

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Колесников В. П.¹, Коноплев А. В.², Пригара А. М.¹, Татаркин А. В.¹

¹ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), prandra@gmail.com

²Естественно-научный институт ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4), kono2003@gmail.com

Предложена методика оценки устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений применительно к условиям Пермского края. Технология комплексного геофизического обследования ГТС основана на создании новых решений в области полевой съемки, обработки, интерпретации и физико-геологического истолкования получаемых материалов. Использован следующий комплекс геофизических методов: инженерная сейсморазведка, георадарное зондирование, вертикальное электрическое зондирование, метод естественного поля. Решались следующие вопросы: а) создание физико-геологических моделей типовых гидротехнических сооружений; б) проведение численного моделирования в целях оценки аномальности проявления в физических полях зон с ослабленными физико-механическими свойствами; в) изучение коррелятивных соотношений между разными физическими характеристиками среды. Проверка методики на реальных объектах доказала возможность уверенной диагностики состояния гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, геофизические методы, комплексирование, оценка технического состояния.

TECHNOLOGY OF COMPLEX GEOPHYSICAL SURVEY FOR DIAGNOSIS OF HYDRAULIC STRUCTURES

Kolesnikov V. P.¹, Konoplev A. V.², Prigara A. M.¹, Tatarkin A. V.¹

¹FGBOU VPO «Perm State University», National research», 614990, Perm, Bukireva str., 15; prandra@gmail.com

² Institute of Natural Sciences of the Perm State University, National Research, Perm, 614990, Genkelya str., 4, kono2003@gmail.com

The method for evaluation and prediction of physical stability of hydraulic structures in relation to the conditions of the Perm region. Technology of integrated geophysical survey GTS is based on the creation of new solutions in the field work, processing, interpretation and physical and geological interpretation of the obtained results. Use the following set of geophysical methods: engineering seismology, georadar sounding, vertical electrical sounding, method of natural fields. Address the following issues: a) the creation of typical physical and geological models of typical hydraulic structures, and b) a numerical simulation in order to assess the physical manifestation of the anomalous zones with weak fields, physical and mechanical properties, and c) the study of correlative relationships between the different physical characteristics of the medium. Verification techniques on real objects proved the possibility of a confident diagnosis of condition of hydraulic structures.

Keywords: hydraulic structures, geophysical methods, complexing, assessment of technical condition.

Разработка методов контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений (ГТС) – водохранилищ, прудов, земляных плотин, дамб, является весьма актуальной, так как нарушение их функционирования связано не только с возможным значительным экономическим и экологическим ущербом, но иногда способно приводить к авариям, представляющим опасность для жизни людей. Только в Пермском крае насчитывается более 1100 различного рода ГТС.

Одной из основных причин разрушения ГТС часто является невыполнение своевременных ремонтно-восстановительных мероприятий, которые, в свою очередь, не

планируются из-за отсутствия либо недостаточности информации о состоянии конструкций ГТС (наличия зон разуплотнения пород, степени их однородности, влагонасыщенности и др.). Использование для этой цели инженерно-геологических методов не обеспечивает в полной мере решение данных вопросов в силу дискретного характера информации, получаемой при обследовании шурфов и скважин, а также относительно высокой стоимости выполнения работ. При этом само механическое воздействие на ГТС не способствует сохранению его прочностных характеристик.

В связи с этим в последнее время все большее внимание уделяется созданию новых технологий оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических объектов, основанных на использовании геофизических методов [1–3, 6].

Целью исследований явилась разработка технологии комплексного геофизического обследования ГТС на основе создания новых технологических решений в области полевой съемки, обработки, интерпретации и физико-геологического истолкования получаемых материалов. Использован следующий комплекс геофизических методов: инженерная сейсморазведка, георадарное зондирование, вертикальное электрическое зондирование, метод естественного поля. Основным принцип формирования комплекса – повышение однозначности решения обратной геофизической задачи и физико-геологического истолкования получаемых материалов на основе использования совокупности взаимодополняющих физических параметров с учетом индивидуальных информационных возможностей каждого из методов относительно определения структурных, литологических и петрофизических характеристик среды.

