЛЗ строятся временные разрезы, на которых отображается положение границ в координатах времени прохождения зондирующего сигнала. Они могут быть преобразованы в разрезы реальных глубин при наличии данных о скоростях распространения радиоволн во вмещающей среде. Для получения этих данных РЛЗ выполняется в режиме годографа, когда измерения проводятся при разносе приемного и передающего устройства. Динамические характеристики позволяют оценивать состав и состояние пород на трассе распространения сигнала.

Глубинность метода определяется диэлектрической проницаемостью и УЭС зондируемых пород. В водонасыщенных песчано-глинистых грунтах она исчисляется первыми метрами (приложение Р), в многолетнемерзлых породах, ледниках, сухих песках — десятками и сотнями метров.

Для РЛЗ иногда используются другие названия — георадиолокационное зондирование (ГРЛЗ); георадиолокационное подповерхностное зондирование (ГПЗ).

5.1.26. *Радиолокационная аэросъемка* представляет собой модификацию РЛЗ, в которой излучающая и приемная антенны располагаются на летательном аппарате, а облучению подвергается определенная площадь земной поверхности. Получаемые данные преобразуются в видеоизображения, подобные аэрофотоснимкам. Характерные особенности изображения (плотность тона, рисунок, структура и др.) позволяют судить о состоянии приповерхностного слоя пород или почв — в первую очередь о его обводненности.

5.2. Сейсмоакустические методы

5.2.1. Сейсмоакустические методы основаны на изучении динамических и кинематических характеристик упругих колебаний в среде, создаваемых искусственными источниками возбуждения. Предпосылкой применения сейсмоакустических методов является различие скоростей распространения упругих волн и характеристик их поглощения, обусловленное составом, свойствами и состоянием грунтов.

При сейсмоакустических исследованиях изучаются сейсмические свойства горных пород, к которым относятся скорости продольных (v_p), поперечных (v_s) и поверхностных ($v_{R,l}$) волн, соответствующие коэффициенты (декременты)

поглощения $\alpha_p(D_p)$, $\alpha_s(D_s)$ и $\alpha_{R,L}$ $(D_{R,L})$, а также величины их отношений.

5.2.2. Сейсмоакустические методы по диапазонам используемых частот колебаний подразделяются на:

сейсмические (диапазон частот менее 1кГц);
акустические (диапазон частот 1—17 кГц);
ультразвуковые (диапазон частот более 17 кГц).

5.2.3. Сейсмические методы по видам исследований разделяются в соответствии с п. 4.7.

5.2.4. К *сейсмическим наземным методам* относятся сейсмическое зондирование, сейсмическое продольное и непродольное профилирование в модификациях МПВ (КМПВ), МОВ, ОГТ, ОГП.

5.2.5. *Метод преломленных волн (МПВ) и корреляционный метод преломленных волн (КМПВ)* основаны на регистрации продольных и поперечных волн — преломленных (головных) и рефрагированных, формирующихся в разрезах, где наблюдается увеличение скоростей с глубиной ($V_1<V_2...<V_n$). Благоприятными для применения МПВ (КМПВ) являются горизонтально-слоистые среды с небольшим числом слоев, характеризующихся большой дифференциацией по скоростям. МПВ (КМПВ) является основным методом при инженерных изысканиях, при определении глубины залегания подземных вод и при изучении упругих свойств грунтов.

5.2.6. Основным видом наблюдений является сейсмическое продольное профилирование. Реже используется непродольное профилирование (изучение вертикальных и крутопадающих контактов, в том числе сбросов, разломов, погребенных русел рек и т.п.). При продольном профилировании применяются системы наблюдений с получением встречных и нагоняющих годографов. Выносные пункты удара (возбуждения колебаний) желательно размещать на расстояниях, равных или кратных длине сейсмической косы. При детальном изучении верхней части разреза пункты удара (ПУ) располагаются не только на концах сейсмической косы, но и внутри интервала наблюдений.

При решении простых задач используется наблюдение при постоянной базе (расстоянии) между пунктом возбуждения и приемником (СППБ) или отдельными сейсмическими зондированиями (СЗ). При исследованиях на акваториях методические особенности применения МПВ связаны с необходимостью использования донных приемных устройств и достаточно мощных источников возбуждения.

5.2.7. Интерпретация сейсмических данных разделяется на два этапа:

корреляция волн, построение годографов, введение поправок и увязка систем годографов (первый этап);

расчет по годографам глубины залегания сейсмических границ, изучение характера изменения скорости упругих волн с глубиной и вдоль профиля — так называемое решение обратной задачи (второй этап).

5.2.8. *Метод отраженных волн (МОВ)* основан на регистрации упругих волн, отраженных от достаточно протяженных границ изменения волновых сопротивлений. Этим границам обычно соответствуют литологические и тектонические поверхности разделов геологических сред. При измерениях по методу МОВ изучаются кинематические (времена прихода, скорости распространения) и динамические (амплитуды, частоты) характеристики отраженных волн. Полевые исследования выполняются по системе многократных перекрытий. Для решения инженерно-геологических задач используются преимущественно фланговые наблюдения с 12—24-кратными перекрытиями. На участках с наиболее сложным строением выполняют наблюдения по системе 48-кратного перекрытия. Обработка данных МОВ полностью автоматизирована и выполняется на компьютерах. Окончательный результат обработки представляется в виде временных и глубинных разрезов, в некоторых случаях в виде пространственных картин расположения отражающих поверхностей. МОВ используется для определения глубины и характера залегания границ раздела геологических напластований, выявления структурных неоднородностей в строении массива пород.

5.2.9. *Метод общей глубинной точки (ОГТ)* является модификацией МОВ, применяющейся при работах в сложных сейсмических условиях при больших наклонах и несогласиях отражающих границ. Метод применяется как при работах на суше, так и на акваториях. В методе ОГТ для ослабления влияния многократно отраженных волн применяют суммирование сейсмических записей, относящихся к общим глубинным точкам одноименных отражений (середине расстояния источник — приемник) и получаемых с помощью системы многократных перекрытий. Избыточность системы многократных перекрытий позволяет решать задачу ослабления регулярных (многократных, обменных) и нерегулярных волн — помех, что используется в алгоритмах компьютерной обработки.

В случае инверсного скоростного разреза (верхний слой имеет большую скорость, чем нижележащий) эффективно применение метода отраженных волн в варианте ОГТ на поперечных волнах, обеспечивающего высокое разрешение при прослеживании границ в верхней части разреза.

5.2.10. *Метод общей глубинной площадки (ОГП)* является аналогом метода ОГТ в случае, когда анализу подвергаются преломленные волны, а регистрация проводится при малых базах наблюдений. Методика ОГП основана на многократном перекрытии при фланговых системах наблюдений с выносом и суммированием по общей (центральной) глубинной площадке, аналогично ОГТ. Вынос источника равен абсциссе начальной точки $X_{н.т.}$ для преломленной волны, соответствующей наиболее глубокой изучаемой границе. Это позволяет изучать при одной системе наблюдений несколько границ и представлять первичные данные в виде временных разрезов.

5.2.11. *Скважинные методы* включают сейсмический каротаж (СК), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), сейсмическое просвечивание (СП).

При скважинных сейсмических измерениях прием или возбуждение волн осуществляется непосредственно в скважинах и, наряду с прямыми проходящими волнами, используются отраженные и преломленные.

5.2.12. *Сейсмическим каротажом (СК)* называется метод определения средних скоростей путем измерения времени распространения проходящих волн, возбуждаемых у устья скважины или на некотором расстоянии от нее, до скважинного сейсмоприемника, опускаемого на разную глубину. Методика обработки СК включает осреднение ломаной линией вертикальных годографов, получаемых в результате проведенных измерений. По точкам излома годографа определяются границы выделенных пластов, а по наклону — величины скоростей.

5.2.13. *Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)* является эффективным методом околоскважинных и межскважинных исследований в сейсморазведочном диапазоне частот при распространении сейсмических волн во внутренних точках реальных сред. При ВСП используется система наблюдений, состоящая из источника колебаний и приемников (или одиночного приемника) упругих волн. Обычно в скважине перемещаются приемники, смонтированные в виде косы (приемник), а на поверхности земли перемещается, удаляясь от устья скважины, источник упругих колебаний (ПУ). Изучаются волны разных типов: продольные, поперечные и обменные. Анализируются не только первые вступления волн, но вся сейсмограмма.

По расположению сейсмоприемников различают прямое ВСП (сейсмоприемники располагаются в скважине), обращенное ВСП (сейсмоприемники находятся на земной поверхности, а возбуждение упругих колебаний происходит в скважине) и комбинированное ВСП.

По технике записи различают однокомпонентное ВСП (Z) и трехкомпонентное (поляризационная модификация).

По системам наблюдений выделяют односкважинное и многоскважинное ВСП.

5.2.14. *В подземных методах* применяются те же модификации, что в наземных и скважинных исследованиях.

Наличие скважин и горных выработок позволяет изучать грунтовый массив путем *сейсмического просвечивания (СП)*. При этом может проводиться межскважинное просвечивание с использованием проходящих волн. Просвечивание осуществляется между скважиной или другой горной выработкой и дневной поверхностью. Сейсмоприемники устанавливаются в одной из выработок (скважине), удары (взрывы) производятся по стенке в другой выработке (скважине). При этом используются скважинные электроискровые и пневматические источники.

В дисперсных породах расстояние между выработками (скважинами) должно быть не менее первых метров и не более нескольких десятков метров. В более плотных породах базы могут быть увеличены.

Интерпретация сейсмического просвечивания (СП) проводится по временам первых и последующих вступлений проходящих волн. Определяется скоростное строение массива, анализ которого позволяет выделять неоднородности во внутренних точках массива. Резкие локальные уменьшения скоростей упругих волн для определенных направлений указывают на наличие зон с пониженной скоростью (карст, зоны тектонических нарушений и т.п.). Компьютерная обработка осуществляется по стандартным программам с получением томографического изображения.

5.2.15. *Непрерывное сейсмическое профилирование (НСП)* является модификацией МОВ, используемой при исследованиях на акваториях с движущегося судна с использованием невзрывных источников и пьезокос в качестве приемных устройств. Частотный диапазон исследований составляет 150—750 Гц. Исследования выполняются по отдельным профилям или по системе профилей (площадная съемка). Специфические помехи, характерные для НСП, убираются с помощью различных средств (технических, методических и программных при машинной обработке).

5.2.16. В *акустических методах* используются колебания сравнительно высоких частот (до 20 кГц), которые сильно поглощаются в иссле-

дуемой среде, поэтому изучаемые базы (глубины) невелики. Они варьируют от первых метров до первых десятков метров. Разрешающая способность методов (минимальные размеры изучаемых объектов) зависит от длительности и частоты изучаемого сигнала, глубины залегания исследуемых объектов, уровня помех и эффективности их подавления.

При акустических исследованиях, как правило, проводят комплексные измерения по методикам просвечивания и профилирования. При просвечивании получают надежные данные о скоростях продольных волн. Профилирование используют для определения скорости волн Релея, по которым рассчитываются скорости поперечных волн.

Акустические методы используются при изучении скальных массивов и песчано-глинистых пород в шурфах, котлованах, канавах. При исследовании пород в мерзлом состоянии широко используют методику продольного и кругового профилирования.

5.2.17. *Акустический каротаж (АК)* является одним из основных акустических методов и применяется в двух модификациях: точечный и волновой.

Точечный акустический каротаж обычно проводят многоканальным зондом, позволяющим вычислять интервальные скорости продольной (Р) и поверхностной (R) волн, которые после сглаживания используют для литологического расчленения разреза, выделения зон трещиноватости, расчета упругих и других физико-механических характеристик.

Волновой акустический каротаж проводят в скважинах, заполненных буровым раствором или водой, с непрерывной цифровой регистрацией волнового акустического сигнала и с последующей компьютерной обработкой. Этот громоздкий и сложный в производстве метод применяется для решения специальных задач в инженерной геологии.

5.2.18. *Акустическое просвечивание (АП) между скважинами* основано на изучении характеристик поля упругих колебаний с частотой до 10 кГц. При этом исследуются массивы пород до первых десятков метров. Межскважинное просвечивание позволяет подробно дифференцировать разрез. Эта особенность позволяет применять межскважинное просвечивание для изучения сложнопостроенных сред в тех случаях, когда малоэффективны традиционные методы сейсморазведки. В качестве источников сигнала могут использоваться скважинно-электроискровые.

5.2.19. *Ультразвуковой метод* применяется для измерения скоростей упругих волн в скальных, полускальных и мерзлых породах в лабораторных (на образцах пород) и естественных условиях (в обнажениях, стенках горных выработок, в разведочных шурфах и скважинах), с использованием частоты обычно свыше 25 кГц. В связи с большим затуханием упругих волн ультразвуковой частоты исследуемые базы не превышают первых метров. При ультразвуковых исследованиях применяются те же методические приемы, что и в акустических методах. Разнообразие систем наблюдения при измерениях можно свести к двум основным — профилированию и просвечиванию.

5.2.20. *Ультразвуковой каротаж (УЗК)* является специальным видом наблюдений в скальных породах и мерзлых грунтах, выполняемых по методике профилирования со встречной системой годографов. При этом одновременно прослеживаются продольные и поперечные или поверхностные волны. Измерения производят с помощью многоточечных каротажных снарядов (5—7 датчиков) в сухих не обсаженных скважинах.

УЗК выполняют с целью расчленения разреза и определения характеристик состава, строения и свойств массива.

5.2.21. *Ультразвуковое просвечивание между скважинами* выполняется, как правило, в скальных и мерзлых породах на базах 1—1,5 м с получением продольных и поперечных волн в субгоризонтальном направлении.

5.3. Магниторазведочные методы

5.3.1. *Магниторазведочные методы* применяются для целей геологического картирования в условиях магнитоактивных пород (основные изверженные, некоторые метаморфические и песчано-глинистые с содержанием обломков пород с повышенной магнитной восприимчивостью).

5.3.2. *Микромагнитная съемка* применяется для расчленения по литологическим признакам осадочных пород и четвертичных отложений, изучения трещиноватости скальных пород и геодинамических процессов на оползневых и карстоопасных участках. Используются приборы повышенной чувствительности (протонные, квантовые магнитометры) и специальные приемы обработки материалов.

5.3.3. *Наземная профильная магниторазведка* для целей картирования проводится в зависимости от масштаба съемки и стадии (этапа) проектирования при расстоянии между профилями 20—100 м.

5.3.4. Микромагнитная съемка на площадках проводится в зависимости от масштаба съем-

ки и стадии (этапа) проектирования при расстоянии между профилями 5—10 м с шагом наблюдений по профилю 2—2,5 м, на отдельных обособленных профилях — с шагом 2—5 м, на оползневых участках — по сети от 1×1 до 2×2 м.

Микромагнитная съемка при изучении геодинамических процессов, связанных с подвижками отдельных частей массива грунтов и (или) перераспределением напряжений, проводится на закрепленных пунктах с периодичностью, обеспечивающей контроль за изменяющейся во времени геодинамической обстановкой.

5.4. Гравиразведочные методы

5.4.1. *Гравиразведочный метод (гравиразведка)* основан на изучении поля силы тяжести (V_z), аномалии которого связаны с изменением плотности пород. Отличительная особенность метода при инженерно-геологических изысканиях заключается в производстве наземных наблюдений на ограниченных площадках с целью поиска грунтовых неоднородностей. Наблюдения выполняются чувствительными высокоточными гравиметрами с применением методик регистрации и обработки, позволяющих оценить локальную аномалию с точностью несколько микрогал (10^{-8} мс$^{-2}$). В ряде случаев для большей дифференциации изучаемой среды возможно использование вторых производных силы тяжести (V_{zz}), что на практике достигается разновысотными наблюдениями с помощью специальной вышки.

5.4.2. По результатам *профильной или площадной съемок*, выполняемых рейсами, начинающимися и заканчивающимися на опорных пунктах, после введения всех необходимых поправок строятся графики или карты аномалий силы тяжести в редукции Буге (Δg_B).

Интерпретация гравиметрии, при которой анализируются графики и карты аномалий поля силы тяжести, производится на качественном и количественном уровнях. В последнем случае на основе априорной геоплотностной модели изучаемой среды, базирующейся на информации о плотности пород и форме объекта, определяют его геометрические и плотностные характеристики. Кроме того, при проведении режимных наблюдений, выполняемых на закрепленных пунктах, высокоточная гравиразведка позволяет обнаруживать активные разрывные структуры.

Современная точность гравиметров позволяет фиксировать в верхней части разреза (до глубины 10 м) неоднородности, отличающиеся друг от друга по плотности на 0,02—0,03 г/см^3.

5.5. Ядерно-физические методы

5.5.1. *Ядерно-физические методы (радиоизотопные)* базируются на существовании связей ядерных свойств пород с их плотностью, влажностью и глинистостью. Наиболее широко используются: гамма-гамма метод (ГГМ) определения плотности, нейтрон-нейтронный метод (ННМ) определения влажности и метод естественной радиоактивности для определения глинистости, как правило, в модификации скважинного и пенетрационного каротажа. Работы первыми двумя методами требуют использования искусственных радиоактивных источников.

5.5.2. *ГГМ* основан на рассеянии и ослаблении гамма-излучения на электронах атомов вещества, пронизываемого гамма-излучением. Источником гамма-квантов является цезий-137. Используются два способа: просвечивания (метод ослабления первичного гамма-излучения) и метод рассеянного первичного излучения. В обоих случаях измеряется плотность потока, или интенсивность (прошедших или рассеянных) гамма-квантов. Плотность определяется пересчетом по градуировочной зависимости в соответствии с ГОСТ 23061, регламентирующим выполнение градуировки.

