

УДК 622.83

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ****Пригара А.М., Царев Р.И., Коноплев А.В., Пенский О.Г., Осовецкий Б.М.***Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, e-mail: kafedra.ingeo@gmail.com*

В статье рассматривается разработанная технология проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений. В ходе разработки методики, помимо сейсморазведки, были опробованы возможности следующих видов геофизических работ: вертикального электрического зондирования, метода естественного поля, георадиолокационного зондирования. В результате методика включила в себя целый комплекс взаимодополняющих друг друга геофизических методов. Технология опробована на более чем десяти ГТС Пермского края. Получаемые при этом результаты, согласно проектной и исполнительной документации, а также согласно результатам параметрического бурения, дают объективную информацию о состоянии ГТС – о структурных особенностях строения сооружения, состоянии и степени изменчивости физических и физико-механических свойств грунтов.

Ключевые слова: методы неразрушающего контроля, гидротехнические сооружения, физико-механические свойства

**ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT OF HYDRAULIC STRUCTURES
BY METHODS OF NONDESTRUCTIVE TESTING****Prigara A.M., Tsarev R.I., Konoplev A.V., Penskiy O.G., Osovetskiy B.M.***Perm State National Research University, Perm, e-mail: kafedra.ingeo@gmail.com*

The article deals with the developed technology of seismic surveys to clarify the geological structure and the determination of physical and mechanical properties of soils under non-destructive methods of the operational stability control and prediction of the physical condition of hydraulic structures. During the development of the methodology, in addition to seismic surveys have been tested the possibility of the following types of geophysical works: vertical electrical sounding method of natural field GPR sensing. As a result, a technique included a whole range of mutually complementary geophysical methods. Technology has been tested on more than a dozen TCU Perm region. Results obtained with them, according to the design and as-built documentation, as well as according to the results of parametric drilling, provide objective information about GTS – on structural features of the building structure, condition and degree of variability of physical and physico-mechanical properties of soils.

Keywords: methods of nondestructive testing, hydraulic structures, physical and mechanical properties

Целью работы являлась разработка технологии проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений (ГТС). В ходе разработки методики неразрушающего контроля, помимо сейсморазведки, были опробованы возможности следующих видов геофизических работ: вертикального электрического зондирования, метода естественного поля, георадиолокационного зондирования. В результате методика включила в себя целый комплекс взаимодополняющих друг друга геофизических методов. Актуальность поставленной цели и пути ее достижения раскрыты в работе [3, 4], посвященной разработке методики оперативного неразрушающего контроля в целом. Для достижения цели работы перед авторами были поставлены следующие задачи:

– выяснение особенностей применения методов инженерной сейсморазведки для изучения структурных особенностей и определения физико-механических свойств (ФМС) грунтов на основе литературных источников, на основе моделирования с предварительным составлением обобщенных сейсмогеологических моделей ГТС, а также по результатам выполнения опытных работ;

– разработка технологии применения инженерной сейсморазведки для изучения структурных особенностей ГТС, определения физических свойств и ФМС грунтов, слагающих ГТС;

– опробование разработанной технологии на практике.

Типовое строение плотин в большинстве случаев можно представить в виде четырех-пятислойной физико-геологической модели. Формирование СГМ ГТС было выполнено на основе известных корреляционных зависимостей между литологическим составом и упругими свойствами пород.

Для решения прямой задачи сейсморазведки была использована программа моделирования упругих волновых полей FModel [10], позволяющая осуществлять расчет и анализ волнового поля по заданной СГМ

среды. Результаты решения прямой задачи для пятислойной модели плотины приведены на рис. 1. Аналогичные расчеты сделаны для четырехслойной и пятислойной моделей дамб.