Учитывая специфику изучаемых объектов, одним из необходимых элементов при создании технологии изучения ГТС является решение следующих вопросов: а) создание типовых физико-геологических моделей типовых гидротехнических сооружений; б) проведение численного моделирования в целях оценки аномальности проявления в физических полях зон с ослабленными физико-механическими свойствами; в) изучение коррелятивных соотношений между разными физическими характеристиками среды.

Наиболее распространенной конструкцией ГТС на территории Пермского края являются земляные насыпные плотины и дамбы, формируемые из глинисто-щебенистого материала. На основе анализа совокупности типовых моделей ГТС разных районов Пермского края была сформирована характерная типовая физико-геологическая модель (ФГМ), послужившая основой для проведения численного моделирования с целью оценки физических характеристик основных толщ пород и особенностей их проявления в геофизических полях.

Результаты численного моделирования сейсмического и электрического полей, выполненные на основе обобщенной ФГМ, показали, что в геоэлектрическом и временном разрезах находят отображение практически каждый из слоев обобщенной ФГМ, обеспечивая возможность уверенного расчленения разреза ГТС и выявления возможных потенциально опасных зон (рис. 1–2). Так, участки повышенной влажности уверенно отображаются пониженными значениями в поле кажущихся сопротивлений (рис. 1, б) и в поле удельных электрических сопротивлений (рис. 1, в). При этом уверенно фиксируются параметры аномальных участков – их степень отличия от окружающих грунтов по физическим свойствам, форма, глубина, размеры по горизонтали.

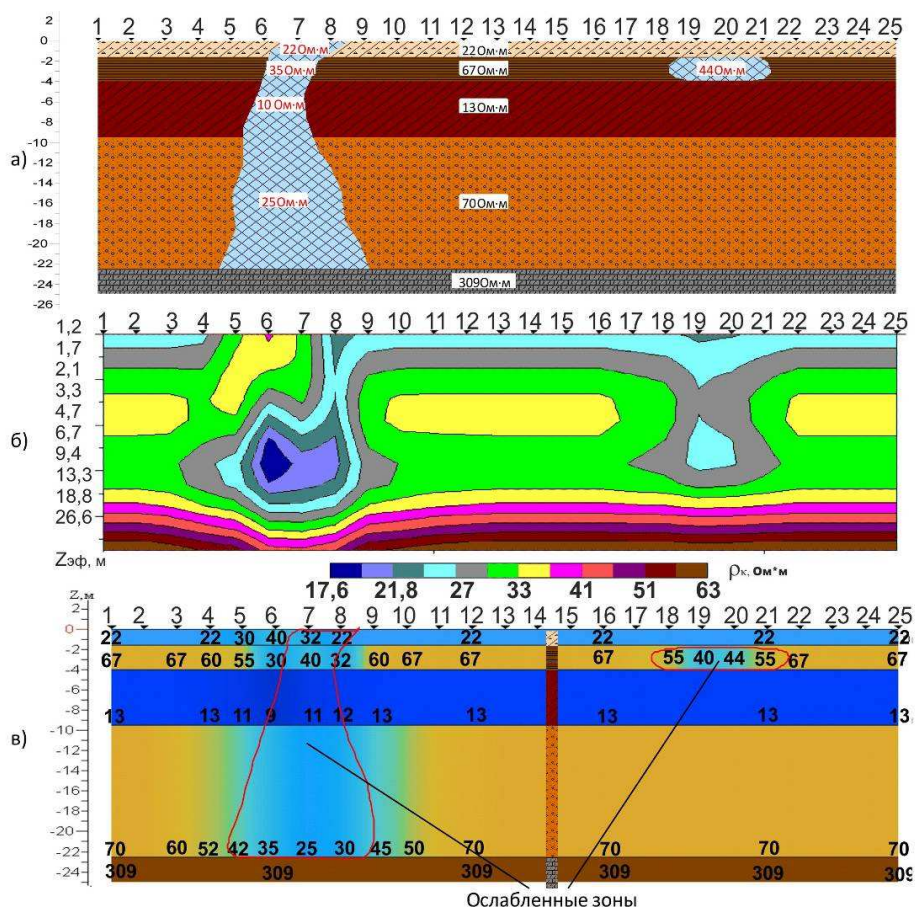


Рис. 1. Результаты численного моделирования электрических зондирований для типовой пятислойной физико-геологической модели ГТС Пермского края с ослабленными зонами (а); б – разрез кажущихся сопротивлений; в – разрез удельных электрических сопротивлений