5.5.3. *ННМ* основан на эффекте замедления быстрых нейтронов на атомах водорода и заключается в регистрации потока замедленных надтепловых и тепловых нейтронов. В методе используется плутониево-бериллиевый источник быстрых нейтронов и гелиевый или сцинтилляционный счетчик в качестве детектора медленных нейтронов. Методика, требования к соблюдению мер безопасности при работе и к градуировке приборов регламентируются ГОСТ 23061.

5.5.4. *Метод естественной радиоактивности* для определения глинистости дисперсных пород основан на зависимости естественного гамма-излучения от содержания глинистой фракции в породах. Для расчета содержания глинистой фракции β используются корреляционные связи интенсивности естественного гамма-излучения с величиной β. Естественная радиоактивность измеряется в соответствии с ГОСТ 25260*.

5.5.5. *Метод протонного магнитного резонанса (ПМР)* основан на возбуждении осциллирующего суммарного магнитного момента протонов и последующего детектирования электромагнитного поля, создаваемого этим осциллирующим магнитным моментом. В процессе работы антенной больших размеров создается импульсное магнитное поле внутри исследуемого объема. Частота заполнения импульса выбирается равной частоте прецессии магнитных

моментов протонов вокруг магнитного поля Земли. Измерение наведенного прецессирующего магнитного момента после окончании действия возбуждающего магнитного поля осуществляется той же антенной. Основным носителем протонов в грунте является вода, поэтому метод рассчитан на детектирование воды.

Сигналы от различных слоев воды, различающихся по глубине и времени релаксации, складываются друг с другом в интегральном выражении. Распределение влажности по глубине определяется специальной обработкой получаемых материалов. Метод позволяет оценивать количество воды в пределах цилиндра глубиной D и диаметром $2D$, где D — диаметр антенны.

5.6. Газово-эманационные методы

5.6.1. *Газово-эманационные методы* используются для определения уровня содержания радиоактивных газов — радона, торона и их соотношения, а также содержания газов CH_4+CO_2 в подпочвенном воздухе. В зависимости от стадии проектирования и задач инженерных изысканий проводится профильная или площадная съемка в модификации эманационных (радонтороновых) или совместных (газово-эманационных) измерений. Отбор проб подпочвенного воздуха в зависимости от масштаба съемки и стадии (этапа) проектирования выполняется по сетке от 5 м × 5 м до 20 м × 20 м.

5.6.2. На основе анализа материалов газово-эманационной съемки, рассматриваемых в совокупности с геологическими и другими геофизическими данными, проводится структурно-геодинамическое картирование. Выделяются устойчивые блоки пород, геодинамические зоны с различным уровнем активности, связанной с разрывной тектоникой, трещиноватостью и участками перераспределения напряжений в массиве пород и грунтов, обусловленными протекающими естественными геологическими процессами и техногенной нагрузкой.

5.6.3. Газово-эманационная съемка может проводиться в режиме повторения измерений с выбранными периодами с целью мониторинга отслеживаемых процессов.

5.7. Термометрия

5.7.1. *Термометрия* основана на изучении температурного поля грунтов. Информация, полученная с ее помощью, используется при интерпретации геофизических данных (особенно в районах распространения мерзлых грунтов, где ее применение является обязательным). Кроме того, результаты измерения температуры в грунтовом массиве или в толще воды могут использоваться для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач, таких, как:

получение температурных данных для выбора типов фундаментов и выработки рекомендаций по выбору принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований фундаментов;

выявление зон воздействия термальных вод;

выявление зон нарушения режима подземных вод за счет утечек из водонесущих коммуникаций;

обнаружение мест протекания и действия физико-химических процессов, влияющих на загрязнение геологической среды;

оценка и прогноз устойчивости территорий освоения.

5.7.2. Термометрия осуществляется как полевыми, так и лабораторными методами.

Полевые измерения следует выполнять в соответствии с ГОСТ 25358. Измерения температуры должны выполняться в заранее подготовленных и выстоянных скважинах. Для измерения температуры грунтов не допускается использование скважин, заполненных водой или другой жидкостью.

При термометрии используются термометры любого типа (термометры расширения, термоэлектрические приборы, термометры сопротивления — металлические или полупроводниковые приборы), имеющие следующую инструментальную погрешность:

±0,1 °С в диапазоне температур ±3 °С;

±0,2 °С в диапазонах температур +3 — +10 °С и −3 — −10 °С;

±0,3 °С в диапазонах температур свыше +10 °С и ниже −10 °С.

Результаты термометрии следует оформлять в табличной форме в виде сводной ведомости и в виде графиков распределения температуры по глубине по каждой скважине при одноразовых измерениях или в виде графиков термоизоплет (в координатах глубина и время) для режимных измерений по отдельным скважинам. Для однократных измерений по ряду скважин строятся графики изотерм (в координатах глубина и расстояние между скважинами). Графики изотерм, как правило, следует совмещать с геологическим разрезом, на котором показываются границы раздела талых и мерзлых грунтов, полученные по результатам инженерно-геологической и геофизической разведки, с указанием времени проведения этих работ.

5.8. Сопутствующие методы

5.8.1. *Кавернометрия* выполняется для измерения фактического диаметра скважин, который может быть как больше номинального (при проходке рыхлых песков, сильнотрещиноватых пород, кавернозных известняков и т.п.), так и меньше номинального (в интервале проходки пластичных глинистых грунтов).

Диаметр скважины измеряется с помощью каверномеров, оценивающих средний диаметр скважины, и каверномеров-профилемеров, определяющих форму сечения скважины на разных участках. Кавернометрическая аппаратура выпускается в виде отдельных приборов и в комплексе с каротажными приборами и станциями. Перед началом измерений кавернометрическая аппаратура должна проходить градуировку. В процессе измерения диаметра скважины записывается кавернограмма, обычно регистрируемая в масштабе глубин 1:200 и 1:500. Масштаб записи диаметра чаще выбирается 5 см/см, и при детальных исследованиях — 1—2 см/см.

В геофизике данные кавернометрии используются для интерпретации материалов БКЗ и радиоактивного каротажа.

5.8.2. *Инклинометрия* выполняется для измерения искривления скважины с целью контроля за смещением оси скважины от заданного направления. Искривление скважины опре-деляется по двум углам: зенитному углу φ отклонения скважины от вертикали и азимуту α вертикальной плоскости, в которой лежит ось скважины. Измерение угла и азимута искривления скважины производится с помощью инклинометров двух типов. Наиболее распространены инклинометры с дистанционным электрическим измерением, основой которых являются отвес и магнитная стрелка. Второй тип — это гироскопические инклинометры, в которых применены гироскопы с тремя степенями свободы.

По результатам измерения угла и азимута искривления скважины строится инклинограмма — проекция оси скважины на горизонтальную плоскость, выполненная последовательно по отдельным интервалам, как правило, в масштабе 1:200.

Инклинометрия в инженерной геофизике применяется как вспомогательный метод при производстве скважинных измерений. Инклинометрия используется для точного определения расстояния между скважинами при сейсмическом, акустическом и радиоволновом просвечиваниях, а также при наблюдениях за геодинамическими процессами (оползнями, сейсмогенными, криповыми и другими смещениями пород и грунтов).

6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

6.1. Изучение в плане и разрезе положения геологических границ

6.1.1. Изучение в плане и разрезе положения геологических границ протяженных и ограниченных по размерам геологических тел выполняется при решении практически всех задач инженерно-геологических изысканий. К задачам, связанным с изучением протяженных геологических границ, относятся положения, изложенные в пп. 6.1.2—6.1.8. Изучение местоположения, глубины залегания и формы локальных геологических неоднородностей связано с задачами, перечисленными в пп. 6.1.9—6.1.16.

6.1.2. *Определение рельефа поверхности скальных и мощности перекрывающих их дисперсных грунтов.* Определение основано на скачкообразном изменении (сверху вниз) скоростей продольных и поперечных волн, удельных электрических сопротивлений (УЭС) и плотности контактирующих пород.

Основными методами исследования являются: сейсморазведка методом преломленных (МПВ) и отраженных (МОВ) волн, электроразведка постоянным током в модификациях вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), частотных электромагнитных зондирований (ЧЭМЗ) и зондирований становлением поля (ЗСП). Все виды геофизического профилирования входят в состав вспомогательных методов. При наличии скважин в комплексе должны использоваться те виды каротажа, которые фиксируют указанные различия контактирующих грунтов по перечисленным выше свойствам. Данные каротажа, лабораторных и параметрических измерений на образцах, керне и на обнажениях используются для более точной интерпретации результатов наземных наблюдений.

6.1.3. *Расчленение разреза скальных и дисперсных пород на слои различного литолого-петрографического состава* основано на различии пород по их физическим свойствам. Основными геофизическими методами решения этой задачи являются: электроразведка (ВЭЗ, ЗСП), сейсморазведка (МПВ и МОВ), непрерывное сейсмическое профилирование (НСП) на акваториях, радиоволновое просвечивание (РВП) и большинство видов каротажа. Роль вспомогательных методов могут играть ЧЭМЗ, вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), методы вызванной поляризации (ВП) и РЛЗ.

6.1.4. *Определение мощности коры выветривания (экзогенной трещиноватости).* В основе ре-

шения задачи лежит отличие сохранных пород от выветрелых (трещиноватых) по удельным электрическим сопротивлениям, скоростям упругих волн и коэффициентам их затухания, а также поляризуемости и плотности.

Основными и вспомогательными методами являются практически те же, что и перечислены в п. 6.1.2.

6.1.5. *Определение глубины залегания водоупоров и их целостности.* Физические основы решения задачи и методы ее решения те же, что и в п. 6.1.3.

6.1.6. *Определение глубины залегания подземных вод (уровня грунтовых вод) и мощности водоносных горизонтов в обломочных и трещиноватых скальных и полускальных породах.* Основное отличие водонасыщенных пород от неводонасыщенных по электрическим свойствам проявляется в том, что первые характеризуются существенно более низкими значениями УЭС и более высокими значениями диэлектрической проницаемости. Наибольшие различия наблюдаются в песках, галечниках, трещиноватых скальных породах и значительно меньше — в дисперсных породах, содержащих большое количество частиц глинистой фракции, а также в нетрещиноватых скальных породах.

Скорости распространения продольных упругих волн на границе водонасыщенных и неводонасыщенных пород претерпевают скачкообразное увеличение, при этом скорости поперечных волн изменяются не так резко.

Основными геофизическими методами решения задачи являются: электроразведка постоянным током в модификациях вертикальных электрических зондирований методом сопротивления (ВЭЗ) и вызванных потенциалов (ВЭЗ ВП), сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а также РЛЗ. Для количественных оценок содержания воды может быть использован метод протонного магнитного резонанса (ПМР).

6.1.7. *Определение глубины залегания, мощности и распространения линз и горизонтов засоленных вод и криопэгов.* Главной отличительной особенностью засоленных вод (растворов) является значительное понижение их УЭС при увеличении концентрации и незначительная изменчивость остальных характеристик.

Основным геофизическим методом решения этой задачи является ВЭЗ. В качестве вспомогательных методов используются ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, ЗС, РВП.

6.1.8. *Определение в плане и разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород.* Переход пород, содержащих в своем составе воду, в мерзлое состояние сопровождается скачкообразным увеличением их УЭС и скоростей упругих волн, величина которого тем больше, чем больше свободной воды содержится в породе.

Основными методами являются электроразведка методом сопротивлений в различных модификациях, частотные методы зондирования и профилирования (ЧЭМЗ, ДЭМП, ВЧЭП, НЭП, РВП, РЛЗ) и сейсморазведка (МПВ, СППБ, МОВ, ВСП). Вспомогательными являются метод вызванных потенциалов (ВЭЗ ВП), естественных потенциалов (ЕП), радиокип.

6.1.9. *Определение глубины залегания и мощности внутригрунтовых льдов и льдов, залегающих с поверхности.* Лед наряду с мерзлыми песками характеризуется большими значениями УЭС и скоростями упругих волн, меньшей плотностью и меньшей диэлектрической проницаемостью по сравнению с влагонасыщенными породами. В отличие от слабомагнитных глин лед практически немагнитен.

Основными методами исследования внутригрунтовых льдов являются те же методы, что и в п. 6.1.8. Возможность использования сейсморазведки МОВ обусловлена существованием отличия акустической жесткости льда от вмещающих пород. Вспомогательные методы — гравиразведка и магниторазведка используются в случае достаточно крупных скоплений льда.

Основными методами определения мощности ледников и крупных наледей являются радиолокационное зондирование и сейсморазведка (МПВ и МОВ).

6.1.10. *Выявление и оконтуривание зон повышенной трещиноватости, тектонических нарушений и активных разрывных структур.* Основным способом наблюдений является профилирование. В качестве основных методов исследования используются: ЭП, ВЭЗ, МПВ, МОВ, ОГТ, ДЭМП, Г-Э, М, Г, а в качестве вспомогательных — ВСП, НСП, Кар, ЧЭМЗ, РЛЗ, ВЭЗ ВП, РВП, ЕИЭМПЗ.

6.1.11. *Обнаружение и оконтуривание в плане и разрезе карстовых полостей и подземных выработок.* Основными методами являются: ВЭЗ, ВИЭП, РВП, МПВ, ОГТ, СП, микрогравиразведка, РЛЗ. В качестве вспомогательных методов применяются Г-Э, ЕП, резистивиметрия, МЗТ, ЕИЭМЗ, АЭ.

6.1.12. *Обнаружение и оконтуривание в плане и разрезе отдельных ледяных тел различной морфологии (пластовых, повторно-жильных) и зон повышенной льдистости.* Наряду с основными методами, аналогичными используемым при решении задач п. 6.1.9, в качестве вспомогательных используются МПП, РВП, высокоточная гравиразведка и, при наличии магнитной восприимчивости у вмещающих пород, — высокоточная магниторазведка.

6.1.13. *Оконтуривание и определение мощности таликов, перелетков и мерзлых пород среди талых.* Эти задачи решаются методами, перечисленными в п. 6.1.8 и базирующимися на тех же физических основах.

6.1.14. *Определение в плане и разрезе положения границ загрязненных пород (в том числе радиоактивными веществами).* Выбор методов осуществляется на основе априорного знания свойств пород, претерпевших изменения и степени изменений. Целесообразно выполнение специальных параметрических измерений. Выбранные методы в зависимости от конкретных задач используются в модификациях зондирования или профилирования. При загрязнении радиоактивными веществами основным методом является радиометрическая съемка.

6.1.15. *Локализация мест разгрузки подземных и техногенных вод, мест фильтрации вод через земляные сооружения.* Выход подземных вод на поверхность и все процессы фильтрации сопровождаются появлением естественных потенциалов, как правило, положительных в местах разгрузки.

Основными методами являются: резистивиметрия, ЕП, термометрия, ВЭЗ ВП, РВП, а вспомогательными — электропрофилирование, МПВ на продольных волнах.

6.1.16. *Локализация мест коррозии или опасности коррозии подземных металлических сооружений (ПМС).* Решение задачи локализации мест коррозии основано на появлении в этих местах аномальных электрических потенциалов электрохимическою генезиса. Основным методом является профилирование или съемка методом ЕП.

Оценка коррозионной опасности в результате действия блуждающих токов и агрессивности вмещающей среды по отношению к стальным подземным сооружениям производится путем специальных измерений, выполняемых в соответствии с ГОСТ 9.602—89*. В основе метода лежит измерение разности потенциалов между эталоном из стали или самого ПМС и электродом сравнения.

Наличие блуждающих токов в земле определяется с помощью измерения разности потенциалов между двумя точками на поверхности земли при разносе измерительных электродов, равном 100 м, располагающихся в двух взаимноперпендикулярных направлениях через каждые 1000 м трассы. Замеры производятся через каждые 5—10 секунд в течение 10—15 минут.

6.1.17. *Обнаружение и локализация в плане и разрезе отдельных технических объектов (инженерных коммуникаций, погребенных фундаментов и пр.).* Выбор методов осуществляется на основе априорных знаний о свойствах искомого объекта. Наиболее информативными могут быть РЛЗ, микромагнитная съемка, ЕП, ДЭМП, ДИП.

6.2. Изучение состава, строения, состояния и свойств грунтов

6.2.1. Изучение состава, строения, состояния и свойств грунтов выполняется параллельно с изучением геологического строения массива, но может являться и самостоятельной целью и выполняться по специально составленной программе.

6.2.2. Определение физико-механических характеристик грунтов по данным геофизических исследований следует производить на основе корреляционных зависимостей, установленных для определенных литологических разновидностей пород с учетом их региональных особенностей. При отсутствии корреляционных связей, полученных для грунтов изучаемого объекта (наиболее обоснованные оценки), могут быть использованы корреляционные зависимости для грунтов-аналогов (приближенные оценки). Примеры таких связей, полученных на основе обобщения данных экспериментальных исследований различных грунтов в лабораторных и натурных условиях, приведены в аналитической форме в приложении Е и в графической форме в приложениях Ж — Н.

6.2.3. При определении физико-механических свойств грунтов в массиве на основе использования корреляционных связей, установленных при изучении образцов, следует учитывать масштабный эффект для конкретной геологической среды.

6.2.4. *Определение литолого-петрографического состава пород.* Решение задачи основано на зависимости электрических, упругих и других физических свойствах пород, определяемых при геофизических исследованиях, от их литолого-петрографического состава (приложения Ж, И). Установление зависимостей между геофизическими параметрами и литолого-петрографическими признаками состава грунтов проводится при использовании параметрических измерений в скважинах, горных выработках, на образцах и на обнажениях.