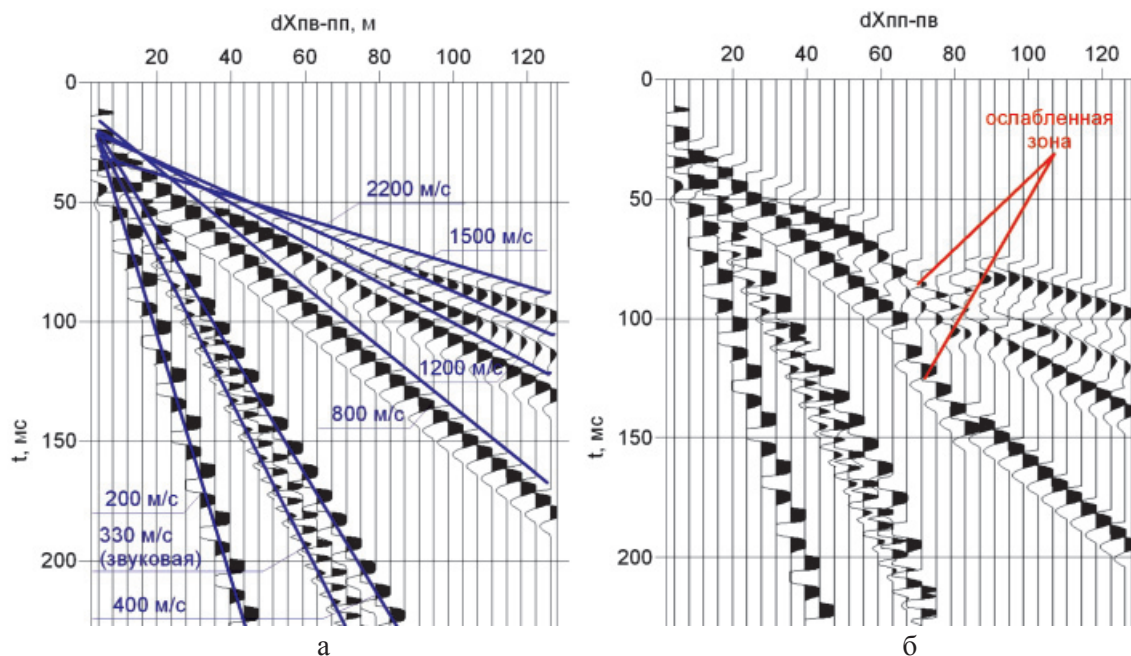


Рис. 1. Результаты численного моделирования для типовой пятислойной физико-геологической модели плотины (рис. 1, а): а – сейсмограмма общего пункта возбуждения для модели без ослабленной зоны; б – то же, с ослабленной зоной

Результаты моделирования указывают, с одной стороны, на высокую информативность сейсморазведочных методов, с другой стороны – на имеющиеся проблемы при обработке и интерпретации. В частности, МПВ, даже при положительном градиенте скорости с глубиной, сталкивается с проблемой выделения преломляющих границ по первым вступлениям (рис. 1). В данном случае требуется использовать методики, позволяющие выделять преломленные волны в последующих вступлениях, в том числе методику общей глубинной площадки (ОГП).

Опытные работы выполнены обоими методами с различными системами наблюдения. Основой для проектирования систем наблюдения служила максимальная глубина изучения разреза – 15–20 м и априорная геологическая информация о строении ГТС, требующих обследования. Параметры систем наблюдения МПВ – шаг пунктов возбуждения (ПВ) = 4–16 м, шаг пунктов приема (ПП) = 1–2 м, максимальное удаление ПП от ПВ – 64–128 м, шаг дискретизации – 0,2–0,5 мс, длина записи – 512–1024 мс, в открытом канале.

Параметры систем наблюдения МОВ ОГТ – шаг пунктов возбуждения (ПВ) = 1–2 м, шаг пунктов приема (ПП) = 1 м, максимальное удаление ПП от ПВ – 32–64 м, шаг дискретизации – 0,2–0,5 мс, длина записи – 512–1024 мс, в открытом канале.

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 используется программа RadExpro Plus Total 3.7, которая позволяет осуществить внутри одной системы весь процесс обработки и интерпретации данных методов отраженных и преломленных волн.