Результаты моделирования сейсмических волновых полей, в свою очередь, указывают на возможность выделения грунтов с пониженными упругими свойствами – скоростью упругих волн и плотностью. Аномалии скоростей продольных волн, заложенные в модель,

четко проявляются как в полевом материале – сейсмограмма общего пункта возбуждения (рис. 2, в), так и в результатах обработки – временном разрезе (рис. 2, б).

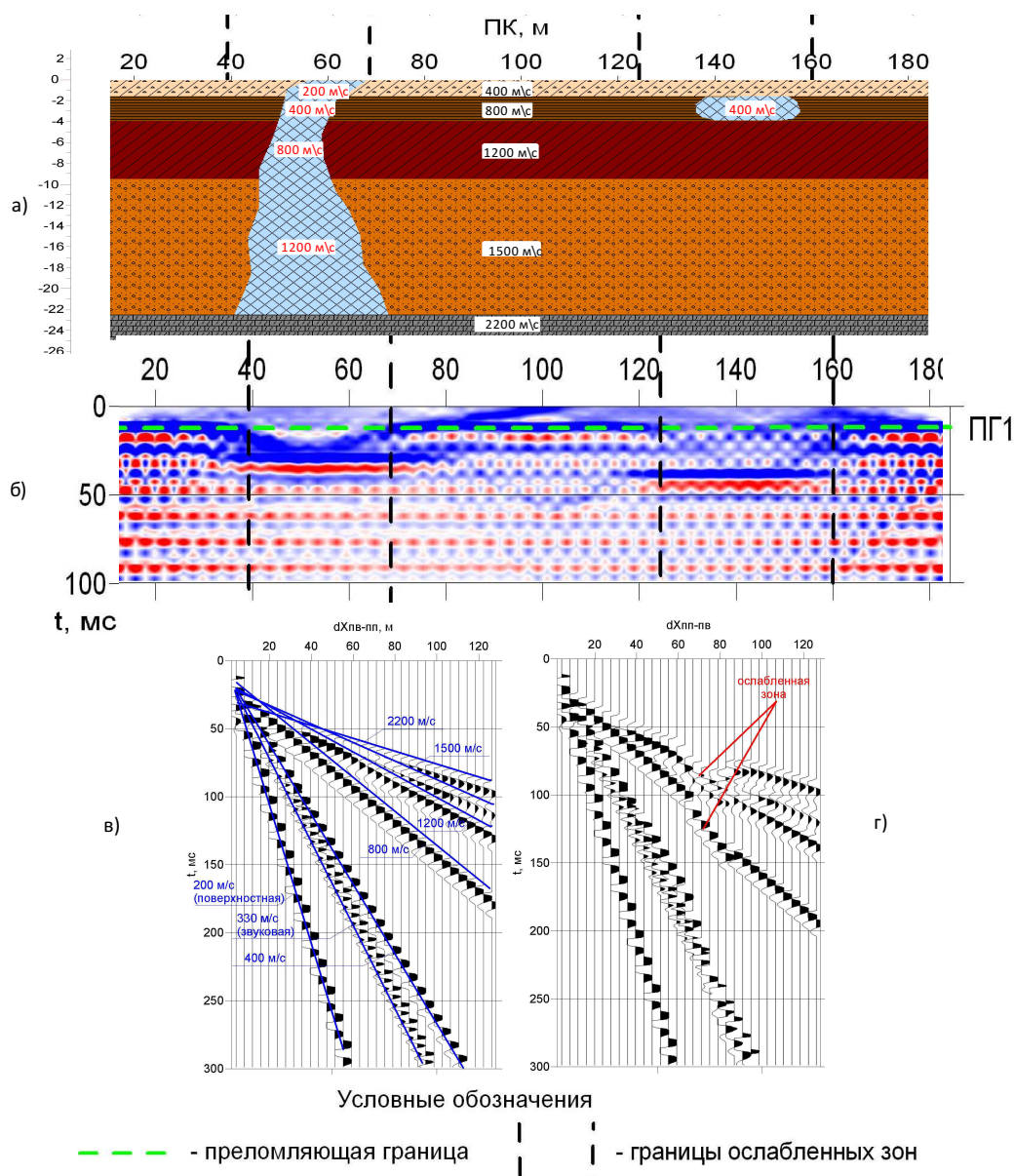


Рис. 2. Результаты численного моделирования сейсмического волнового поля для типовой пятислойной физико-геологической модели ГТС Пермского края с ослабленными зонами (а); б – разрез общей глубинной площадки (ОГП) для преломляющей границы № 1; в – сейсмограмма общего пункта возбуждения (ОПВ) для участка без ослабленной зоны; г – сейсмограмма ОПВ для участка с ослабленной зоной

Поскольку эффективность использования геофизических методов определяется совокупностью аппаратурно-программного и интерпретационного обеспечения выполнения работ, при создании новой технологии обследования дамб и плотин были привлечены и