Основными геофизическими методами при решении задачи являются электроразведка на постоянном токе, ВЭЗ, ВЭЗ ВП, сейсморазведка МПВ на продольных и поперечных волнах. При наличии скважин используются ВСП, сейсмопросвечивание, различные виды каротажа.

6.2.5. *Определение трещиноватости и пористости скальных пород.* Решение задачи основа-

но на различии скоростей распространения продольных и поперечных волн и электросопротивления в скальных породах при различной степени трещиноватости. С помощью сочетания сейсморазведки в наземном и скважинном вариантах с ультразвуковыми измерениями скоростей упругих волн в образцах (керне) скальных пород определяется общая пустотность (пористость) пород как в зоне аэрации, так и в зоне полного водонасыщения. Применение электроразведки требует установления корреляционных связей УЭС со степенью трещиноватости и пористости пород путем измерения электрических свойств пород в полевых условиях и в лаборатории на образцах.

Основными геофизическими методами при решении задачи является наземная сейсморазведка МПВ на продольных и поперечных волнах, скважинная сейсморазведка методами ВСП и просвечивания между скважинами, УЗК, измерения скоростей упругих волн в образцах пород. Вспомогательными методами являются электроразведка ВЭЗ и КВЭЗ.

6.2.6. *Определение водно-физических свойств пород.* Оценка коэффициента фильтрации дисперсных пород производится по корреляционным зависимостям между коэффициентом фильтрации пород и их удельным электрическим сопротивлением, а также поляризуемостью и диэлектрической проницаемостью, устанавливаемым для конкретных условий. В скальных породах такие зависимости устанавливаются между коэффициентом фильтрации и скоростью продольных волн.

6.2.7. *Определение деформационных и прочностных свойств скальных пород.* Задача решается, как правило, с помощью комплекса сейсмоакустических методов. Для определения статического модуля упругости, модуля деформации, предела прочности на одноосное сжатие используются установленные корреляционные зависимости между указанными параметрами с одной стороны и скоростями продольных и поперечных волн и динамическими модулями упругости — с другой (приложение Е).

Скорости упругих волн и, следовательно, упругие модули (с использованием информации о плотности пород в массиве) определяются: в скважинах методами сейсмоакустического каротажа и просвечивания, ВСП, с поверхности — сейсморазведкой МПВ на продольных и поперечных волнах, в лаборатории — путем измерения скоростей ультразвуковых волн в образцах.

Исследования в широком диапазоне частот позволяют учитывать масштабный эффект и обоснованно осуществлять переход от параметров, полученных на малых объемах грунтов, к параметрам изучаемого массива.

6.2.8. *Определение физических свойств дисперсных пород (плотности, влажности, пористости).* Основными методами определения плотности и влажности дисперсных пород (в том числе мерзлых) являются радиоизотопные измерения. Вспомогательными методами являются сейсморазведочные и электроразведочные, результаты которых используются для определения искомых параметров грунта по установленным корреляционным зависимостям между плотностью, влажностью и пористостью с одной стороны и скоростями упругих волн и электросопротивлением — с другой (приложения Е, Ж, И, Л).

В качестве основных методов используются каротажные методы ГГМ, ННМ, а в качестве косвенных — наземная и скважинная сейсморазведка на продольных и поперечных волнах (МПВ, ВСП, сейсмопросвечивание), а также электроразведка ВЭЗ, каротаж КС и РВП.

6.2.9. *Определение прочностных и деформационных свойств дисперсных (талых и мерзлых) пород* выполняется по установленным или уточненным и вновь устанавливаемым в процессе работ корреляционным зависимостям между указанными величинами и упругими параметрами: скоростями упругих волн, модулями упругости, сдвига, динамическим коэффициентом Пуассона (приложения Е, М).

Скорости продольных и поперечных волн пород в полевых условиях определяются с помощью наблюдений с поверхности и во внутренних точках среды методами МПВ, ВСП, СП. В лабораторных условиях используются ультразвуковые измерения на образцах.

6.2.10. *Изучение строения скальных массивов,* состоящих из разновеликих зон, блоков и элементов и степени их неоднородности выполняется с помощью разночастотных сейсмоакустических методов, позволяющих определять скорости продольных и поперечных волн для различных по размерам блоков и элементов массива. Для количественной оценки неоднородности строятся так называемые масштабные кривые, отражающие взаимосвязь между скоростями упругих волн и изучаемыми размерами (линейными или объемными) среды.

Скорости продольных и поперечных волн в массиве и его частях определяются с помощью наблюдений с поверхности, во внутренних точках среды и на образцах методами МПВ, ВСП, СП на частотах от 50—100 Гц до 10—20 кГц, а также с помощью ультразвуковых исследований.

6.2.11. *Изучение степени неоднородности массивов дисперсных пород* проводится путем

построения кривых распределения скоростей упругих волн и характеристик их поглощения, а также электросопротивлений в зависимости от масштаба изучаемой среды. Методы получения упругих и электрических параметров стандартные — МПВ, ВСП, сейсмопросвечивание, ВЭЗ, РВП.

6.2.12. *Изучение напряженного состояния пород* основано на взаимосвязи параметров упругих волн со значениями действующих напряжений в массиве и на зависимости уровня акустической и электромагнитной эмиссии от изменений напряженного состояния массива. При качественном изучении напряженного состояния скальных и дисперсных пород используются МПВ, ВСП, сейсмопросвечивание, измерение акустической и электромагнитной эмиссии. Количественная оценка напряжений в массиве пород определяется с помощью комплекса разночастотных сейсмоакустических методов при использовании установленных зависимостей скоростей упругих волн от давления.

6.2.13. *Определение минерализации подземных вод и засоленности дисперсных пород* производится с помощью методов резистивиметрии и электроразведки ВЭЗ, каротажа КС и РВП. Полученные этими методами значения УЭС используются для определения минерализации подземных вод, засоленности дисперсных талых и мерзлых пород по зависимостям, приведенным в приложении К.

6.2.14. *Определение льдистости дисперсных пород* проводится по установленным корреляционным зависимостям между объемной льдистостью с одной стороны и скоростями упругих волн и электросопротивлением — с другой, полученными для различных видов дисперсных грунтов (приложение Л). Скорости продольных волн и электросопротивление пород для интерпретации результатов полевых работ определяют с помощью ультразвукового каротажа и каротажа КС и РВП.

6.2.15. *Оценка криогенного строения дисперсных пород* производится по результатам определений упругих волн и электросопротивлений, измеренных в горизонтальной и вертикальной плоскостях. С помощью номограммы (приложение Н) оцениваются элементы криогенного строения. Скорости продольных волн для этой цели получают с помощью комплекса скважинных методов: ультразвуковой каротаж (УЗК) и межскважинное ультразвуковое просвечивание (МП). Для получения аналогичных значений электросопротивлений используется комплекс из наземного метода ВЭЗ и скважинного метода КС.

6.2.16. *Определение коррозионной агрессивности (КА) грунтов и подземных вод* выполняется с соблюдением требований ГОСТ 9.602—89. КА грунта по отношению к стали характеризуется значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) грунта и средней плотностью катодного тока ($i_к$). КА среды (грунта или воды) по отношению к свинцовой или алюминиевой оболочке кабеля, а также по отношению к бетонным сооружениям определяется по результатам химического анализа и по величине водородного показателя pH образцов. УЭС грунта определяется в полевых условиях и на образцах, плотность катодного тока — только на образцах грунта.

6.3. Изучение геологических и инженерно-геологических процессов

6.3.1. Изучение геологических и инженерно-геологических процессов, их выявление и наблюдение за динамикой развития являются одной из приоритетных задач при инженерно-геологических изысканиях. В процессе ее решения изучаются все вопросы, связанные с задачами, перечисленными в п. 4.1, не только в пространственных координатах, но и во времени.

6.3.2. *Наблюдение за изменением уровня подземных вод*, как правило, проводится с помощью сейсморазведки МПВ и электроразведки ВЭЗ, а также метода протонного магнитного резонанса ПМР. В качестве вспомогательного метода применяется ВЭЗ ВП и РЛЗ.

6.3.3. *Определение направления и скорости движения подземных вод* осуществляется с помощью режимных наблюдений методами резистивиметрии, расходометрии в одной или нескольких скважинах, а также с использованием гидрогеологического варианта МЗТ.

6.3.4 *Обнаружение мест разгрузки подземных вод, утечек бытовых и промышленных вод* является задачей, аналогичной задаче, изложенной в п. 6.1.15, и решается методами, перечисленными в этом пункте.

6.3.5. *Наблюдение за влажностным режимом дисперсных пород зоны аэрации* выполняется при контроле качества искусственных грунтов возводимых земляных сооружений. Оно осуществляется методами, позволяющими оценивать влажность пород в коренном залегании, — радиоизотопными и электрометрическими (п. 6.2.8).

6.3.6. *Наблюдение за изменением глубины сезонного и техногенного промерзания и протаивания дисперсных и скальных пород* должно осуществляться по методике режимных измерений, с применением в качестве основных методов ВЭЗ, МПВ, ВСП, различных видов каротажа, термометрии, РВП, а также вспомогательных — ПС, ЧЭМЗ, РЛЗ.

6.3.7. *Наблюдение за изменением напряженного состояния, возникновением и развитием трещин* производится наиболее эффективно с помощью сейсмометрических методов — МПВ, ВСП, сейсмического просвечивания, методом акустической эмиссии, а также с привлечением различных видов каротажа, резистивиметрии в скважинах и водоемах, гравиметрии. В качестве вспомогательных методов рекомендуется использовать ЕИЭМПЗ и ЕП.

6.3.8. *Выявление, наблюдение и прогноз смещения масс горных пород.* При исследованиях процессов смещения масс горных пород с помощью геофизических методов могут решаться следующие задачи:

локализация мест нарушения сплошности массивов горных пород (методы электроразведки и сейсморазведки в модификациях векторных наблюдений и каротажа скважин, газоэманационная съемка, гравиразведка, методы ЕИЭМПЗ и акустической эмиссии);

определение времени начала смещений и его прогноз (те же методы в модификациях высокоточных режимных наблюдений);

определение скоростей и величины смещений (режимные профильные и скважинные работы различными методами при геодезической привязке точек наблюдения).

6.3.9. *Изучение опасных геологических и инженерно-геологических процессов* с помощью геофизических методов следует выполнять в соответствии с пунктами СП 11-105-97 (часть II):

изыскания в районах развития склоновых процессов — п. 4.2.6;

изыскания в районах развития карста — п. 5.2.5;

изыскания в районах развития процессов переработки берегов водохранилищ — п. 6.2.6;

изыскания в районах развития селей — п. 7.2.5;

изыскания в районах развития подтопления — п. 8.2.7.

Выбор методов для решения задач, перечисленных в каждом из этих пунктов, производится в соответствии с требованиями разделов 6.1—6.3 и приложением Д.

6.4. Сейсмическое микрорайонирование

6.4.1. Задача сейсмического микрорайонирования заключается в оценке влияния местных условий на характеристики сейсмических колебаний. Местные условия определяются строением, составом и свойствами грунтов, рельефом, обводненностью и некоторыми другими факторами.

6.4.2. При выполнении сейсмического микрорайонирования определение строения, состава и свойств грунтов, положения уровня подземных вод производится в соответствии с пп. 6.1.2, 6.1.5, 6.2.8. Скорости продольных и поперечных волн и характеристики их затухания и поглощения, используемые для оценки приращения сейсмической интенсивности и составления модели сейсмического разреза с целью проведения последующих расчетов, определяются с помощью наземной (МПВ, одиночное сейсмозондирование) и скважинной (ВСП, СП, МП, СК) сейсморазведки. Амплитудно-частотные характеристики ожидаемых сейсмических колебаний определяются инженерно-сейсмологическими методами, которые не принято относить к собственно геофизическим исследованиям, а именно: регистрацией землетрясений малых энергий, микросейсм, реже — взрывов и сильных землетрясений.

6.4.3. Расчет количественных характеристик сейсмических воздействий (ускорений, преобладающих периодов и продолжительности колебаний, акселерограмм, спектров реакции и т.д.) проводится с использованием специальных компьютерных программ на основе моделей сейсмического разреза. Требуемые по СНиП II-7-81* акселерограммы могут также подбираться из банка данных или синтезироваться по ряду входных параметров.

7. СОСТАВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

7.1. Настоящий раздел устанавливает общие технические требования к выполнению следующих видов работ, входящих в состав геофизических исследований:

сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет;

разработка программы геофизических исследований;

рекогносцировочное обследование;

полевые геофизические исследования;

лабораторные геофизические исследования грунтов, подземных и поверхностных вод;

обследование грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений;

стационарные геофизические наблюдения (локальный мониторинг компонентов геологической среды);

камеральная обработка материалов геофизических исследований, их интерпретация и составление технического отчета.

7.2. Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет выполняются при инженерно-геологических изысканиях для каждого этапа (стадии) разработки предпроектной

и проектной документации с учетом результатов сбора на предшествующем этапе. Характер и объем материалов должны отвечать целям изысканий, установленным техническим заданием заказчика.

Сбор и обработка геофизических материалов выполняются для:

выработки априорной физико-геологической модели (ФГМ) исследуемой территории;

оценки возможностей различных геофизических методов в конкретных инженерно-геологических и геофизических условиях;

установления задач инженерно-геологических изысканий, требующих решения с помощью геофизических исследований;

выявления объектов изучения, а также площадей и границ проведения геофизических исследований;

оценки условий выполнения работ: открытость территории работ, наличие застройки, рельеф и др.

В состав материалов, подлежащих сбору и обобщению, кроме перечисленных в п. 5.2 СП 11-105-97 (часть I), следует включать сведения о физических свойствах пород исследуемого региона, их геофизических параметрах, а также о связях между этими свойствами и инженерно-геологическими характеристиками пород.

По результатам сбора, обработки и анализа материалов изысканий прошлых лет и других данных в программе геофизических исследований и техническом отчете должна приводиться характеристика степени геофизической изученности исследуемой территории и оценка возможности использования этих материалов (с учетом срока их давности) для решения соответствующих предпроектных и проектных задач.

Возможность использования материалов изысканий прошлых лет в связи с давностью их получения (если от окончания изысканий до начала проектирования прошло более 2—3 лет) следует устанавливать с учетом происшедших изменений на территории изысканий: рельефа, гидрогеологических условий, техногенных воздействий. Выявление этих изменений следует осуществлять по результатам рекогносцировочного обследования исследуемой территории, которое выполняется до разработки программы инженерно-геологических изысканий.

7.3. Разработка программы геофизических исследований выполняется на основе технического задания заказчика, исходя из этапа предпроектных работ или стадии проектирования (проект, рабочая документация) в соответствии с п. 4.8 СП 11-105-97 (часть I).

7.4. Рекогносцировочное обследование выполняется для уточнения на месте условий и особенностей выполнения полевых геофизических исследований. Оно производится визуально, а также, при необходимости, в минимальном объеме с помощью наиболее мобильных и недорогостоящих методов для уточнения методики и технологии проведения работ.

7.5. Полевые геофизические исследования выполняются при инженерно-геологических изысканиях на всех стадиях (этапах) проектирования в соответствии с СНиП 11-02-96 и СП 11-105-97 (части I—V).

Перечень решаемых в процессе полевых геофизических исследований задач и требования к используемым при этом методам изложены в разделах 4—6.

Полевые геофизические исследования выполняются, как правило, в комплексе с инженерно-геодезическими работами. Для интерпретации получаемых геофизических данных необходимы перенесение в натуру и планово-высотная привязка точек наблюдений с точностью, соответствующей детальности (масштабу) выполняемых работ (пп. 5.216 — 5.218 СП 11-104-97). При выполнении геофизических исследований в скважинах следует, как правило, использовать скважины, пробуренные для инженерно-геологических целей. Требования, предъявляемые к проходке (способам бурения), оборудованию и сохранению скважин, определяются выбранными методами геофизических скважинных исследований.

Определение объемов геофизических работ (количества и системы размещения геофизических профилей и точек), а также очередность их исполнения (относительно других видов изыскательских работ) следует производить в соответствии с п. 4.11.

Геофизические исследования на опорных (ключевых) участках с выполнением параметрических измерений производятся одновременно с изучением геологической среды комплексом других видов работ (проходкой горных выработок, зондированием и определением характеристик грунтов полевыми и лабораторными методами), что необходимо для обеспечения требуемой точности интерпретации геофизических материалов.

Определение физико-механических характеристик грунтов по результатам геофизических исследований следует производить в соответствии с п. 6.2.

7.6. Стационарные геофизические наблюдения (локальный мониторинг компонентов геологической среды) следует выполнять в соответствии с п. 5.10 СП 11-105-97 (часть I) в слож-

ных инженерно-геологических условиях для сооружений повышенного уровня ответственности с целью изучения:

динамики развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов;

изменений состояния и свойств грунтов, уровенного, температурного и гидрохимического режимов подземных вод, глубин сезонного промерзания и оттаивания грунтов;

изменений состояния грунтов основания фундаментов зданий и сооружений, в том числе сооружений инженерной защиты;

изменений экологической обстановки.

Мониторинг следует начинать при изысканиях для разработки предпроектной документации или проекта и продолжать в процессе строительства и эксплуатации объектов для оперативного реагирования на возможное развитие опасных геологических и инженерно-геологических процессов или существенные изменения экологической обстановки.

Состав геофизических работ при проведении мониторинга, систему размещения пунктов наблюдательной сети, объемы работ, периодичность, продолжительность наблюдений и точность измерений следует выбирать в зависимости от этапа (стадии) проектирования, сложности инженерно-геологических условий, уровней ответственности зданий и сооружений, предполагаемой длительности проявления опасных геологических процессов, размера исследуемой территории и обосновывать в программе изысканий.