Согласно результатам опытных работ однозначного ответа на вопрос о выборе того или иного метода нет. Основная причина – высокая интенсивность поверхностных волн, область регистрации которых перекрывается с областью регистрации

отраженных волн (рис. 2), делая в ряде случаев невозможным использование отраженных волн.

Отказ от метода отраженных волн в условиях грунтового покрытия даже при наличии параметрического обеспечения объясняется высокой интенсивностью по-

верхностных волн. Отказ от метода преломленных волн в случае твердого покрытия объясняется отсутствием преломленных волн от неглубоких границ вследствие «выпадения слоя», что приводит к значительным ошибкам в структурных построениях и определении скоростей.

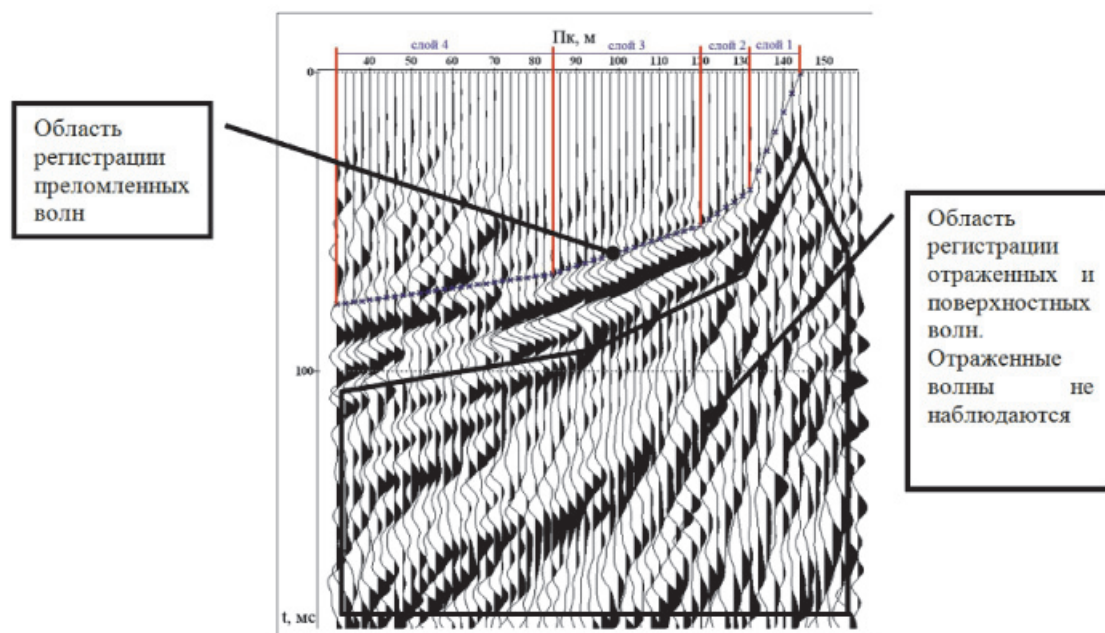


Рис. 2. Типичная сейсмограмма общего пункта взрыва, полученная для интервала инженерно-геологических глубин при изучении ГТС в Пермском крае

В случае если используется МОВ, то необходимо применение методики высокоразрешающей сейсморазведки на поперечных волнах (ВСПВ) [10], поскольку при использовании поперечных волн в случае инженерных глубин не регистрируется сильных поверхностных волн, что позволяет получать качественные записи отраженных волн, которые четко выделяются даже на полевых записях (рис. 3).

Для целей же определения ФМС грунтов напрямую, с использованием зависимостей из теории упругости [4, 5] подходит лишь один случай – грунтовая поверхность, при наличии параметрического обеспечения (материалов микросейсмокаротажа (МСК), вертикального сейсмического профилирования (ВСП), или акустического каротажа (АК)), или, в крайнем случае, хотя бы априорной геологической информации. Использование же перспективного с точки зрения технологии полевых работ и камеральной обработки метода отраженных волн для определения ФМС возможно только после проведения дополнительных исследований.