исследованы возможности современных аппаратурных и компьютерных средств, в том числе и разработанных авторами [3, 5].

Для производства работ электроразведочными методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и естественного поля (ЕП) использован запатентованный аппаратурно-программный комплекс АМС-1 [5], обладающий повышенной помехозащищенностью и высокой точностью измерений, а для физико-геологического истолкования получаемых материалов – сертифицированная система программ «ЗОНД» [3], позволяющая в автоматическом режиме осуществлять качественную и количественную интерпретацию полевых материалов с получением количественных параметров как отдельных слоев, так и любой заданной части разреза.

Пример интерпретации данных ВЭЗ для одного из ГТС по ул. П. Морозова в г. Кунгуре Пермского края приведен на рис. 3.

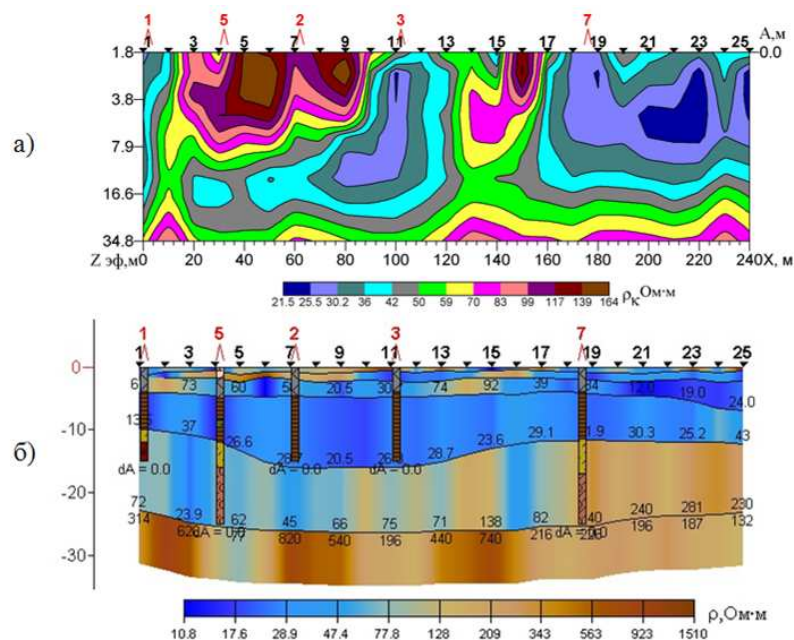


Рис. 3. Пример интерпретации данных электрического зондирования: а) разрез кажущихся сопротивлений; б) геоэлектрический разрез