Продолжительность наблюдений должна превышать длительность предполагаемой активной фазы развития опасного геологического процесса и быть не менее одного цикла или сезона проявления процесса. Частота (периодичность) наблюдений должна обеспечивать регистрацию экстремальных (максимальных и минимальных) значений изменения компонентов геологической среды за период наблюдений.

Стационарные геофизические наблюдения (измерения) следует проводить на специально оборудованных пунктах наблюдательной сети (площадках, участках, профилях и др.) с закрепленными датчиками и приемниками или по сети, закрепленной на местности в процессе инженерно-геологических изысканий.

В процессе функционирования мониторинга следует совершенствовать наблюдательную сеть, осуществлять ее развитие (сокращение), уточнять частоту (периодичность) наблюдений, точность измерений и др. в соответствии с результатами измерений, полученных на более ранних циклах измерений.

7.7. Лабораторные геофизические исследования грунтов, подземных и поверхностных вод следует выполнять в соответствии с СП 11-105-97 (часть I), СП 11-102-97 и СП 11-108-98 с целью:

получения необходимых параметров для интерпретации результатов полевых геофизических наблюдений;

оперативной оценки состава, состояния, физических, механических, химических свойств грунтов;

получения данных для установления корреляционных связей;

определения представительности и однородности образцов, исследуемых другими видами лабораторных испытаний;

определения показателей агрессивности и коррозионной активности грунтов;

определения агрессивности воды к бетону и стальным конструкциям;

оценки влияния химического состава подземных вод на развитие карстово-суффозионных процессов;

обнаружения источников загрязнения и выявления ореола загрязнения подземных вод.

Выбор вида и состава лабораторных геофизических определений характеристик грунтов и воды следует производить с учетом выполненных стандартных лабораторных исследований и наличия разработанных геофизических лабораторных методов.

7.8. Обследование с помощью геофизических методов грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений следует проводить при их расширении, реконструкции и техническом перевооружении, строительстве новых сооружений вблизи существующих (в пределах зоны влияния), а также в случае деформаций и аварий зданий и сооружений.

При обследовании необходимо определять изменения геологического строения, гидрогеологических условий, состава, состояния и свойств грунтов, активности инженерно-геологических процессов с целью получения данных для решения следующих задач:

определение возможности надстройки, реконструкции зданий и сооружений с увеличением временных и постоянных нагрузок на фундаменты;

установление причин деформаций и разработки мер для предотвращения их дальнейшего развития, а также восстановления условий нормальной эксплуатации зданий и сооружений;

определение состояния грунтов основания, возможности и условий достройки зданий и сооружений после длительной консервации их строительства;

определение состояния мест примыкания зданий-пристроек к существующим зданиям и разработки мер по обеспечению их устойчивости;

выяснение причин затапливания и подтапливания подвалов и других подземных сооружений.

В процессе обследования грунтов оснований фундаментов может выполняться обследование конструктивных элементов зданий и сооружений по отдельному техническому заданию заказчика. Геофизические обследования конструктивных элементов (фундаментов различной конструкции, опор, отдельных свай, несущих стен, перекрытий и др.) выполняются, как правило, при их реконструкции или ликвидации с целью обнаружения в них дефектов, уменьшения несущей способности, изучения развития напряженного состояния.

7.9. Камеральную обработку материалов геофизических исследований и их интерпретацию необходимо осуществлять с начала выполнения полевых работ и завершать ее окончательной обработкой полученных материалов, составлением технического отчета о геофизических работах либо составлением раздела в общий технический отчет о результатах инженерно-геологических изысканий.

Текущую обработку материалов, в том числе их интерпретацию, необходимо производить с целью обеспечения контроля за полнотой и качеством геофизических работ и своевременной корректировки программы их выполнения в зависимости от полученных промежуточных результатов.

В процессе текущей обработки геофизических материалов осуществляются увязка между собой результатов отдельных видов геофизических и других инженерно-геологических работ, составление предварительных геолого-геофизических разрезов, карты фактического материала, предварительных инженерно-геологических и гидрогеологических карт и пояснительных записок к ним.

При окончательной камеральной обработке производятся уточнение и доработка представленных предварительных материалов, их инженерно-геологическая интерпретация и составление заключительного технического отчета о результатах геофизических исследований, который должен содержать данные, предусмотренные программой работ, а также обоснования допущенных изменений программы.

Полевая техническая документация, как правило, не входит в состав технического отчета (заключения), заказчику не передается и хранится в архиве организации, выполнявшей геофизические исследования, кроме специально оговоренных условий в техническом задании.

Оформление текстовых и графических материалов должно соответствовать требованиям СНиП 11-02-96, предъявляемым к материалам инженерных изысканий для строительства на соответствующем этапе (стадии) проектирования.

При графическом оформлении инженерно-геофизических карт, разрезов и геологических колонок условные обозначения элементов геоморфологии, гидрогеологии, тектоники, залегания слоев грунтов, а также обозначения видов грунтов и их литологических особенностей следует осуществлять в соответствии с ГОСТ 21.302.

8. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРЕДПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

8.1. Геофизические исследования при изысканиях для разработки предпроектной документации должны обеспечивать получение материалов и данных для выбора площадки (трассы) строительства, определения базовой стоимости, принятия принципиальных решений по инженерной защите объектов строительства и оценки воздействия объектов на геологическую среду.

8.2. В состав работ при геофизических исследованиях для обоснования инвестиций входят:

сбор, обработка и анализ материалов изысканий прошлых лет;

участие в дешифрировании аэро- и космоматериалов и аэровизуальных наблюдений на базе данных, полученных при маршрутных наблюдениях в процессе рекогносцировочного обследования или инженерно-геологической съемки, в состав которых по согласованию с заказчиком включаются и наземные геофизические методы.

Среди наземных геофизических методов используются, как правило, электроразведка (ЭП, ВЭЗ, РЛЗ) и сейсморазведка (МПВ), которые наилучшим образом удовлетворяют основным критериям оптимального комплекса, изложенным в п. 4.8.

8.3. Геофизические исследования выполняются по сети профилей, густота которых и шаг наблюдений зависят от категории сложности инженерно-геологических условий и уровня ответственности зданий и сооружений. В соответствии с п. 6.7 СП 11-105-97 (часть I) на площадках намечаемого строительства сеть геофизических наблюдений должна соответствовать детальности инженерно-геологической

съемки масштабов 1:25000—1:10000. Количество профилей и точек геофизических наблюдений на 1 км^2 площади съемки определяется в соответствии с приложением Б.

8.4. На линейных объектах наблюдения выполняются в масштабе 1:50000—1:25000 в полосе трассы линейных сооружений по профилям, располагающимся преимущественно по осям конкурирующих вариантов трассы. Расстояние между точками зондирования по трассе следует устанавливать в зависимости от уровня ответственности сооружений, протяженности и сложности инженерно-геологических условий в пределах от 500 до 1000—3000 м.

Глубина исследований должна обеспечивать установление геологического разреза и гидрогеологических условий в пределах предполагаемой сферы взаимодействия объектов с геологической средой.

На участках прохождения трассы по территориям развития опасных геологических процессов и переходов через реки геофизические исследования выполняются в масштабах 1:25000—1:10000. Объемы исследований определяются программой работ.

8.5. Результаты геофизических исследований используются для установления мест расположения горных выработок и точек полевых исследований грунтов на выбранных конкурирующих площадках (трассах), оценки состояния и свойств грунтов, выявления и трассирования крупных структурных элементов и участков развития опасных геологических процессов.

8.6. Технический отчет (раздел технического отчета) о результатах выполненных геофизических исследований на этапе разработки предпроектной документации составляется в соответствии с требованиями пп. 6.3—6.5 СНиП 11-02-96 и п. 7.9.

9. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА

9.1. Геофизические исследования на стадии разработки проекта строительства предприятий, зданий и сооружений должны обеспечивать получение материалов и данных для оценки инженерно-геологических условий выбранной площадки (участка, трассы) и прогноз их изменений.

9.2. Состав и объемы геофизических работ должны быть достаточными для решения задач, перечисленных в п. 7.2 СП 11-105-97 (часть I).

9.3. В состав геофизических методов на стадии разработки проекта строительства входит большинство видов наземных и скважинных методов, включая параметрические зондирования. Решение каждой инженерно-геологической задачи следует осуществлять, как правило, комплексом геофизических методов в соответствии с пп. 4.9, 4.10, разделом 6 и приложением Д.

9.4. Геофизические исследования для разработки проекта строительства площадных сооружений следует выполнять, как правило, с детальностью, соответствующей съемке масштабов 1:5000—1:2000. При проектировании особо ответственных объектов в сложных инженерно-геологических условиях допускается выполнение съемки в масштабе 1:1000—1:500.

В пределах притрассовой полосы линейных сооружений масштаб съемки составляет 1:10000—1:2000. На участках переходов трассы через водные преграды и прохождения по территориям развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов — в масштабах 1:1000—1:500.

9.5. Определение границ изучаемой территории и глубины исследований следует осуществлять в соответствии с пп. 7.4—7.9 СП 11-105-97 (часть I).

Сеть геофизических профилей на площадке назначается в соответствии с приложением Б, при этом бóльшие объемы принимаются для II и III категорий сложности инженерно-геологических условий и повышенного уровня ответственности сооружений. В среднем на 1 км^2 площади следует выполнить от 10 до 20 профилей длиной до 300 м и от 10 до 20 точек зондирования. При изучении локальных неоднородностей густоту сети профилей следует увеличить, сократив расстояние между профилями до 20—50 м.

Геофизические наблюдения за опасными геологическими процессами за пределами контура проектируемых зданий и сооружений необходимо выполнять по профилям или по сети параллельных профилей, ориентированных с учетом зоны развития процесса. Количество профилей определяется масштабом изучаемого опасного процесса. Микромагнитную съемку на участках развития оползневых процессов и зонах тектонических нарушений следует проводить по сетке от 1×1 до 2×2 м.

Количество геофизических профилей и точек необходимо устанавливать с учетом выполненных ранее работ и осуществлять их необходимое сгущение в соответствии с масштабом съемки.

9.6. При выполнении геофизических исследований в полосе трассы линейных сооружений ширину притрассовой полосы следует принимать в соответствии с табл. 7.2 СП 11-105-97 (часть I). Исследования должны выпол-

няться по оси трассы и поперечникам. Расстояние между поперечниками в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий и выбранного масштаба съемки изменяется от 100 до 500 м. Длина поперечников должна быть не менее ширины притрассовой полосы. По трассе шаг между точками наблюдений должен составлять: для профилирования — 10—50 м при исследованиях по оси трассы и 5—10 м на поперечниках; для зондирования — 100—500 м при исследованиях по оси трассы и 20—50 м — на поперечниках.

На участках переходов через естественные и искусственные препятствия, в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов или распространения органических и органо-минеральных грунтов геофизические профили необходимо размещать по оси трассы с шагом наблюдения 10 м и на поперечниках, намечаемых через 50—100 м, с шагом наблюдений 5 м. Точки зондирований размещают через 50—150 м по оси трассы и на поперечниках через 25—50 м. В качестве варианта возможно использование сплошных зондирований.

9.7. При изысканиях на стадии разработки проекта выполняют непрерывные профилирования с шагом наблюдений, не превышающим длину приемной линии. При зондированиях расстояния между точками наблюдений не должны превышать типичные линейные размеры отельных исследуемых элементов. Шаг наблюдений по профилю может изменяться, увеличиваясь в пределах однородных участков до первой сотни метров и уменьшаясь в зонах контактов и локальных неоднородностях до нескольких десятков метров.

Параметрические исследования в скважинах назначаются по техническому заданию заказчика при соответствующем обосновании в программе работ. Количество скважин для параметрических исследований должно составлять, как правило, не менее одной в пределах каждого геоморфологического элемента исследуемой территории.

9.8. Параметрические измерения рекомендуется проводить на опорных (ключевых) участках, на которых осуществляется изучение геологической среды с использованием комплекса других видов работ (бурение скважин, проходка шурфов, зондирование, определение характеристик свойств грунтов полевыми и лабораторными методами). Данные наблюдений на опорных участках используются для обеспечения точности интерпретации результатов геофизических исследований при их интерполяции и экстраполяции результатов на весь исследуемый участок.

10. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

10.1. Геофизические исследования для разработки рабочей документации должны обеспечивать получение материалов и данных для детализации и уточнения инженерно-геологических условий конкретных участков строительства проектируемых зданий и сооружений и прогноз их изменений в период строительства и эксплуатации с детальностью, необходимой и достаточной для обоснования окончательных проектных решений.

10.2. Геофизические исследования на участках проектируемого строительства зданий и сооружений выполняются для уточнения отдельных характеристик в пределах сферы взаимодействия сооружений с геологической средой: глубины залегания и рельефа кровли скальных и малосжимаемых грунтов, зон распространения слабых грунтов и развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов, а также на сложных участках трасс линейных сооружений (на переходах через естественные и искусственные препятствия, проложения труб под насыпями, устройства опор мостов).

Начатые ранее стационарные наблюдения за динамикой развития опасных геологических процессов необходимо продолжать в соответствии с п. 5.10 СП 11-105-97 (часть I), особенно в пределах сооружений I уровня ответственности и экологически опасных производств.

10.3. В комплексе геофизических методов повышается роль их скважинных и подземных модификаций. В частности, для сооружений повышенного уровня ответственности рекомендуется выполнять сейсмоакустическое или радиоволновое просвечивание массива между скважинами или горными выработками.

10.4. Положение геофизических точек на площадке проектируемых зданий и сооружений выбирается, исходя из необходимости уточнения геологического строения по контурам сооружений и их осям, в местах резкого изменения нагрузок на фундаменты, на границах различных геоморфологических элементов.

Общее количество точек геофизических наблюдений, выполняемых в пределах контура проектируемых зданий и сооружений, определяется уровнем их ответственности в соответствии с п. 8.4 СП 11-105-97 (часть I). Для зданий и сооружений I уровня ответственности количество геофизических наблюдений должно быть не менее 4 –5 точек, для зданий и сооружений II уровня ответственности — не менее трех то-

чек, для зданий и сооружений III уровня ответственности геофизические исследования, как правило, не проводятся.

10.5. На трассах воздушных электропередач геофизические исследования проводятся в пунктах установки опор. Количество точек наблюдения под каждой опорой в зависимости от сложности инженерно-геологических условий выбирается от 1 до 3.

10.6. На участках электрических подстанций и на прилегающих территориях должны быть выполнены электроразведочные работы с целью установления геоэлектрического разреза и удельного электрического сопротивления грунта для проектирования заземляющих устройств. Комплекс электроразведочных работ для решения этой задачи, как правило, включает ЭП и ВЭЗ.

10.7. По трассам металлических трубопроводов различного назначения с целью проектирования защитных сооружений следует выполнять электроразведочные работы для определения блуждающих токов и оценки коррозионной агрессивности (КА) грунта в соответствии с п. 6.2.16. Измерения блуждающих токов предусматриваются через 250—500 м или на участке детализации в количестве 1—2 точки. Количество точек полевого определения КА грунта должно быть не менее трех для каждого инженерно-геологического элемента.

10.8. При назначении глубины исследований следует руководствоваться требованиями, изложенными в пп. 8.5—8.7 СП 11-105-97 (часть I). Глубина исследований, как правило, должна достигать полуторной мощности активной зоны. Для сооружений I уровня ответственности глубину геофизических исследований следует устанавливать по расчету и обосновывать в программе изысканий.

11. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

11.1. Геофизические исследования при инженерно-геологических изысканиях в период строительства, эксплуатации и ликвидации предприятий, зданий и сооружений должны обеспечивать совместно с другими видами инженерно-геологических работ получение материалов и данных о состоянии и изменениях отдельных компонентов геологической среды на территории объекта в соответствии с п. 4.21 СНиП 11-02-96. Геофизические исследования выполняются в случаях, предусмотренных п. 9 3 СП 11-105-97 (часть I).

11.2. Геофизические исследования в период строительства осуществляются, как правило, с целью:

обследования оснований существующих сооружений, в том числе в тоннелях и горных выработках;

геотехнического контроля за качеством возведения земляного сооружения (укладки и уплотнения грунтов) и инженерной подготовки основания намывных и насыпных грунтов;

выполнения стационарных наблюдений за изменением инженерно-геологических условий в процессе строительства, особенно на участках возможного развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

11.3. Геофизические исследования при проведении геотехнического контроля за качеством возведения земляного сооружения и инженерной подготовки основания намывных или насыпных грунтов используются для решения следующих задач:

контроль качества уплотнения насыпных грунтов при возведении земляного полотна железных и автомобильных дорог, земляных дамб и плотин;

контроль качества искусственного закрепления грунтов;

контроль сплошности и устойчивости противофильтрационных цементационных завес;

контроль качества закрепления рыхлых, разуплотненных грунтов при проходке горных выработок — шахтных стволов, тоннелей;

наблюдение за состоянием грунтов при проходке горных выработок;

определение мест утечек из водохранилищ, а также мест разгрузки вод трещиноватыми зонами;

контроль за состоянием основания плотин.

11.4. Состав и объемы геофизических работ, а также периодичность наблюдений следует устанавливать в программе изысканий, исходя из особенностей сооружения, инженерно-геологических и гидрологических условий, сроков выполнения строительных работ и интенсивности протекания процессов.

11.5. *При контроле качества уплотнения насыпных грунтов* основными методами являются сейсмические (профилирование СППБ МПВ, сейсмокаротаж и просвечивание), а также радиоизотопные методы определения влажности и плотности. Контроль осуществляется после отсыпки и укатки каждого слоя. Результаты сейсмических измерений сопоставляются с прямыми измерениями плотности грунта.