Методики обработки данных МПВ и МОВ ОГТ в рамках изучения ГТС используются стандартные, главное требование к ним – в результате должны быть получены интервальные или послойные скорости продольных (P) и поперечных (S) волн. На основе данных о скоростях P и S волн вычисляются следующие ФМС грунтов: отношение скоростей распространения продольных и поперечных волн V_p/V_s ; модуль упругости (Юнга) E ; модуль сдвига G ; коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации) μ ; модуль всестороннего сжатия K .

Для автоматизации пересчета скоростей упругих волн в ФМС была подготовлена расчетная таблица на базе приложения Microsoft Excel. В дальнейшем, с учетом полученного опыта, планируется создать более удобный инструмент для выполнения расчетов ФМС на базе одной из сред программирования.

В качестве примера приведены послойные графики изменения физико-механических свойств внутри геосейсмических слоев одного из ГТС Пермского края (рис. 4).

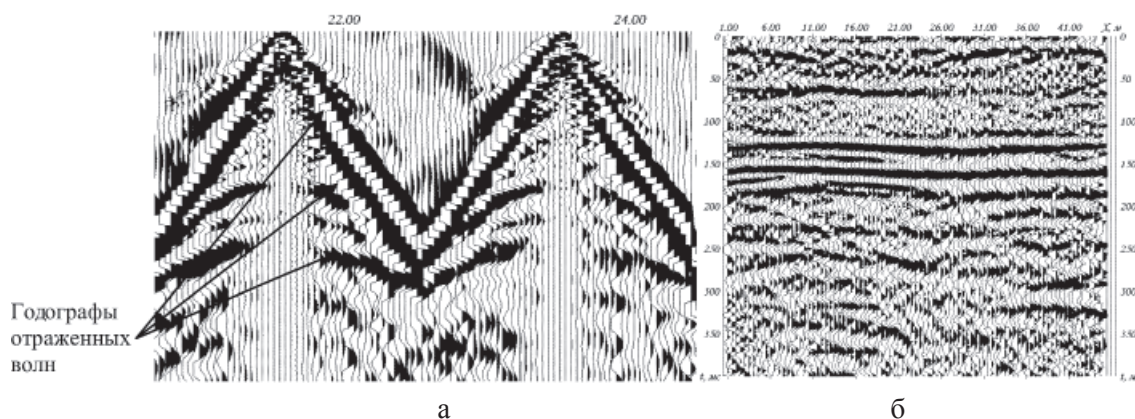


Рис. 3.

а – полевые сейсмограммы общего пункта взрыва без обработки, получены по методике ВСПВ;
 б – окончательный временной разрез