По результатам количественной интерпретации получен шестислойный геоэлектрический разрез, в целом согласующийся с типовой моделью. На геоэлектрическом разрезе выделяются четыре основных геоэлектрических комплекса. Первый из них представлен неоднородными по составу насыпными грунтами (суглинок щебенистый), залегающими в интервале глубин 0 – 5 м. Второй комплекс находится в интервале 4 – 16 м и характеризует породы, представленные глинами. Далее до глубины 24 – 27 м следуют породы третьего комплекса, отображающие свойства обвальнo-карстовых отложений (супесь, щебень, глыбы). Разрез R_k и геоэлектрический разрез позволяют отследить области

пониженных электрических сопротивлений, отождествляемых с повышенной влажностью грунтов.

Опытные сейсморазведочные исследования выполнены методами преломленных (МПВ) и отраженных волн (МОВ) с соответствующими системами наблюдения. Основой для проектирования систем наблюдения служила максимальная глубина изучения разреза – 15 – 20 м и априорная геологическая информация о строении ГТС, требующих обследования.

Для регистрации во всех случаях использована 64-канальная телеметрическая цифровая сейсмостанция IS-128 (ООО «Интромаг», г. Пермь) в комплекте с вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками GS-20DX (ООО «Ойо-Геоимпульс», г. Уфа).

Для обработки, интерпретации и визуализации сейсморазведочных данных использована программа RadExpro Plus Total 3.7. Она позволяет осуществить в рамках одной системы весь процесс обработки и интерпретации данных методов отраженных и преломленных волн: чтение и визуализацию сейсмограмм, амплитудную коррекцию, двумерную и полосовую фильтрации, учет рельефа, корреляцию и увязку годографов преломленных волн, определение скоростей продольных и поперечных волн, построение модели среды.

Совместное использование продольных и поперечных волн, выполненное с учетом [7], позволило выполнить оценку ФМС грунтов – вычислить отношение V_p/V_s , модули Юнга, сдвига, всестороннего сжатия и коэффициент Пуассона. На результативных геосейсмических разрезах отмечаются области пониженных ФМС, которые ассоциируются с ослабленными грунтами в теле ГТС.

На рис. 4 приведены результаты комплексных исследований для ГТС по ул. П. Морозова в г. Кунгуре, которые указывают на наличие взаимной корреляции данных, полученных разными геофизическими методами. Аномальные зоны, прослеживаемые в интервале глубин 1–10 м, в пределах пикетов 7–12, 19–25, отмечаются пониженными значениями электрического сопротивления (метод ВЭЗ), уменьшением значений модуля Юнга (сейсморазведка), повышенным затуханием высокочастотного электромагнитного поля (георадарное зондирование) и увеличением абсолютных значений потенциала естественного поля (метод ЕП). Подобная корреляция согласуется с известными петрофизическими и физико-химическими представлениями о проявлении в физических полях зон повышенной влажности, глинистости и пористости пород, способствуя повышению достоверности геологических заключений.