При контроле качества уплотнения земляного сооружения в целом (плотин, насыпей) выполняется сейсмическое профилирование и просвечивание массива. В наиболее ответственных случаях применяются различные схемы сейсмического просвечивания массива, при которых получают информацию, необходимую и достаточную для надежного томографического отображения результатов.

11.6. *Контроль качества искусственного закрепления грунтов* выполняется сейсмоакустическими методами и электроразведкой методом сопротивлений. Для этих целей также могут быть использованы РЛЗ, РВП. Наиболее эффективной является методика сейсмического просвечивания массива. Измерения выполняются до и после укрепления грунта с определением скоростей продольных и поперечных волн, по которым оценивается степень цементации грунтов.

Повторные (через 2—3 месяца) измерения дают информацию об упрочнении и степени сохранности завесы.

11.7. *Качество закрепления рыхлых, разуплотненных грунтов* при проходке горных выработок (шахтных стволов, тоннелей) оценивается с помощью акустического и ультразвукового межскважинного прозвучивания и каротажа. Спецификой таких исследований является производство работ в скважинах малого диаметра (от 36 мм), различным образом ориентированных в пространстве в зависимости от решаемых задач.

11.8. *Наблюдение за состоянием грунтов при проходке горных выработок* осуществляется с целью уточнения геологического строения, опережающей разведки массива по линии проходки, изучения крепости пород в тоннеле перед проходческим щитом, шахтах, машзалах и других подземных выемках. Указанные задачи решаются методами подземной геофизики: сейсмоакустикой, электроразведкой, РЛЗ, а также методами естественных электромагнитных импульсов (ЕИЭМЗ) и акустической эмиссии (АЭ).

11.9. *Определение мест утечек и мест разгрузки вод* производится с помощью методов, изложенных в п. 6.3.4.

11.10. *Обследование состояния грунтов оснований зданий и сооружений (в том числе плотин)* осуществляется на основе стационарных наблюдений за геофизическими параметрами среды (скоростью упругих волн, электрическим сопротивлением, температурой и др.), изменение которых позволяет судить об осадке оснований, фильтрации и других процессах. С этой целью выполняются повторные систематические наблюдения на одной и той же базе путем размещения приемной части аппаратурного комплекса в основании сооружения.

При обследовании оснований зданий и сооружений может выполняться определение глубины заложения фундаментов и оценки их состояния.

Для определения глубины погружения свай используется метод, основанный на регистрации отражений сейсмоакустических и электромагнитных импульсов от нижних торцов свай. Для определения глубины заложения фундаментов может быть использована электроразведка методом сопротивлений.

Состояние фундаментов (бетонных, кирпичных), стен и перекрытий оценивается с помощью ультразвуковых и акустических измерений способами профилирования и прозвучивания в соответствии с ГОСТ 176247.

11.11. В период эксплуатации объектов геофизические исследования выполняются для обследования грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений по техническому заданию заказчика с целью выявления изменений геологической среды за период строительства и эксплуатации сооружений и их соответствия прогнозу. Для решения этих задач рекомендуется применять различные виды каротажа, межскважинкые просвечивания и различные виды зондирований.

В период эксплуатации геофизические исследования выполняются также для осуществления стационарных наблюдений за отдельными компонентами геологической среды, а также за развитием опасных геологических и инженерно-геологических процессов в соответствии с п. 9.10 СП 11-105-97 (часть I). Стационарные геофизические наблюдения следует осуществлять на основе сети скважин или точек зондирования, созданной на предшествующих этапах изысканий, или на вновь организованной на площадках существующих зданий и сооружений и (или) на участках развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

11.12. Геофизические исследования при изысканиях для расширения и реконструкции сооружений в процессе их эксплуатации выполняются для получения информации об изменениях инженерно-геологических и гидрогеологических условий, в том числе состава, состояния и свойствах грунтов, активности геологических и инженерно-геологических процессов, произошедших за период строительства и эксплуатации сооружений.

Наиболее эффективными являются скважинные методы: различные виды каротажа (акустический, радиоактивный, электрический), ВСП, а также сейсмоакустическое и радиоволновое про-

свечивание между горными выработками. Из наземных методов применяются: сейсморазведка МПВ, МОГТ с высоким разрешением, георадиолокация и электроразведка методом ВЭЗ.

При составлении программы геофизических исследований в населенных пунктах следует учитывать условия их выполнения в производственных комплексах (в том числе эксплуатируемых), внутри зданий и сооружений, в подвалах, при наличии коммуникаций, кабелей, твердых покрытий улиц и дорог, а также в условиях плотной городской застройки. Это обусловливает высокий уровень электрических и механических помех, ограниченность линейных размеров территории (и соответственно измерительной установки), усложнение крепления датчиков и заземления электродов, ограниченность применения эффективных, но потенциально опасных ударных, взрывных и т.п. устройств.

В полосе трассы линейных сооружений используются георадиолокация, выполняемая в непрерывном режиме с движущегося транспортного средства, сейсморазведка МПВ, электродинамическое зондирование (ЭДЗ). Остальные методы, включая электроразведку, имеют ограниченное применение.

При реконструкции или ликвидации зданий и сооружений по отдельному техническому заданию заказчика может выполняться обследование конструктивных элементов зданий и сооружений (фундаментов различной конструкции, опор, отдельных свай, несущих стен, перекрытий и др.) для обнаружения в них дефектов и изучения развития напряженного состояния.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин	Определение
Аномалия (или полезный сигнал)	Отклонение измеренного параметра поля от нормального, в качестве которого принимается поле над однородным полупространством (при наблюдениях на поверхности) или в неограниченном пространстве (при скважинных наблюдениях)
Геологическая среда	Верхняя часть литосферы, представляющая собой многокомпонентную динамическую систему (горные породы, подземные воды, газы, физические поля), в пределах которой осуществляется инженерно-хозяйственная деятельность
Геофизические методы	Способы и средства изучения строения, состава и состояния геологической среды путем измерения информативных параметров физических полей искуственного или естественного происхождения с последующей обработкой и интерпретацией получаемой при этом информации
Геофизические поля	Различные физические поля в Земле (естественные и искусственно создаваемые), обусловленные взаимодействием нейтральных или заряженных материальных тел, элементарных частиц и квантов энергии. К геофизическим полям относятся: гравитационные, магнитные, электрические, электромагнитные, сейсмических волн, температурные, радиационные, параметры которых изменяются во времени и в пространстве
Геофизические условия	Совокупность компонентов геологической среды, определяющих структуру и интенсивность геофизических полей, от которых зависят возможности различных геофизических методов исследования, а также условий, определяющих возможность выполнения геофизических наблюдений, и которые необходимо учитывать при выборе методики наблюдений и способов интерпретации получаемых материалов
Геоэлектрическое, геосейсмическое и другое строение	Распределение в изучаемом массиве соответствующих свойств, изучаемых данным методом геофизики, — удельных электрических сопротивлений, скоростей упругих волн и др.
Глубина исследований	Глубина, до которой характеризуется массив применяемым геофизическим методом или комплексом методов
Глубинность геофизического метода	Характеристика, определяющая возможности обнаружения аномалеобразующего объекта, выражаемая в единицах длины и зависящая от размеров и свойств этого объекта
Действующее расстояние измерительной установки	В электроразведке — линейные размеры установки r, определяющие глубинность метода и разрешающую способность: для четырехэлектродных симметричных установок AMNB — r = AB/2, трехэлектродных — r = AO, для дипольных — r = OO′, где O — центры питающих и приемных диполей; в частотных методах r — расстояние от излучателя до приемника
Инженерно-геологические условия	Совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории (рельефа, состава, состояния, условий залегания пород и подземных вод, их свойств, геологических и инженерно-геологических процессов и явлений), влияющих на условия проектирования, строительства и эксплуатации сооружений
Интерпретация геофизических данных	Определение параметров (физических и физико-механических свойств) пород и пространственного их распределения в исследуемом массиве по измеренным параметрам изучаемого поля, а также путем использования соответствующих аналитических или корреляционных связей
Комплексирование	Использование нескольких методов в рамках одной задачи с целью уменьшения пределов неоднозначности ее решения
Мониторинг природно-технических систем	Система стационарных наблюдений за состоянием природной среды и сооружений в процессе их строительства, эксплуатации, а также после ликвидации и выработка рекомендаций по нормализации экологической обстановки и инженерной защите сооружений
Обратная задача	Определение распределения в пространстве физических параметров среды по наблюденному физическому полю
Прямая задача	Определение параметров формирующегося физического поля по известным параметрам модели изучаемой среды
Разрешающая способность геофизического метода	Минимальные размеры объекта, обнаруживаемого данным методом при данных условиях
Физико-геологическая модель	Обобщенное и формализованное описание пространственно-временной изменчивости параметров среды, на основе которого устанавливается взаимосвязь параметров наблюдаемых физических полей и параметров моделей
Эквивалентные решения	Такие различные решения обратной геофизической задачи, которые удовлетворяют одному и тому же условию — одной и той же структуре и интенсивности изучаемого поля
Эффективные и кажущиеся величины	Величины, которые имеют размерность параметров среды, но являются при этом параметрами изучаемого поля, определяемыми в результате геофизических исследований, и совпадающие с параметрами изучаемой среды только в случае однородности последней

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ОБЪЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ РЕШЕНИИ ОСНОВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Стадии (этапы) проектирования	Объемы										
	Электроразведка			Сейсморазведка			Магниторазведка, гравиразведка		Газово-эманационная съемка		Скважные методы
	Профилирование		Зондирование	Профилирование		Зондирование (СЗ)	Расстояние между профилями, м	Шаг по профилю, м.	Расстояние между профилями, м	Шаг по профилю, м	Кол-во точек на 1 км^2
	Расстояние между профилями, м	Шаг по профилю, м	Кол-во ф.н. на 1 км^2	Расстояние между профилями, м	Шаг по профилю, м	Кол-во на 1 км^2					
Изучение в плане и разрезе субгоризонтальных геологических границ, обусловленных сменой литологического состава, степени трещиноватости, обводненности, состояния (талое мерзлое) и т.п.											
Предпроектная	500—750	10—20	10—20	500—750	10—20	5—10	—	—	—	—	2—10
Проектная	50—250	5—10	20—50	50—250	2—10	10—20	—	—	—	—	10—50
Изучение в плане и разрезе негоризонтальных геологических границ											
Предпроектная	100—300	10—20	20—50	500—700	10—20	10—20	50—100	10—25	25—50	5—10	2—15
Проектная	25—50	5—10	50—100	100—500	2—10	20—40	20—50	5—10	10—20	5—10	25—100
Обнаружение и изучение в плане и разрезе локальных неоднородностей, связанных с результатами тектонической деятельности, процессами выветривания, карстообразования, мерзлотными явлениями и техногенезом											
Предпроектная	100—500	10—20	20—50	100—500	10—20	20—50	20—100	2,5—5,0	25—50	5—10	2—15
Проектная	25—50	5—10	50—100	20—50	2—5	100—500	5—10	1,0—2,5	10—20	5—10	25—100
Определение состава, строения, состояния и свойств грунтов											
Предпроектная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2—15
Проектная	—	—	Сог. с зак.	—	—	Сог. с зак	—	—	—	—	15—100
Изучение геологических и инженерно-геологических процессов											
Предпроектная	160—500	10—20	20—50	20—50	2—5	10—20	20—100	2,5—5,0	25—50	5—10	—
Проектная	25—50	5—10	50—100	50—100	2—5	20—50	2—10	1,0—2,5	10—20	5—10	2—10

Примечания

1 При назначении объемов необходимо учитывать количество профилей и точек наблюдений, выполненных ранее.

2 Густота сети в пределах указанных диапазонов зависит от масштабов съемки, определяемых сложностью инженерно-геологических условий и степенью ответственности проектируемого сооружения.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

СОКРАЩЕННЫЕ НАЗВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Принятое обозначение	Название метода
АК	Акустический каротаж
АП	Акустическое просвечивание
АЭ	Акустическая эмиссия
БКЗ	Боковое каротажное зондирование
ВИЭП	Векторное измерение электрического поля
ВП	Метод вызванной поляризации
ВСП	Вертикальное сейсмическое профилирование
ВЭЗ	Вертикальное электрическое зондирование
ВЭЗ ВП	Вертикальное электрическое зондирование методом вызванной поляризации
ВЭЗ МДС	Вертикальное электрическое зондирование по методу двух составляющих
Г	Гравиразведка
ГГМ	Гамма-гамма метод
Г-Э	Газово-эманационная съемка
ДЗ	Дистанционное зондирование (электромагнитное)
ДИП	Дипольное индукционное профилирование
ДЭМП	Дипольное электромагнитное профилирование
ДЭП	Дипольное электропрофилирование
ЕИЭМПЗ	Метод естественных импульсов электромагнитного поля Земли
ЕП	Метод естественного электрического поля
ЗСП	Зондирование становлением поля
ИЗ	Изопараметрическое зондирование (электромагнитное)
Кар	Каротаж
КВЭЗ	Круговое вертикальное электрическое зондирование
КМПВ (МПВ)	Корреляционный метод преломленных волн
КС	Каротаж сопротивлений
КЭП	Комбинированное электропрофилирование
М	Магниторазведка
МДС	Метод двух составляющих
МЗТ	Метод заряженного тела
МОВ	Метод отраженных волн
МП	Межскважинное прозвучивание
МПВ	Метод преломленных волн
МПП	Метод переходных процессов
НМ	Нейтронный метод
ННМ	Нейтрон-нейтронный метод
НСП	Непрерывное сейсмическое профилирование
ОГП	Метод общей глубинной площадки
ОГТ	Метод общей глубинной точки

Продолжение приложения В

Принятое обозначение	Название метода
ПМР	Метод протонного магнитного резонанса
ПС	Каротаж потенциалов собственной поляризации
Рез	Резистивиметрия
Расх	Расходометрия
Радиокип	Радиокомпарационный метод
РВП	Радиоволновое просвечивание
РЛЗ	Радиолокационное зондирование
С	Сейсморазведка (наземная)
СЗ	Сейсмозондирование
СК	Сейсмический каротаж
СП	Сейсмическое просвечивание
СППБ	Сейсмопрофилирование на постоянной базе
СЭП	Симметричное электропрофилирование
Т°	Термометрия
УЗК	Ультразвуковой каротаж
УКС	Ультразвуковая керноскопия
ЧЗ	Частотное зондирование
ЧЭМЗ	Частотное электромагнитное зондирование
ЭДЗ	Электродинамическое зондирование
ЭМК	Электромагнитный каротаж
ЭП	Электропрофилирование
ЭП ВП	Электропрофилирование методом вызванной поляризации
ЭП МДС	Электропрофилирование по методу двух составляющих

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

Электромагнитные методы					
Модификации	**Изучаемые параметры**	**Используемые частоты**	**Виды исследований**	**Глубинность и просвечиваемые базы // разрешающая способность (*n* —целое число от 1 до 9)***	**Решаемые задачи /// Особые условия**
Методы естественного поля					
Метод естественного электрического поля постоянного тока (ЕП)	Естественные потенциалы электрохимического и электрокинетического происхождения (ЕП)	0	Наземное и акваториальное профилирование, площадная съемка; каротаж		Обнаружение мест коррозии металлических конструкций, областей питания и разгрузки подземных вод, мест просачивания вод через земляные сооружения, изучение динамики загрязнения
Метод естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ)	Амплитудные и частотные характеристики естественных электромагнитных импульсов Земли				Установление напряженного состояния массива, локализация мест возможных нарушений сплошности, степени трещинообразования
Электроразведка постоянным (или низкочастотным) током					
Электропрофилирование (ЭП) различными установками	Кажущиеся электрические сопротивления, являющиеся параметрами поля постоянного тока; удельные электрические сопротивления (УЭС) пород	0—30 Гц	Наземные	От $n \cdot 0{,}1$ до $n \cdot 10$ м // от 0,1 м до $n \cdot 10$ м Зависят от соотношения УЭС пород, мощности геоэлектрических слоев и от размера измерительной установки	Картирование границ пород различного состава, влажности, пористости, обнаружение и картирование субвертикальных геологических тел (зон повышенной трещиноватости, льдистости и др.)
Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) различными установками			Наземные, на акваториях		Расчленение разреза по вертикали, определение состава, строения и ряда свойств пород (в том числе коррозионной агрессивности, водно-физических), наблюдение за динамикой процессов
Электропрофилирование и зондирование по методу двух составляющих (ЭП МДС) и (ВЭЗ МДС), метод векторных измерений электрического поля (ВИЭП)	Интенсивность электрического поля постоянного тока, измеренная в различных направлениях		Наземные		То же, что и ЭП и ВЭЗ, но с возможностью изучения сложно построенных сред при наблюдениях на одном профиле или в одной точке
Электрокаротаж сопротивлений (КС); токовый каротаж	Кажущиеся электрические сопротивления, УЭС; сила тока в питающей цепи	0—30 Гц	Скважинные	// от 0,01 м в зависимости от размеров зонда	Расчленение разреза, обнаружение зон повышенной трещиноватости, пористости, обводненности, льдистости, определение состава, строения и свойств пород
Метод заряженного тела (МЗТ)	Поле электрически заряжаемого проводящего тела			До 100 м	Изучение направления и скорости движения подземных вод
Резистивиметрия	УЭС жидкостей		Лабораторные, скважинные, акваториальные		Оценка коррозионной агрессивности грунтов; экспресс-оценка состава грунтов; изучение режима подземных вол, загрязнения