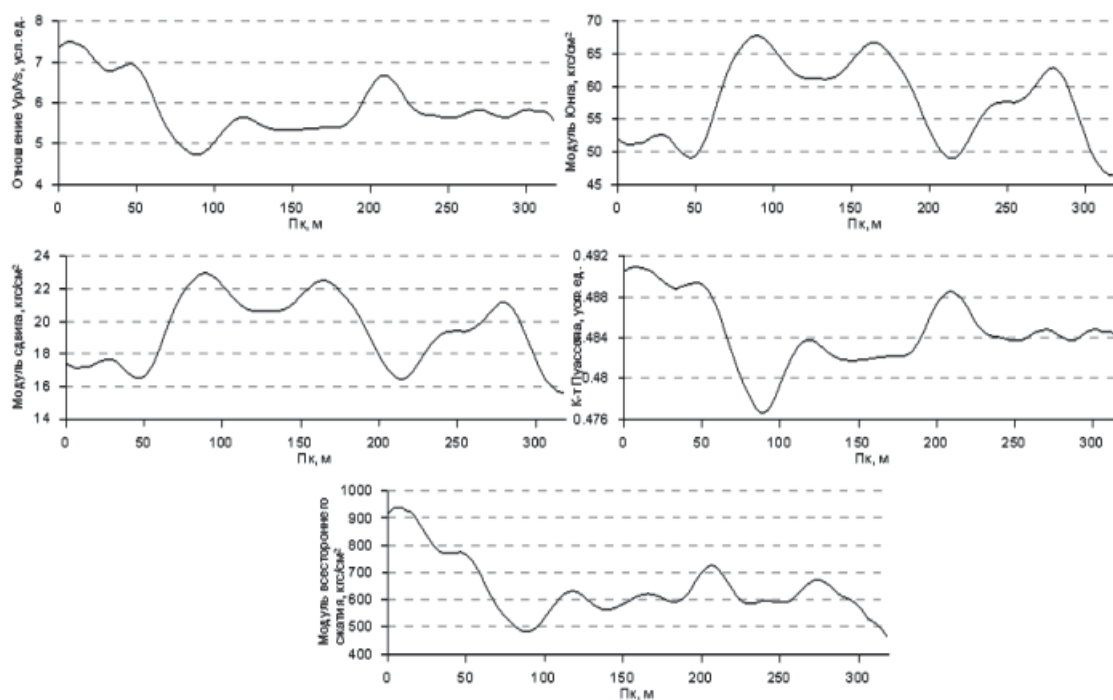


Рис. 4. Графики изменения физико-механических свойств грунтов в пределах геосейсмического слоя I

Всего приведенная здесь технология опробована на более чем десяти ГТС Пермского края. Получаемые при этом результаты, согласно проектной и исполнительной документации, а также согласно результатам параметрического бурения, дают объективную информацию о состоянии ГТС – о структурных особенностях строения сооружения, состоянии и степени изменчивости физических и физико-механических свойств грунтов [7, 9].

Выводы

В ходе выполнения исследований, описываемых в данной статье, решены следующие задачи:

1. Изучены особенности проведения инженерных сейсморазведочных работ для целей выполнения структурных построений и определения ФМС грунтов.
2. Построены типовые СГМ ГТС, для полученных моделей выполнено решение прямой задачи сейсморазведки – получены

теоретические волновые поля, позволяющие судить об информативности сейсморазведочных методов при изучении ГТС.

3. Выполнены опытные работы с различными системами наблюдений. Выбраны оптимальные системы наблюдений, проверена применимость конкретного геофизического оборудования и программного обеспечения. Автоматизированы расчеты ФМС.

4. Разработанная технология опробована на практике на целом ряде ГТС Пермского края. Получаемые результаты, согласно проектной и исполнительной документации, а также согласно результатам параметрического бурения, позволяют объективно судить о состоянии изучаемого сооружения, физических и физико-механических свойствах слагающих его грунтов и степени их изменчивости по вертикали и по горизонтали.

Разработанная технология проведения сейсморазведочных работ для уточнения геологического строения и определения физико-механических свойств грунтов в рамках методики оперативного неразрушающего контроля устойчивости и прогноза физического состояния гидротехнических сооружений одобрена научно-техническим советом Министерства природных ресурсов Пермского края и в настоящее время широко используется.

Список литературы

1. Геоинформационное обеспечение инженерно-экологических изысканий / Красильников П.А., Коноплев А.В., Кустов И.В., Красильникова С.А. // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–14. – С. 3161–3165.
2. Каченов В.И., Середин В.В., Карманов С.В. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. – 2011. – № 11. – С. 164–165.
3. Колесников В.П., Коноплев А.В., Пригара А.М., Татаркина А.В. Технология комплексных инженерно-геофизических изысканий для диагностики состояния гидротехнических сооружений // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 6.
4. Пригара А.М. Определение физико-механических свойств грунтов при оценке состояния гидротехнических сооружений методами неразрушающего контроля / А.М. Пригара, А.В. Татаркин, О.Г. Пенский, Б.М. Осовецкий, А.В. Коноплев // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ)*. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 10 (84). – С. 360–372.
5. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. Мин-во геол. СССР; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеол. и инж. геол.; под ред. Н.Н. Горяинова. – М.: Недра, 1992. – 264 с.
6. Середин В.В. К вопросу о прочности засоленных глинистых грунтов // *Инженерная геология*. – 2014. – № 1. – С. 66–69.
7. Середин В.В., Каченов В.И., Ситева О.С., Паглазова Д.Н. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–14. – С. 3189–3193.
8. Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Бахарева Н.С. Методика инженерно-геологического райониро-

вания на основе бальной оценки классификационного признака // *Инженерная геология*. – 2011. – № 3. – С. 20–25.

9. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменений прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // *Инженерная геология*. – 2014. – № 2. – С. 26–32.

10. Скворцов А.Г. Высокорастворяющая сейсморазведка на поперечных волнах – эффективный инструмент организации и ведения геофизического мониторинга в условиях инверсных сейсмогеокриологических и сейсмогеологических разрезов // *Мониторинг криосферы. Тезисы докладов Международной конференции*. – Пушино, 1999. – С. 193.

References

1. Geoinformatcionnoe obespechenie inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy/ Krasilnikov P.A., Konoplev A.V., Kustov I.V., Krasilnikova S.A. // *Fundamentalnye issledovaniia*. 2013. no. 10–14. pp. 3161–3165.
2. Kachenov V.I., Seredin V.V., Karmanov S.V. K voprosu o vliianii neftiannykh zagriaznenii na svoistva gruntov. *Geologia i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. 2011. no. 11. pp. 164–165.
3. Kolesnikov V.P., Konoplev A.V., Prigara A.M., Tarkina A.V. Tekhnologiya kompleksnykh inzhenerno-geofizicheskikh izyskaniy dlia diagnostiki sostoiia gidrotekhnicheskikh sooruzhenii // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*. 2012. no. 6.
4. Prigara A.M. Opredelenie fiziko-mehaniicheskikh svoistv gruntov pri ocnke sostoiia gidrotekhnicheskikh sooruzhenii metodami nerazrushaiushchego kontrolya / A.M. Prigara, A.V. Tatarkin, O.G. Penskiy, B.M. Osovetskii, A.V. Konoplev // *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agramonnoy universiteta (Nauchnyi zhurnal KubGAU)*. Krasnodar: KubGAU, 2012. no. 10 (84). pp. 360–372.
5. Primenenie seismoakusticheskikh metodov v gidrogeologii i inzhenernoi geologii. Min-vo geol. SSSR; Vsesoiuz. nauch.-issled. in-t gidrogeol. i inzh. geol.; Pod red. N.N. Goriainova. M.: Nedra, 1992. 264 p.
6. Seredin V.V. K voprosu o prochnosti zasolenykh glinistykh gruntov. *Inzhenernaia geologia*. 2014. no. 1. pp. 66–69.
7. Seredin V.V., Kachenov V.I., Siteva O.S., Paglazova D.N. Izuchenie zakonornosti koaguliatsii glinistykh chastitc. *Fundamentalnye issledovaniia*. 2013. no. 10–14. pp. 3189–3193.
8. Seredin V.V., Pushkareva M.V., Leibovich L.O., Bahareva N.S. Metodika inzhenerno-geologicheskogo raionirovaniia na osnove balnoi ocnki klassifikatsionnogo priznaka. *Inzhenernaia geologia*. 2011. no. 3. pp. 20–25.
9. Seredin V.V., Iadziiskaia M.R. Zakonomernosti izmenenii prochnostnykh svoistv glinistykh gruntov, zagriaznennykh nefteproduktami. *Inzhenernaia geologia*. 2014. no. 2. pp. 26–32.
10. Skvortcov A.G. Vysokorazreshaiushchaia seismorazvedka na poperechnykh volnakh – effektivnyi instrument organizatsii i vedeniia geofizicheskogo monitoringa v usloviakh invernykh seismoekriologicheskikh i seismoekologicheskikh razrezov // *Monitoring kriosfery. Tezisy docladov Mezhdunarodnoi konferentsii*. – Pushchino, 1999. pp.193.

Рецензенты:

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь;

Наумова ОБ., д.г.-м.н., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 06.10.2014.