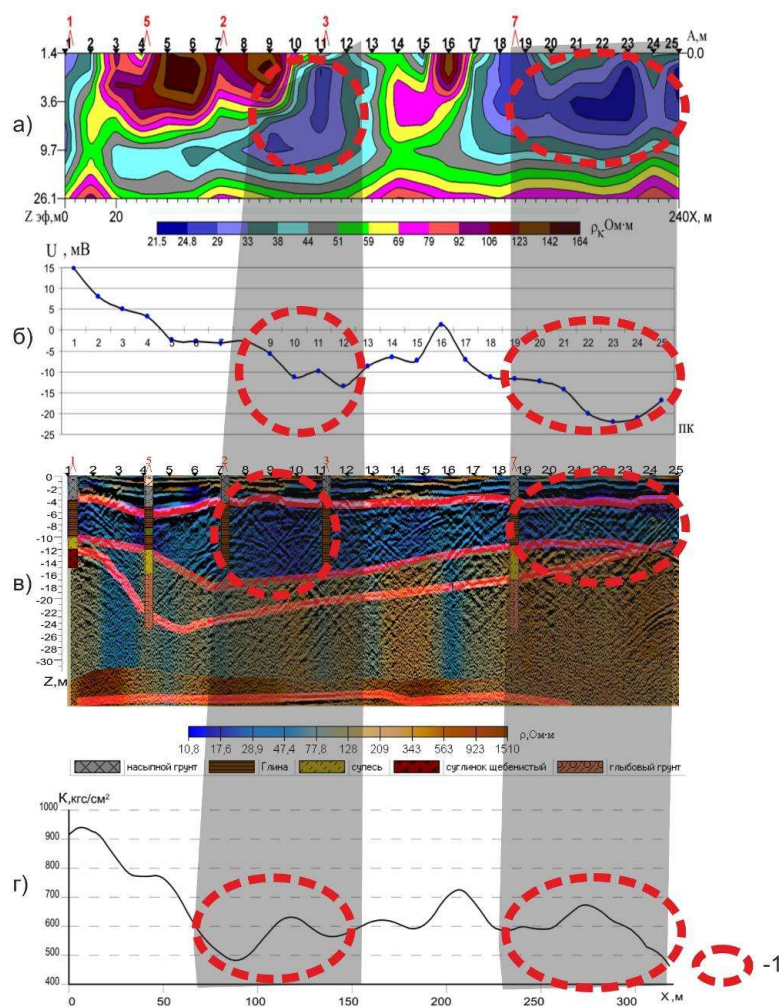


Рис. 4. Результаты комплексных геофизических исследований: а – разрез кажущегося сопротивления; б – график потенциала естественного электрического поля; в – геоэлектрический разрез, совмещенный с георадарным; г – график модуля

Наиболее уверенно структурные особенности разреза отображаются результатами сейсмометрии и георадарных наблюдений, упругие свойства – скоростными характеристиками разреза и физико-механическими свойствами грунтов, получаемыми на основе сейсмических данных, а степень увлажнения и водопроницаемости пород – методами электрометрии (ВЭЗ, ЕП, георадар).

Данная технология апробирована на большом объеме материала в условиях Пермского края. По результатам комплексной интерпретации сейсморазведочных и электрометрических исследований даны рекомендации для разработки оптимальных ремонтно-восстановительных мероприятий: работы по берегоукреплению реки, а также по созданию дренажных сооружений для отвода подземных вод, залегающих в интервале насыпных грунтов для предотвращения суффозионных и оползневых процессов.

Выводы

Использование новой технологии комплексных геофизических изысканий с использованием методов инженерной сейсмоки, георадиолокации, электрического

зондирования, естественного электрического поля на базе новых аппаратурных и интерпретационных возможностей обеспечивает возможность уверенной диагностики и оценки текущего состояния гидротехнических сооружений.

Список литературы

1. Воронков О. К. Геофизическая диагностика состояния и свойств грунтовой плотины и основания, сложенных глинистыми грунтами / О. К. Воронков, Н. Н. Сигачева, Г. А. Моторин, Л. Ф. Ушакова // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2007. – Т. 246. – С. 3-14.
2. Джурик В. И. Опыт электроразведочных исследований состояния и поля фильтрации грунтовых плотин / В. И. Джурик, С. П. Серебренников, А. Ю. Ескин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2006. – № 5. – С. 459-466.
3. Колесников В. П. Основы интерпретации электрических зондирований / В. П. Колесников. – М: Научный мир, 2007. – 248 с.
4. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Богословского. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
5. Пат. RU 97542 U1. Комплекс для геоэлектроразведки / Алатов С. А., Батяев И. М., Зеленин В. П., Карпов С. Б., Колесников В. П., Мельников А. К., Татаркин А. В. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности и знакам. 10.09.2010. Бюл. №25.
6. Простов С. М., Костюков Е. В., Бахаева С. П. Прогноз устойчивости грунтовых дамб. – Кемерово, КузГТУ. – 2006. – 171 с.
7. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей. – М.: Госстрой РСФСР, РосГлавНИИСтройпроект, Производственное объединение «Стройизыскания», 1974.

Рецензенты:

Гершанок Валентин Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры геофизики Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Середин Валерий Викторович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.