Модификации	Изучаемые параметры	Используемые частоты	Виды исследований	Глубинность и просвечиваемые базы // разрешающая способность (n —целое число от 1 до 9)*	Решаемые задачи /// Особые условия
		Метод вызванной поляризации			
Электропрофилирование и зондирование методом вызванной поляризации (ЭП ВП) и (ВЭЗ ВП)	Поляризуемость грунтов	0—30 Гц	Наземные	Те же, что и у ЭП и ВЭЗ	Уточнение литологического состава и влажности при совместном использовании с методом сопротивления
		Электроразведка переменными установившимися электромагнитными полями			
Частотное электромагнитное зондирование (ЧЭМЗ)**: частотное зондирование (ЧЗ), дистанционное зондирование (ДЗ), изопараметрическое зондирование (ИЗ)	Параметры гармонических полей, создаваемых электрическими и магнитными диполями	1 кГц — n100 кГц	Наземные	n · м — n · 100 м // 0,5 м — 10 м глубина зависит от частоты э.-м. волн и расстояния между излучателем и приемником	Расчленение разреза по вертикали с выделением субгоризонтальных границ пород, различающихся по УЭС и диэлектрической проницаемости
Дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМП): высокочастотное (ВЧЭП)**, непрерывное (НЭП)**	Те же, что и при зондированиях, но измерения выполняются на профилях или по площади при постоянных частоте и расстояниях излучатель-приемником		Наземные	n · м — n · 10 м // 0,5 шага	Картирование границ пород различного состава, влажности, пористости, обнружение и картирование субвертикальных геологических тел (зон повышенной трещиноватости, льдистости и др), поиск металлических конструкций под поверхностью, при благоприятных условиях определение рельефа кровли высокоомных пород
Радиоволновое просвечивание (РВП)	Изучение электрического и (или) магнитного компонентов электромагнитного поля при возбуждении в одной скважине и приеме в другой, на поверхности или же в той же скважине	0,1—30 МГц	Скважинные, скважинно-наземные	10 м — n · 10 м // 1 м — 15 м	Оценка состояния и мониторинг грунтов и гидрогеологических условий непосредственно под основанием сооружений или на глубоких горизонтах, где недостаточно разрешающей способности наземных методов, а также на участках плотной городской застройки и при высоком уровне техногенных помех /// ρ > 20 Ом·м, скв > 45 мм
Зондирование методом становления поля (ЗСП) и переходных процессов (МПП)	Анализ процесса становления поля в ближней зоне, создаваемого электрическим диполем, после его отключения	0, наблюдения начиная с 3—5 мс	Наземные	1 м — n · 100 м // 0,5 м — 10 м	Расчленение разреза по вертикали на слои с разными УЭС
		Электроразведка переменными неустановившимися электромагнитными полями			
Радиокип**	Изучение электромагнитного поля, создаваемого ДВ и СДВ радиостанциями	n10 кГц — n МГц	Наземные	n · м — n · 10 м // 0,5 шага	Геологическое картирование, выделение субвертикальных границ, локализация подземных кабелей, трубопроводов
Радиолокационное зондирование (РЛЗ)	Изучение динамических и кинематических характеристик электромагнитных импульсов, прошедших через исследуемую среду	Короткие импульсы (нсек); 10-n·100 кГц	Наземные, на акваториях, аэрометоды	n · м — n · 10 м	Определение положения границ, оценка состава и состояния пород. Особо благоприятные среды для этого метода лед и сухие пески
Радиолокационная (РЛ) съемка	Изучение электромагнитных импульсов, отраженных от дневной поверхности	То же	Аэро- и космическая	n · 0,1 м	Изучение состояния приповерхностного слоя пород или почв, в первую очередь его обводненность
Радиотепловая и инфракрасная съемки	Изучение естественного э.-м. излучения земной поверхности	СВЧ	Аэро, наземные	Приповерхностный слой	Выделяет таликовые участки среди мерзлых, возможно выявление не слишком глубоко залегающих внутригрунтовых льдов

Сейсмоакустические методы					
Модификации	Изучаемые параметры	Используемые частоты	Виды исследований	Глубинность и просвечиваемые базы // разрешающая способность (n —целое число от 1 до 9)*	Решаемые задачи /// Особые условия
Сейсмические					
Корреляционный метод преломленных волн (КМПВ, МПВ), метод отраженных волн (МОВ), в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ)	Изучение динамических и кинематических характеристик упругих колебаний в среде, вызванных искусственными источниками возбуждения колебаний	< 1 кГц	Наземные	В зависимости от используемых частот от n метров до $n \cdot 100$ м // 0,5 м — 10 м	Расчленение разреза, изучение положения геологических границ, обусловленных сменой литологического состава, состояния, степени трещиноватости, влагонасыщенности; изучение оползневых и карстовых участков; изучение физико-механических свойств, их анизотропии
Сейсмический каротаж (СК), сейсмическое просвечивание (СП), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)			Скважиные	Определяется глубиной скважины // 0,1 м — 1 м	Расчленение разреза, обнаружение границ ниже забоя и в стороне от скважины, выделение зон трещиноватости и разуплотнения, оценка физико-механических свойств
Непрерывное сейсмическое профилирование НСП		150—750 Гц	На акваториях	До $n \cdot 100$ м // 0,1 — $n \cdot$ м	Изучение строения дна, расчленение разреза по литологии, оценка состава и свойств грунтов
Акустические					
Акустическое просвечивание (АП), акустический каротаж (АК), профилирование по стенкам	Изучение кинематических и динамических характеристик вынужденных упругих колебаний	1—17 кГц	На поверхности и внутри массива	До $n \cdot 10$ м // 0,05 м	Изучение свойств массива пород, строительных материалов и состояния конструкций, обнаружение дефектов
НСП		> 1 кГц	На акваториях		
Акустическая эмиссия (АЭ)	Изучение акустической эмиссии		На поверхности, в шпурах, в скважинах	Удаленность от источника возбуждения · 10 м	Локализация мест смещения грунтов и трещинообразования, обнаружение участков их подготовки
Ультразвуковые					
Ультразвуковой каротаж (УЗК)	Изучение динамических и кинематических характеристик упругих колебаний, определяемых свойствами исследуемого материала	> 10 кГц	На поверхности, в шпурах и скважинах	До 1 м // 0,01 м	Изучение состава, строения и свойств грунтов, в том числе мерзлых, расчленение разреза по вертикали
УЗ просвечивание и профилирование			На образцах	До 0,5 м // 0,001 м	Изучение состава, строения и свойств грунтов, анизотропии, установление однородности образцов

Модификации	Изучаемые параметры	Используемые частоты	Виды исследований	Глубинность и просвечиваемые базы // разрешающая способность (*n* —целое число от 1 до 9)*	Решаемые задачи /// Особые условия
			Магниторазведка		
Профильная и площадная магнитная съемка (М)	Изучение магнитного поля Земли, магнитной восприимчивости	—	Наземные		Картирование в условиях магнитоактивных пород. Расчленение по литологическим признакам осадочных и четвертичных отложений, изучение трещиноватости скальных пород, изучение геодинамических процессов на оползневых и карстоопасных участках
			Гравиразведка		
Профильная и площадная гравиразведочная съемка (Г)	Изучение аномалий поля силы тяжести	—	Наземные	До 10 м	Обнаружение и определение геометрии аномалеобразующих тел, глубины их залегания /// Отличия по плотности 0,02 — 0,03 г/см^2
			Ядерно-физические		
Гамма-гамма метод (ГГМ), нейтрон-нейтронный метод (ННМ), метод естественной радиоактивности	Изучение ядерных свойств пород	—	Скважинные, подземные	Определяется глубиной скважины // 0,1 м	Определение плотности, влажности и глинистости грунтов в естественном состоянии
Метод протонного магнитного резонанса (ПМР)			Наземные		Детектирование подземных вод
			Газово-эманационные		
Радон-тороновый метод, газово-эманационный метод (Г-Э)	Изучение газового состава подпочвенного воздуха	—	Наземные		Структурно-геодинамическое картирование, выделение устойчивых блоков пород и геодинамических зон с различным уровнем активности, связанным с разрывной тектоникой, оползнями, карстом /// Не применяется в заболоченной местности и на обнажениях скальных пород

* Величина условная. В сейсмоакустических методах разрешающая способность определяется в основном частотой используемых волн

** Методы, редко применяющиеся в инженерной геофизике, так как не обеспечены соответствующей серийной аппаратурой.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(рекомендуемое)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Задачи	Площадные объекты	Линейные объекты			
		Участки насыпей, нулевых мест и выемок	Участки мостовых переходов, путепроводов, эстакад	Участки тоннелей	Подземные трубопроводы и кабели
Изучение в плане и разрезе положения геологических границ					
Определение рельефа кровли скальных и мощности перекрывающих их нескальных грунтов и коры выветривания	ВЭЗ, МПВ, МОВ, ОТГ, *ВЭЗ МДС, ЧЭМЗ, ЭП, Кар, РЛЗ, Г, М*	МПВ, ВЭЗ, *ЭП, М*	МПВ, ВЭЗ *ЭП, М, СППБ*	МПВ, ВЭЗ, М, *ЭП*, ЗСП, МПП	МПВ, *ЭП, ВЭЗ*
Расчленение разреза скальных и дисперсных пород на слои различного литологического состава	ВЭЗ, МПВ, МОВ, Кар, *ВЭЗ МДС, ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, ВСП, М, РВП, СППБ*	МПВ, ВЭЗ, *ЭДЗ, ВЭЗ ВП, Кар*	МПВ, ВЭЗ, *ЭДЗ ВЭЗ ВП, Кар*	С, ВЭЗ, ЗСП, Кар	С, ВЭЗ, *ЭДЗ, ВЭЗ ВП,* Кар
Определение глубины залегания подземных вод и мощности водоносных горизонтов	ВЭЗ, МПВ, *ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, РЛЗ, ЗСП, МПП, ПМР*	ВЭЗ, *ЭП, С, ВЭЗ ВП, М, Кар*	ВЭЗ, ЭП, С, *ВЭЗ ВП, Кар*	ВЭЗ, *ЭП*, МПВ, *ВЭЗ ВП, М, Кар*	ВЭЗ, МПВ, *ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ*
Определение глубины залегания водоупоров и их целостности	ВЭЗ, МПВ, МОВ, НСП, Кар, *ВЭЗ, МДС, ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, ВСП, ПМР*	МПВ, ВЭЗ, ЭДЗ, ВЭЗ ВП, Кар, ЧЭМЗ	МПВ, ВЭЗ, ЭДЗ, ВЭЗ ВП, Кар	МПВ, ВЭЗ, ЗСП, Кар	С, ВЭЗ, ЭДЗ, ВЭЗ ВП, Кар
Определение глубины залегания, мощности и распространения линз и горизонтов засоленных вод и криопэгов	ВЭЗ, Кар, *ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, МПВ, МОВ*				
Определение в плане и разрезе положения границ мерзлых и немерзлых пород	ВЭЗ, ЭП, ЧЭМЗ, МПВ, СППБ, МОВ ДЭМП, ВЧЭП, НЭП, РЛЗ, *ВСП, ВЭЗ ВП, ЕП, Кар*				
Изучение локальных геологических неоднородностей					
Обнаружение и оконтуривание зон повышенной трещиноватости, тектонических нарушений и активных разрывных структур	ВЭЗ, ВЭЗ МДС, КВЭЗ, ЭП, ЕП, МПВ, МОВ, ВСП, СП НСП, Кар, ЧЭМЗ, РЛЗ, Г-Э, *ВЭЗ ВП, РВП, ДЭМП, НИЭМПЗ, М, Г, СППБ*	КВЭЗ, МПВ, *ЭП, М, СП, МП, УКС*	ВЭЗ, ВЭЗ МДС, КВЭЗ, ЭП, ЕП, МПВ НСП, Кар, ЧЭМЗ, РЛЗ, СППБ	ВЭЗ МДС, КВЭЗ, *ЭП, ДИП, ДЭМП,* МПВ, СП, *М*	ВЭЗ МДС КВЭЗ, С, *ЭП, М, СП, МП, УКС*
Обнаружение и оконтуривание карстовых полостей и подземных выработок	ВЭЗ, ВЭЗ МДС, ЭП, ВИЭП, РВП, МОВ, *ОГТ, ОГП ВСП, Г, Г-Э, СП, РЛЗ, М, СППБ*	ВЭЗ МДС, КВЭЗ, ЭП, МПВ, ВСП, *ВП, СП, МП, Г, РВП, Кар, СППБ*			
Обнаружение и оконтуривание погребенных останцов скальных пород и переуглублений в скальном основании	ОГТ, ВЭЗ, ВЭЗ МДС, ЭП, МПВ, Г, М, Г-Э, *ДЭМП, СП, РВП, РЛЗ, СППБ*			ОГТ, ВЭЗ, ВЭЗ МДС, ЭП, Г, М, Г-Э, *ДЭМП, СП, РЛЗ*	
Обнаружение и оконтуривание таликов, перелетков и мерзлых пород среди талых, отдельных ледяных тел и зон повышенной льдистости	ВЭЗ, ЭП, МПВ, Кар, *ЧЭМЗ, ДЭМП, ВЧЭП, НЭП, РЛЗ, СППБ, МОВ, ВСП, ВЭЗ ВП, ЕП, РЛЗ, Радиокип*	ВЭЗ, ЭП, С, РЛП, РЛЗ, *М, ЕП, МЗТ, УЭМЗ, Радиокип*			ВЭЗ и ЭП, С, РЛЗ, *М, ЕП, МЗТ, Радиокип*

Задачи	Площадные объекты	Линейные объекты			
		Участки насыпей, нулевых мест и выемок	Участки мостовых переходов, путепроводов, эстакад	Участки тоннелей	Подземные трубопроводы и кабели
Изучение в плане и разрезе положения геологических границ					
Обнаружение и оконтуривание пород, загрязненных различными загрязнителями	ЭП, ВЭЗ, *ЕП, С*				
Локализация мест разгрузки подземных и техногенных вод, мест фильтрации вод через земляные сооружения	ЕП, ЭП, Рез, Расх, МЗТ, ВЭЗ, *МПВ*	ЕП, ЭП, Рез, Расх, МЗТ, ВЭЗ, *МПВ*			
Локализация мест коррозии или опасности коррозии подземных металлических конструкций	ЭП, ЕП, ВЭЗ, лаб. изм. плотности катодного тока, регист. блуждающих токов				ЭП, ЕП, ВЭЗ, изм. блужд. токов
Определение состава, строения, состояния и свойств грунтов					
Определение литолого-петрографического состава	ВЭЗ, ВЭЗ ВП, МПВ, ВСП, СП, Кар		ВЭЗ, ВЭЗ ВП, МПВ, ВС, П, СП, Кар	Кар	
Определение физических свойств дисперсных пород (плотности, влажности, пористости)	ГГМ, ННМ, *УЗК, КС, ЭМК, МПВ, ВСП, СП, ВЭЗ, ЭДЗ, СППБ*				
Изучение трещиноватости и пористости скальных пород	МПВ, ВСП, СП, АК, УЗК, изм. на обр., *ВЭЗ СППБ*			МПВ, ВСП, СП, АК, УЗК, изм. на обр., *ВЭЗ*	
Определение водно-физических свойств	ВЭЗ, МПВ, ВП, *Кар*				
Определение деформационных и прочностных свойств пород	МПВ, ВСП, СП, АК, УЗК, изм. на обр., *ВЭЗ, ЭДЗ, СППБ*				
Оценка неоднородности массива скальных и дисперсных пород	МПВ, ВСП, СП на разных частотах, ОГТ, *ВЭЗ, ЭП, СППБ*				
Изучение напряженного состояния пород	МПВ, ВСП, ГП, Г-Э, ЕИЭМПЗ				
Определение минерализации подземных вод и засоленности дисперсных пород в мерзлом и немерзлом состоянии	ЭП, ВЭЗ, Рез, КС				
Определение льдистости и криогенного строения дисперсных пород	Комплексы УЗК и МП, ВЭЗ и КС				
Определение коррозионной агрессивности грунтов и подземных вод по отношению к стали	ЭП, ВЭЗ, изм. на обр.				ЭП, ВЭЗ, изм. на обр.

Задачи	Площадные объекты	Линейные объекты			
		Участки насыпей, нулевых мест и выемок	Участки мостовых переходов, путепроводов, эстакад	Участки тоннелей	Подземные трубопроводы и кабели
Изучение геологических и инженерно-геологических процессов (осуществляется по методике режимных наблюдений)					
Наблюдение за изменением глубины залегания уровня грунтовых вод	ВЭЗ, МПВ, ВСП, ***ВЭЗ ВП, ЧЭМЗ, РЛЗ***				
Определение направления и скорости движения подземных вод	Расх, Рез, МЗТ, ***ЕП***				
Обнаружение мест разгрузки подземных вод, утечек бытовых и промышленных вод	ЕП, T^{o}, ВЭЗ ВП, ***Рез***				
Наблюдение за влажностным режимом дисперсных пород зоны аэрации	ННК, КС ***ВЭЗ***, МПВ, ВСП, ***СП***				
Наблюдение за изменением глубины сезонного и техногенного промерзания и протаивания дисперсных и скальных пород	ВЭЗ, МПВ, ВСП, Кар, T^{o}, ***ЭП ЧЭМЗ, РЛЗ, СППБ***				
Наблюдение за изменением напряженного состояния, возникновением и развитием трещин	МПВ, ВСП, АП, СП, Кар, Г, ***ЕП, ЕИЭМПЗ, Г-Э, РЛЗ, М***				
Изучение опасных геологических и инженерно-геологических процессов	МПВ, ОГТ, Кар, ***СППБ, ЭП, ВЭЗ, ВЭЗ МДС, Г, М, Г-Э, ВЭЗ ВП, МЗТ, ЕИЭМПЗ, ЕП, T^{o}, РЛЗ***				
Сейсмическое микрорайонирование	МПВ, ВСП, СК, регист. сл. землетр., взрывов, микросейсм, ***Кар (ГГМ), сильных землетр.***				
Примечание — Курсивом обозначены вспомогательные геофизические методы.					

