

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ. ГОРНОЕ ДЕЛО. НАПРАВЛЕНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ЭКОНОМИКА. ГЕОЭКОЛОГИЯ»**

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
А. Э. Конторович

Доктор технических наук, академик РАН, академик РАН,
главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
М. И. Энов

Доктор технических наук, директор Института нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН, Новосибирск
И. Н. Ельцов

Кандидат технических наук, директор Института горного дела
им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск
А. С. Кондратенко

Кандидат геолого-минералогических наук, исполнительный директор
Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики
и минерального сырья, г. Новосибирск
М. Ю. Смирнов

Начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу
Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», Новосибирск
А. И. Неволько

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное
дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторож-
дений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов
в 6 т. Т. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 318 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разра-
ботки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» (секция «Гео-
логическое, геофизическое и геохимическое обеспечение поиска и разведки полезных
ископаемых. Геотехнологии. Геоэкология»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Елена Александровна Мельник

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности, тел. (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

Владимир Владимирович Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией геоэлектрики, тел. (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Представлены результаты изучения природы геофизических аномалий, наблюдаемых малоглубинными методами сейсмо- и электроразведки, с привлечением данных лабораторных измерений плотности по изменениям параметра петрофизической неоднородности на примере геофизических исследований в составе инженерно-геологических изысканий на участке размещения электродепо «Волочаевское» Дзержинской линии Новосибирского метрополитена.

Ключевые слова: малоглубинная геофизика, сейсморазведка, электроразведка, лабораторные измерения, плотность, коэффициент петрофизической неоднородности, структурные и вещественные особенности грунтов, г. Новосибирск.

COMPLEX INTERPRETATION OF GEOPHYSICAL INVESTIGATION DATA AS PART OF THE ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Elena A. Melnik

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head of Laboratory of Deep Geophysical Investigations and Regional Seismology, phone: (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

Vladimir V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head of Laboratory of Geoelectric, phone: (383)330-79-08, e-mail: OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Shows the results of investigation of the geophysical anomalies to the complex of shallow geophysical methods with the use of laboratory density measurements based on the study of the petrophysical heterogeneity on measurements. Researches are conducted on the example of geophysical studies as part of engineering and geological surveys on the site of the electrodepo "Volochevskoe" Dzerzhinsky line of the Novosibirsk subway.

Key words: shallow geophysical methods, seismic and electromagnetic, laboratory measurements, density, petrophysical heterogeneity structural and material properties of soils, Novosibirsk.

В мировой практике широко используется комплексный подход при проведении геофизических работ. Как правило, при малоглубинных исследованиях он включает многоволновую сейсморазведку, высокоразрешающую электроразведку и скважинные исследования [6, 7]. Однако наибольшие трудности возникают при совместной интерпретации данных комплекса этих методов [1, 2]. Это в первую очередь связано с различным пространственным разрешением геофизических методов. Так, разрешение электроразведочных методов по латерали значительно превосходит данные сейсморазведки, но часто проигрывает ей по глубинности.

Предложенный подход к комплексным исследованиям природных геофизических характеристик основан на определении природы геофизических аномалий, наблюдаемых малоглубинными методами сейсмо- и электроразведки, с привлечением данных лабораторных измерений. Основная задача состоит в выявлении и исследовании связей геофизических полей с характеристиками горных пород на основе высокоточных полевых измерений, современных средств обработки данных и результатов лабораторных исследований образцов. Эффективность данного подхода показана на примере геофизических исследований в составе инженерно-геологических изысканий на участке размещения электродепо «Волочаевское» Дзержинской линии Новосибирского метрополитена.

Основными задачами геофизических исследований для таких объектов является расчленение геологического разреза и установление литологических границ, выявление и прослеживание неоднородности строения массива грунтов в плане и по глубине, а также выявление тектонических нарушений, зон повышенной трещиноватости и обводненности. Выделить эти особенности возможно, используя не только абсолютные значения скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн и плотности (ρ) в земной коре, но также степени их изменения с глубиной. Для этого предложено использовать коэффициент петрофизической (химической) неоднородности (η) [3], который определяется изменениями модуля сжатия и плотности с глубиной,

$$\eta = dK/dp - (1/g) d\Phi/dz,$$

где K – модуль сжатия, $p = \rho gz$ – литостатическое давление, g – ускорение силы тяжести, $\Phi = K/\rho = Vp^2 - (4/3)V_s^2$, ρ – плотность, z – глубина, Vp , Vs – скорости продольных и поперечных волн.