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Виды и состояние грунтов	Наименование инженерно-геологических характеристик, ед. измерения	Геофизический параметр, ед. измерения	Уравнение связи
Деформационные характеристики			
Для образцов скальных, полускальных пород (по Никитину В.Н.)	Статический модуль упругости E_c, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E_c = 0,35\ E_д^{1,14}$
Мерзлые дисперсные грунты (по Хазину Б.Г.)	Статический модуль упругости E_c, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E_c = 0,6 + 0,116E_д + 0,01\ E_д^2$
Мерзлые глины и супеси (по Горяинову Н.Н.)	Модуль деформации E, МПа	Скорость продольных волн V_p, м/с	$E = 8,13 \cdot 10^{-6} V_p^2$
Скальные породы (эффузивные) (по Воронкову О.К.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$ ($E_д = 104 + 8 \cdot 10^4$) МПа	$LgE = -0,75 + 1,14\ lgE_д$
Скальные породы (интрузивные и метаморфические) (по Воронкову О.К.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$ ($E_д = 104 + 8 \cdot 10^4$) МПа	$LgE = -1,45 + 1,28\ lgE_д$
Скальные породы (осадочные) (по Воронкову О.К.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$ ($E_д = 104 + 8 \cdot 10^4$) МПа	$LgE = -1,5 + 1,26\ lgE_д$
Скальные и полускальные грунты (по Савичу А.И. и Ященко З.Г.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,826 \cdot 10^{-4} E_д^{1,632}$
Дресвяные, щебенистые, крупнообломочные грунты (по Бондареву В.И.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,1\ E_д - 16$
Пески от крупных до гравелистых, выше УГВ (1 — по Агееву В.Н., Бондареву В.И., Шмакову В.Н.; 2 — по Бондареву В.И.; 3 — по Мишуриной И.П.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	1) $E = 0,0854\ E_д + 3$ $E = 0,116E_д - 4,7$
		Скорость P- и S-волн V_p и V_s, м/с	2) $E = 0,014V_p + 0,198V_s - 27$
		Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа. Коэффициент Пуассона μ. Глубина Z, м	3) $E = 11 + 0,03E_д + 12\mu + 0,1Z$
Пески влажные (по Бондареву В.И.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,0445E_д + 3,1$
Толща песчано-глинистых грунтов при природной влажности (по Григорчуку Е.С.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,64E_д + 3,5$
Толща песчано-глинистых грунтов, выше УГВ (по Бондареву В.И. и Писецкому В.В.)	Модуль деформации E, МПа	Скорость S-волн V_s, м/с	$E = 0,154V_s - 12$
Толща песчано-глинистых грунтов, ниже УГВ (1,2 — по Бондареву В.И. и Писецкому В.В.; 3 — по Мишуриной И.П.)	Модуль деформации E, МПа,	Скорость S-волн V_s, м/с	1) $E = 0,1517V_s - 18,9$
		Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа. Коэффициент Пуассона μ. Глубина Z, м	2) $E = 2,261 \cdot 10^{-4} V_s^2 + 4,2$
			3) $E = 2 + 0,03E_д + 10\mu + 0,1Z$

Продолжение приложения Е

Виды и состояние грунтов	Наименование инженерно-геологических характеристик, ед. измерения	Геофизический параметр, ед. измерения	Уравнение связи
Деформационные характеристики			
Толща песчано-глинистых грунтов (по Васильевскому В.Е.)	Модуль деформации E, МПа	Скорость Р-волн V_p, м/с. Плотность ρ, г/см^3	$E = \rho e^{V_p/(0,126 + 31)}\ 10^{-1}$
Лессовые суглинки, выше УГВ (по Минделю И.Г.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,045E_д + 7$
Лессовидные суглинки и супеси с включениями обломков, выше УГВ (по Минделю И.Г.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,033E_д + 6,5$
Суглинок мягкопластичный (по Мишуриной И.П.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа. Коэффициент Пуассона μ. Глубина Z, м	$E = 2,7 + 0,014E_д + 9,3\mu + 0,046Z$
Суглинок твердый (по Мишуриной И.П.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа. Коэффициент Пуассона μ. Глубина Z, м	$E = 10,3 + 0,016E_д + 0,11\mu + 0,047Z$
Глина твердая и полутвердая (по Мишуриной И.П.)	Модуль деформации E, МПа,	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа. Коэффициент Пуассона μ. Глубина Z, м	$E = 12,2 + 0,007E_д + 8,6\mu + 0,03Z$
Глинистые грунты Урала (по Бондареву В.И.)	Модуль деформации E, МПа	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$E = 0,108E_д - 1,9$
Прочностные характеристики			
Мерзлые грунты (по Зыкову Ю.Д. и Червинской О.П.)	Сцепление С, МПа	Скорость продольных волн V_p, м/с	$C = 1,8 \cdot 10^{-5} V_p^{1,75}$
Лессовидные породы при $W = 8 + 20$ % (по Минделю И.Г.)	Сцепление С, кПа	Модуль сдвига G, кПа	$C = 4,8 \cdot 10^{-4}G - 0,08$
Лессовидные непросадочные суглинки (по Бондареву В.И.)	Сцепление С, кПа	Модуль сдвига G, кПа	$C = 7,5 \cdot 15^{-4}G - 0,356$
Пески выше УГВ (по Бондареву В.И.)	Угол внутреннего трения φ, град	Модуль сдвига G, МПа. Скорость поперечных волн V_s, м/с	$\varphi = 5,64 \cdot 10^{-2}G + 29$ $\varphi = 4,98 \cdot 10^{-2}V_s + 23,3$
Пески ниже УГВ (по Бондареву В.И.)	Угол внутреннего трения φ, град	Модуль сдвига G, МПа. Скорость поперечных волн V_s, м/с	$\varphi = 0,378 \cdot 10^{-4}G^2 + 28,6$ $\varphi = 8,468 \cdot 10^{-5}V_s^3 + 27,8$
Для образцов скальных и полускальных грунтов (по Ляховицкому Ф.М.)	Предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Скорость Р-волн V_p, м/с. Динамический коэффициент Пуассона $\mu_д$. Плотность ρ, г/см^3. Скорость S-волн V_s, м/с	$\sigma_{сж} = \frac{V_p^2 \cdot \rho(1 - 2\mu_д)}{2C(1 - 2\mu_д)} 10^{-3}$ $\sigma_{сж} = \frac{rV_s^2}{C} 10^{-3}$ (С = 240 для известняков; С = 180 для метаморфических пород; С = 120 для древних интрузивных пород; С = 180 для песчаников и алевролитов; С = 55—65 для молодых интрузивных и эффузивных пород)

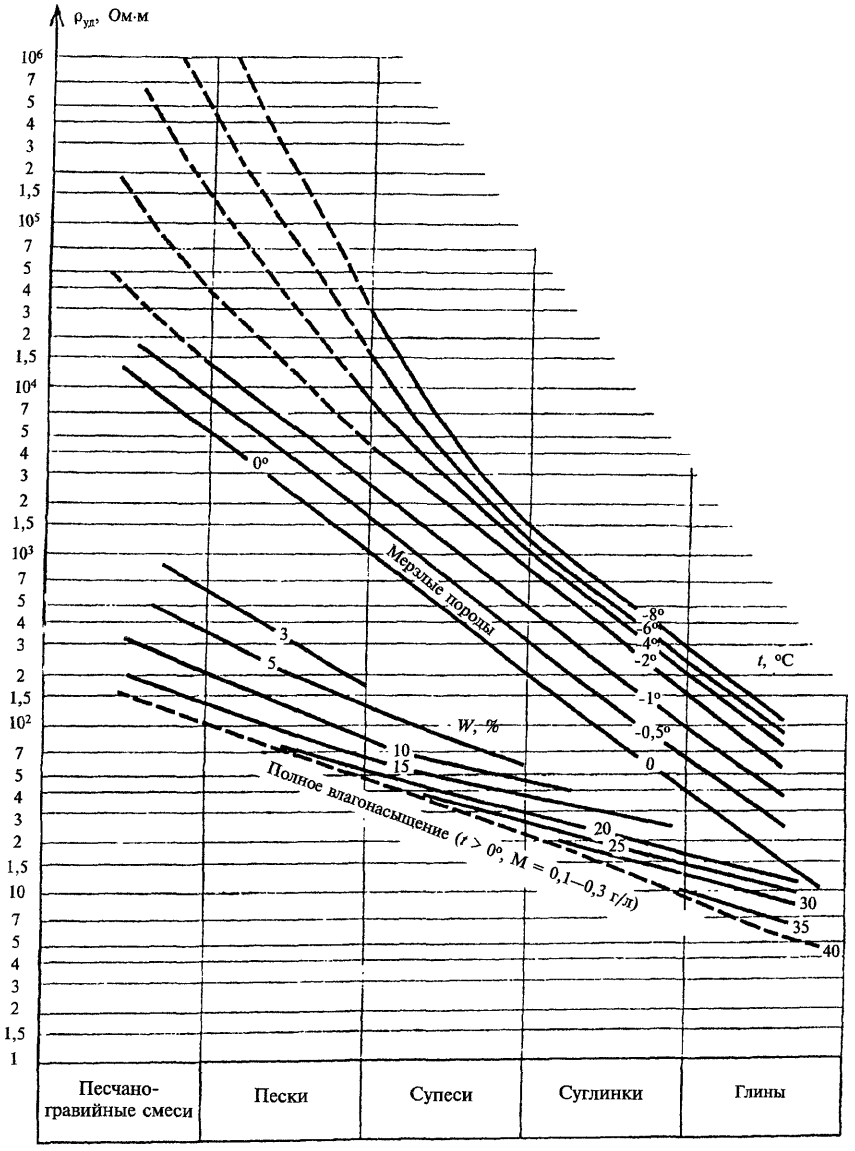
Продолжение приложения Е

Виды и состояние грунтов	Наименование инженерно-геологических характеристик, ед. измерения	Геофизический параметр, ед. измерения	Уравнение связи
Песок, суглинок, глина (по Потапову А.Д.)	Расчетное сопротивление R_u, кГ/см^2	Скорость продольных волн V_p, м/с	$R_u = 0{,}265 + 7{,}04 \cdot 10^{-4} + + 8{,}439 \cdot 10^{-6} V_p^2$
Физические характеристики			
Пески любой степени влажности (по Бондареву В.И.)	Объемная масса скелета ρ, г/см^3	Скорость продольных волн V_p, м/с	$\rho = 1{,}013\ V_p^{0{,}125} - 0{,}390$ $\rho = 0{,}322 \cdot 10^{-3} V_p + 1{,}660$
Лесс (по Горяинову Н.Н. и Поляковой Т.А.)	Объемная масса скелета ρ, г/см^3	Скорость S-волн V_s, м/с	$\rho_{ск} = 1{,}19 + 475 \cdot 10^{-6} V_s$
Песчаные грунты выше УГВ (по Бондареву В.И.)	Коэффициент пористости e	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$e = 37{,}5/E_д + 0{,}364$
	Пористость n, %	Динамический модуль Юнга $E_д$, МПа	$n = (15{,}58/E_д + 0{,}198)\ 100$
Органические грунты (торфы) (по Миронову В.А. и Тер-Теряну С.А.)	Коэффициент пористости e	Скорость SH-волны V_{SH}, м/с	$e = (297{,}12/V_{SH}) - 1{,}27$
Органические грунты (торфы) (по Миронову В.А. и Тер-Теряну С.А.)	Полная влагоемкость W_{sat}, кГ/кТ	Скорость SH-волны V_{SH}, м/с	$W_{sat} = (187{,}28/V_{SH}) - 0{,}52$
Органические грунты (торфы) (по Миронову В.А. и Тер-Теряну С.А.)	Весовая влажность W, кГ/кТ	Скорость SH-волны V_{SH}, м/с	$W = (174{,}06/V_{SH}) - 0{,}50$

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

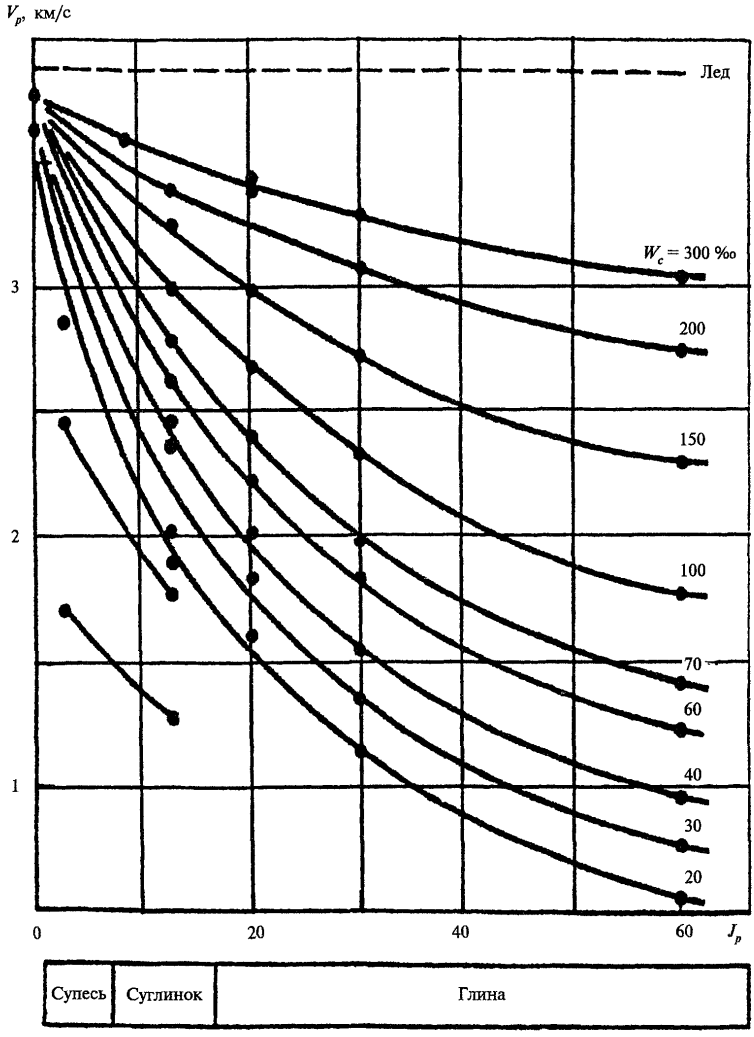
ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ (УЭС) ОТ СОСТАВА ГРУНТА



ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

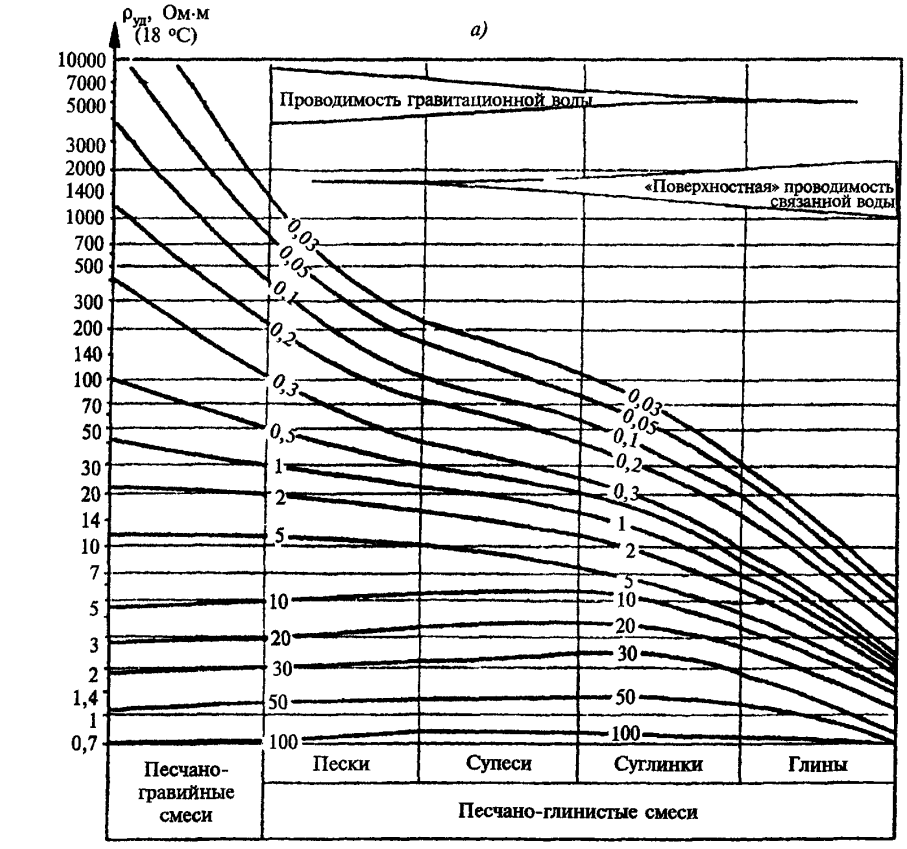
ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН (V_p) ОТ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПРИ $t = -1$ °С

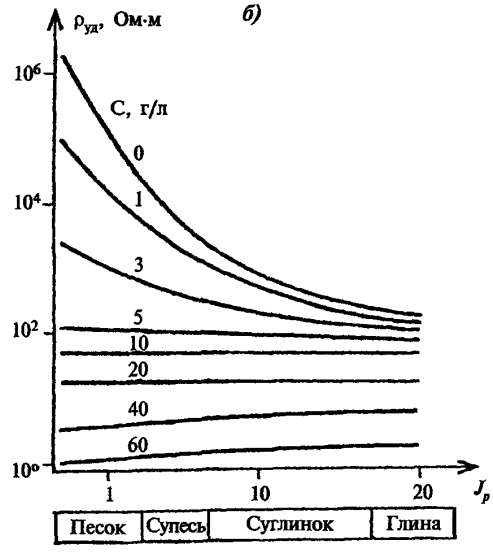


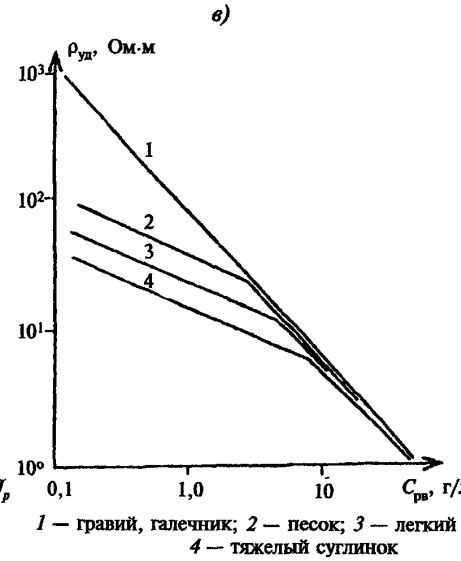
ПРИЛОЖЕНИЕ К

(справочное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (а) И ЗАСОЛЕННОСТИ МЕРЗЛЫХ (б) И ТАЛЫХ (в) ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ







1 — гравий, галечник; *2* — песок; *3* — легкий суглинок; *4* — тяжелый суглинок

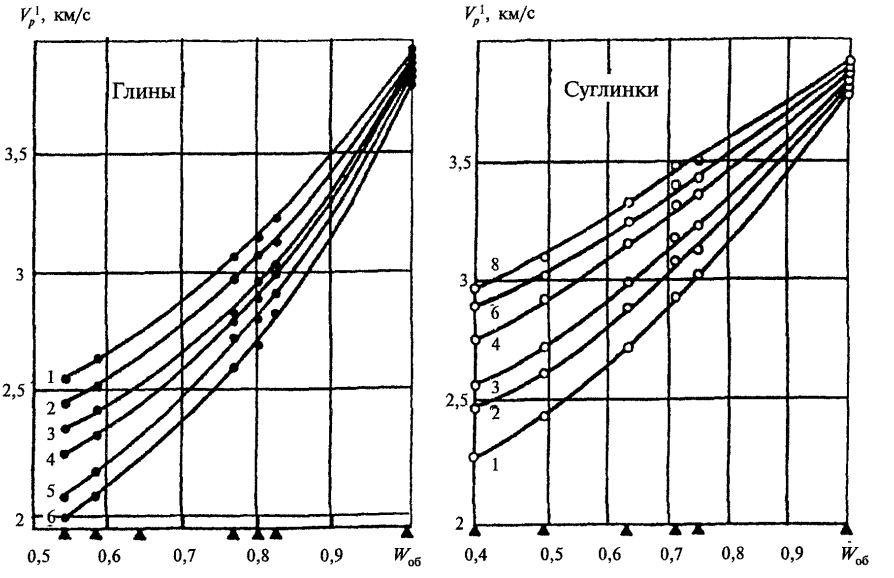
ПРИЛОЖЕНИЕ Л

(справочное)

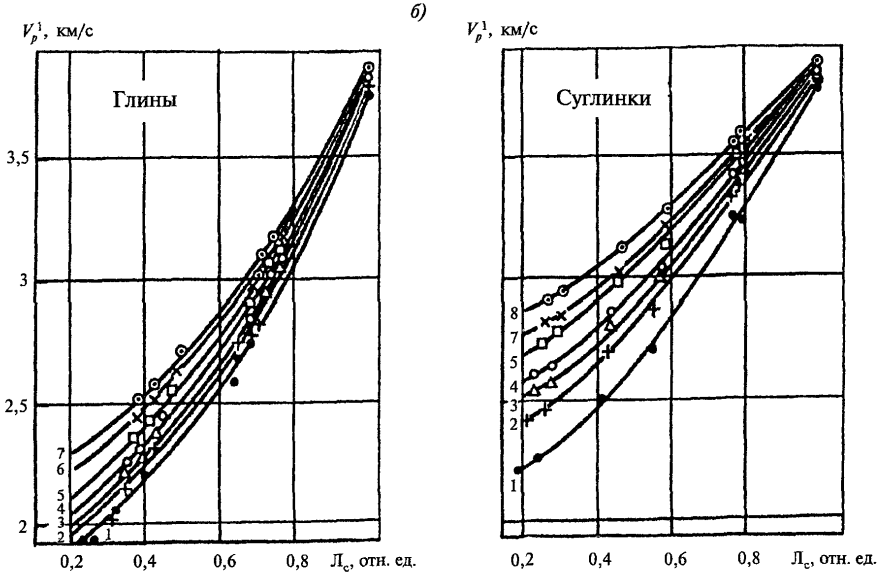
ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ОТ ОБЪЕМНОЙ ВЛАЖНОСТИ (а) И ЛЬДИСТОСТИ (б) МЕРЗЛЫХ СУГЛИНИСТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

при различной температуре, °С: 1 — −0,5; 2 — −1; 3 — −2; 4 — −3; 5 — −5; 6 — −6; 7 — −7; 8 — −10

а)



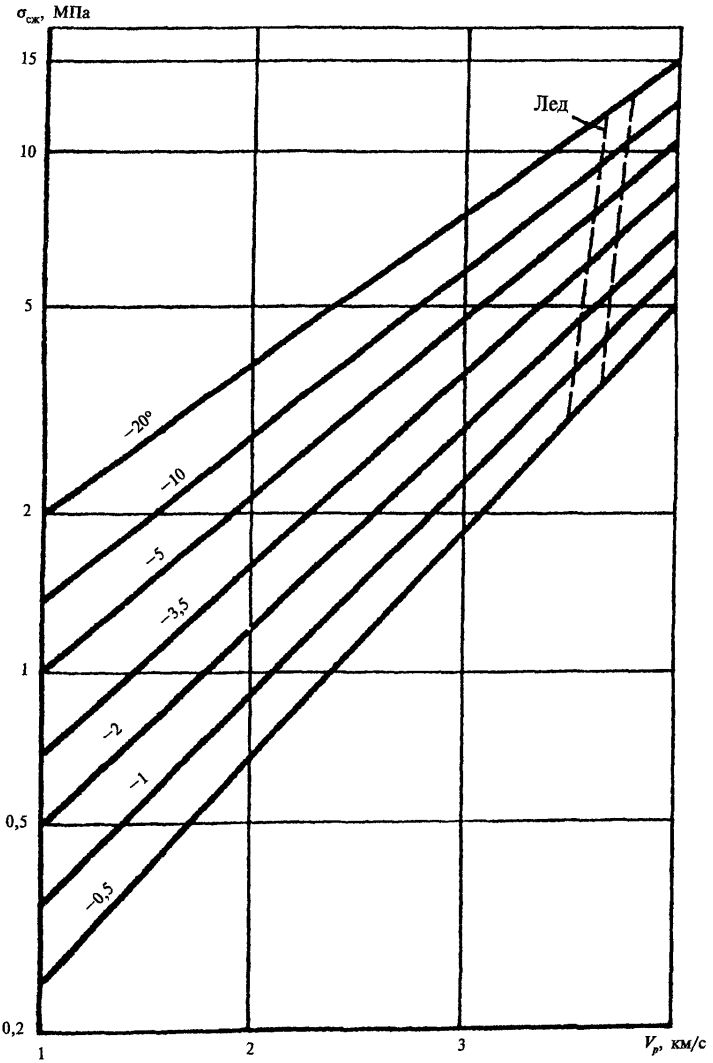
б)



ПРИЛОЖЕНИЕ М

(справочное)

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ ($\sigma_{сж}$) МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПО ЗНАЧЕНИЯМ СКОРОСТЕЙ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН

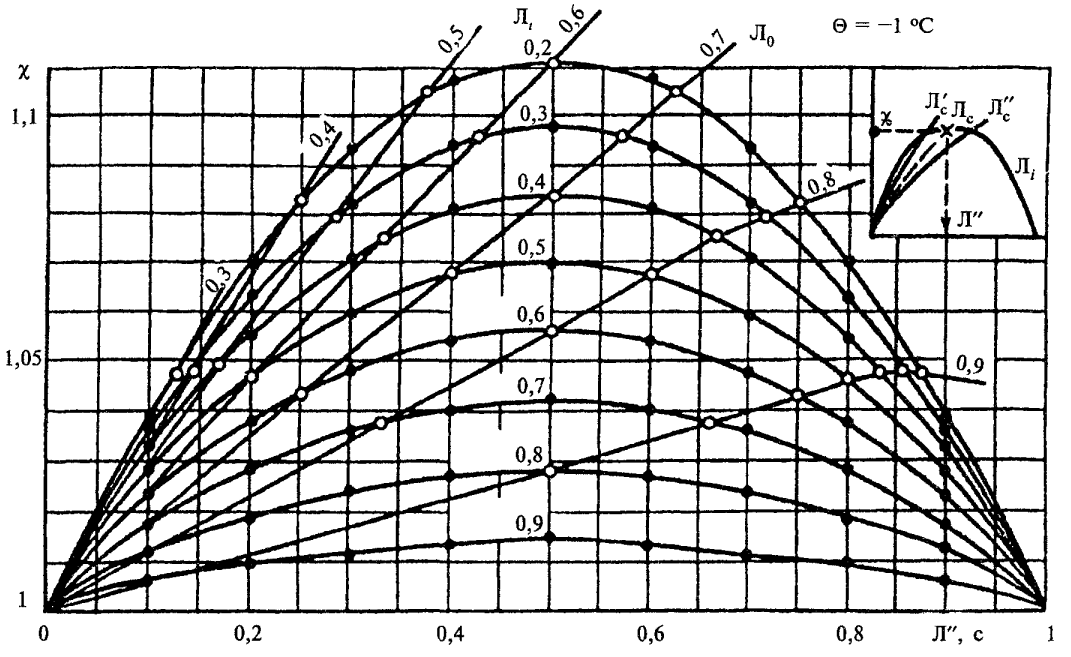


ПРИЛОЖЕНИЕ Н

(справочное)

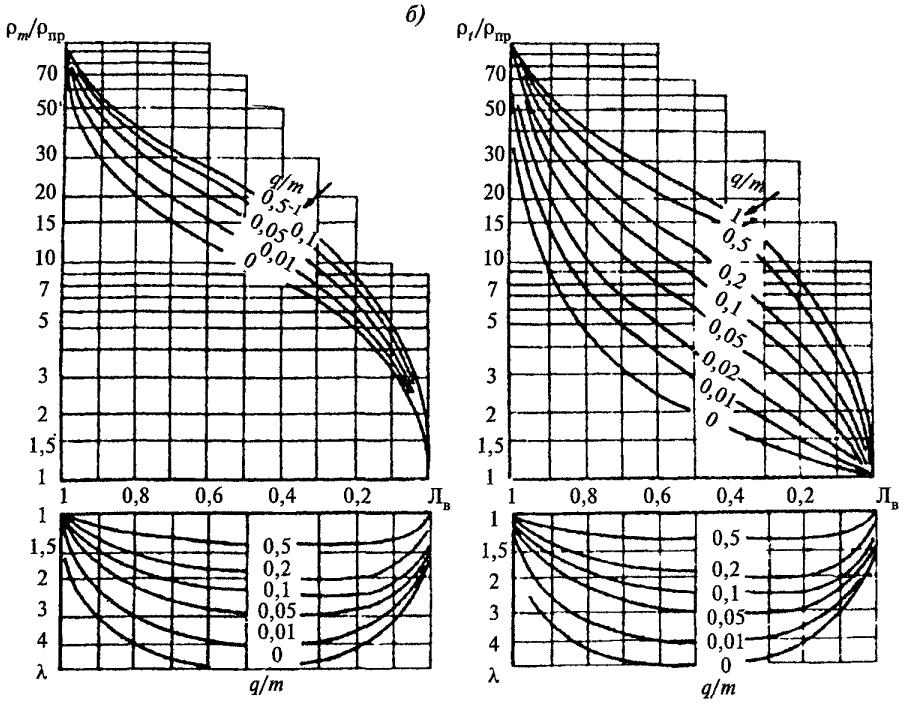
НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КРИОГЕННОГО СТРОЕНИЯ МЕРЗЛЫХ СУГЛИНКОВ ПРИ $t = -1$ °С ПО ДАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ (а) И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ (б) ИЗМЕРЕНИЙ

а)



$\chi - \frac{v_p''}{v_p^1}$ — коэффициент анизотропии; $Л_с$ — суммарная льдистость; Л″— слоистый лед; $Л_i = Л_ц + Л_{рр}$ ($Л_ц$ — лед цемент; $Л_{рр}$ — равномерно распределенный лед)

б)



ρ_m — среднеквадратическое УЭС; ρ_l — продольное УЭС; $\rho_{пр}$ — УЭС минеральных прослоев; q/m — степень слоистости (от равномерно сетчатой — 1 до слоистой — 0)

ПРИЛОЖЕНИЕ П
(справочное)

ГЛУБИННОСТЬ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ СИММЕТРИЧНЫХ (AMNB), ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫХ (AMNC→∞) И ДИПОЛЬНЫХ (ABMN) УСТАНОВОК ПРИ КОНТРАСТНОСТИ РАЗРЕЗОВ $M_2 > 10$

μ_2 — отношение УЭС грунтов на контакте; *O* и *O′→* — центры приемного и питающего диполей

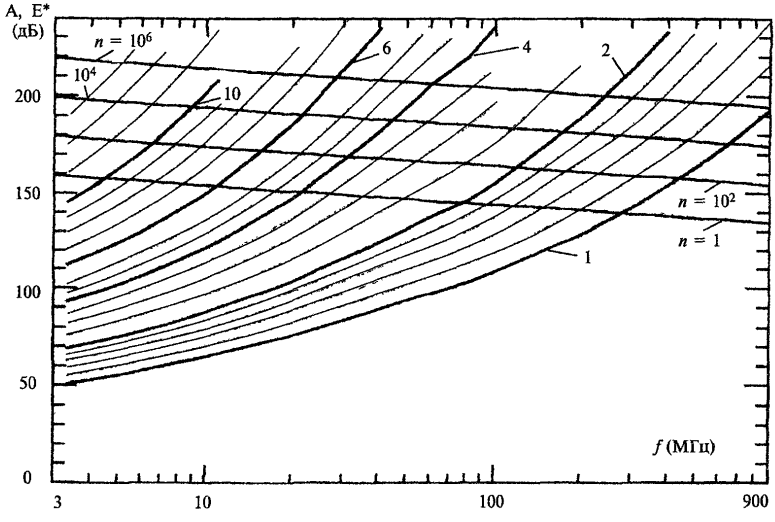
Вид геоэлектрического массива	2h/AB	2h/ O O′; h/AO
Контакт	0,6	0,55
Вертикальный непроводящий пласт:		
большой мощности	0,55	0,5
средней мощности	0,45	0,4
малой мощности	0,25—0,3	0,2
Наклонный непроводящий пласт малой мощности	0,3—0,4	0,25—0,35
Горизонтальный непроводящий цилиндр (D > MN)	0,2	0,15
Непроводящий шар (D > MN)	0,15	0,1
Проводящий пласт малой мощности	0,6	0,6

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

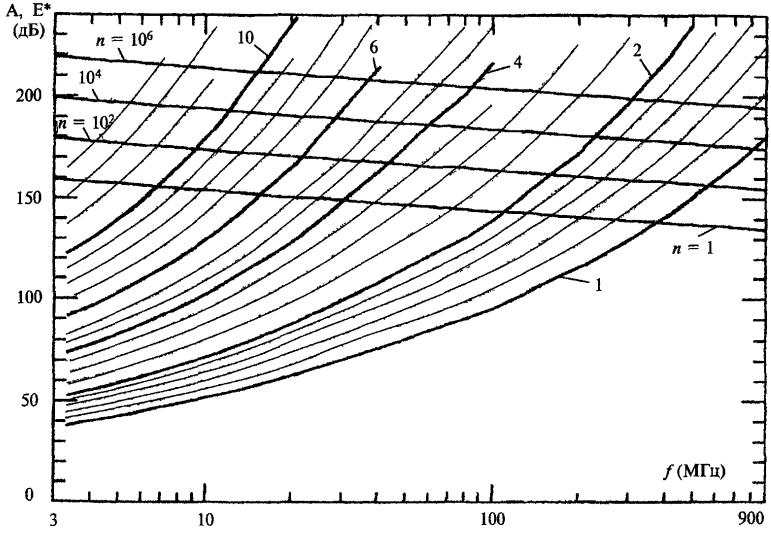
(справочное)

ЗАВИСИМОСТЬ ГЛУБИНЫ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ (а) И ЛИНЕЙНЫХ (б) ОБЪЕКТОВ В ГЛИНАХ С НИЗКОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА Е* РАДАРА

а)



б)



УДК 624.131

Ключевые слова: Инженерно-геологические изыскания для строительства; геофизические исследования; геофизические методы исследований по изучаемым физическим полям, их природе и свойствам грунтов: электромагнитные, сейсмоакустические, магнитометрические, гравиметрические, ядерно-физические, газово-эманационные, термометрические; геофизические методы по технологиям (виду) наблюдений: аэрокосмические или дистанционные, наземные, акваториальные, скважинные, подземные, лабораторные, смешанных технологий.

Тираж 50 экз. Заказ № 829

Отпечатано в ФГУП ЦПП

gost.e-ecolog.ru