Выражение определяет связь параметра петрофизической неоднородности с изменениями модуля сжатия и плотности с давлением и, соответственно, с глубиной. В свою очередь, эти величины связаны с изменениями скорости продольных и поперечных волн под действием давления и температуры. Теоретически величина η равна единице для однородных областей, в которых изменения скорости и плотности происходят только за счет литостатического давления, и отличается от нее при вещественных неоднородностях, например, зоны повышенной трещиноватости и обводненности. Использование такого комплексного параметра, как коэффициент петрофизической неоднородности, уже

на этапе его расчета позволяет получить интегральную характеристику изменений скоростей продольных, поперечных волн и плотности по данным лабораторных измерений керна [4, 5].

Проверить предположение о возможности разделения эффектов, связанных с трещиноватостью, обводненностью и относительными вариациями вещественного состава грунтов по изменениям коэффициента петрофизической неоднородности, возможно по комплексу геофизических данных, включающему значения скорости продольных, поперечных волн и плотности грунтов в приповерхностной части. Расчет коэффициента проведен для геофизического профиля, расположенного на участке электродепо, в настоящее время отведенного под дачную застройку, где проведение геофизических исследований осложнялось обширными наземными и подземными газо- и водопроводными коммуникациями.

В геолого-литологическом плане разрез сложен техногенными, эолово-делювиальными и аллювиально-озерными отложениями четвертичной системы. Техногенные отложения представлены смесью щебня, дресвы, гальки и строительного мусора, а также несслежавшимся суглинком с почвой. Эолово-делювиальные отложения четвертичной системы представлены пылеватыми супесями, легкими пылеватыми суглинками, перекрывающими своей толщей аллювиально-озерные отложения. Аллювиально-озерные отложения представлены песчанистыми супесями, песками средней плотности с прослойками плотного песка.

На рис. 1 представлены скоростные (по данным продольных волн) и плотностная модели по одному из профилей. Характеризуя скоростную модель приповерхностной части, показано, что скорость продольных и поперечных волн существенно меняется с глубиной и крайне незначительно по латерали (рис. 1, А). В интервале глубин от 2 до 4 м прослеживается первая граница, ее поверхность в целом повторяет рельеф дневной поверхности. Скорости продольных волн в первом слое составляют 400–410 м/с (поперечных волн – 195–210 м/с). В интервале глубин от поверхности 23–29 м прослеживается кровля второй отражающей границы. Скорости продольных волн во втором слое составляет 430–450 м/с (поперечных волн – 220–230 м/с).

Для получения сведений о распределении плотности в грунтах использованы результаты проведенных ранее лабораторных измерений образцов керна и собраны данные значений плотности по 36 скважинам глубиной до 25 м (более 250 измерений). Значения плотности изменяются от 1,7 до 2 г/см³. Изменения скорости и плотности по разрезу не подобны. Значения плотности для разреза характерны в интервале 1,92–1,94 г/см³, и только в приповерхностной части присутствуют отложения с пониженными до 1,74 г/см³ значениями плотности грунтов (рис. 1, Б).

Используя двумерные распределения скорости продольных, поперечных волн и плотности, были рассчитаны изменения петрофизической неоднородности. В соответствии с детальностью сейсмических данных использовалась рас-

четная сетка с размером 1×10 м (1 м по вертикали) и определенные значения η относились к центру прямоугольников. В результате видно, что коэффициент петрофизической неоднородности в среднем изменяется от 30 до первых единиц (рис. 1, В). При этом наблюдается ряд крупных аномалий, выраженных по амплитуде и размерам, контрастность которых значительно увеличилась по сравнению со скоростными и плотностными характеристиками. Так, в разрезе отчетливо выделяется верхний слой мощностью до 2–5 м с преимущественно повышенными значениями петрофизической неоднородности, возможно, связанными с просадочными грунтами. Ниже по разрезу его подстилает узкий слой протяженных аномалий с отрицательным значением коэффициента, что по данным керна соответствует обводненным грунтам. На глубинах от 10 до 12 м (альтитуды 210–220 м) коэффициент петрофизической неоднородности изменяется в диапазоне от -20 до 20 в пределах чередующихся вертикальных зон. Так, зоны с повышенными значениями коэффициента η характеризуются по скважинным данным наличием песчаной фракции, а обширные зоны пониженных значений петрофизической неоднородности, возможно, связаны с обводненными грунтами. Отрицательные значения коэффициента петрофизической неоднородности имеют место при отрицательном изменении плотности и скорости с глубиной, однако сама природа таких значений коэффициента η пока не ясна.

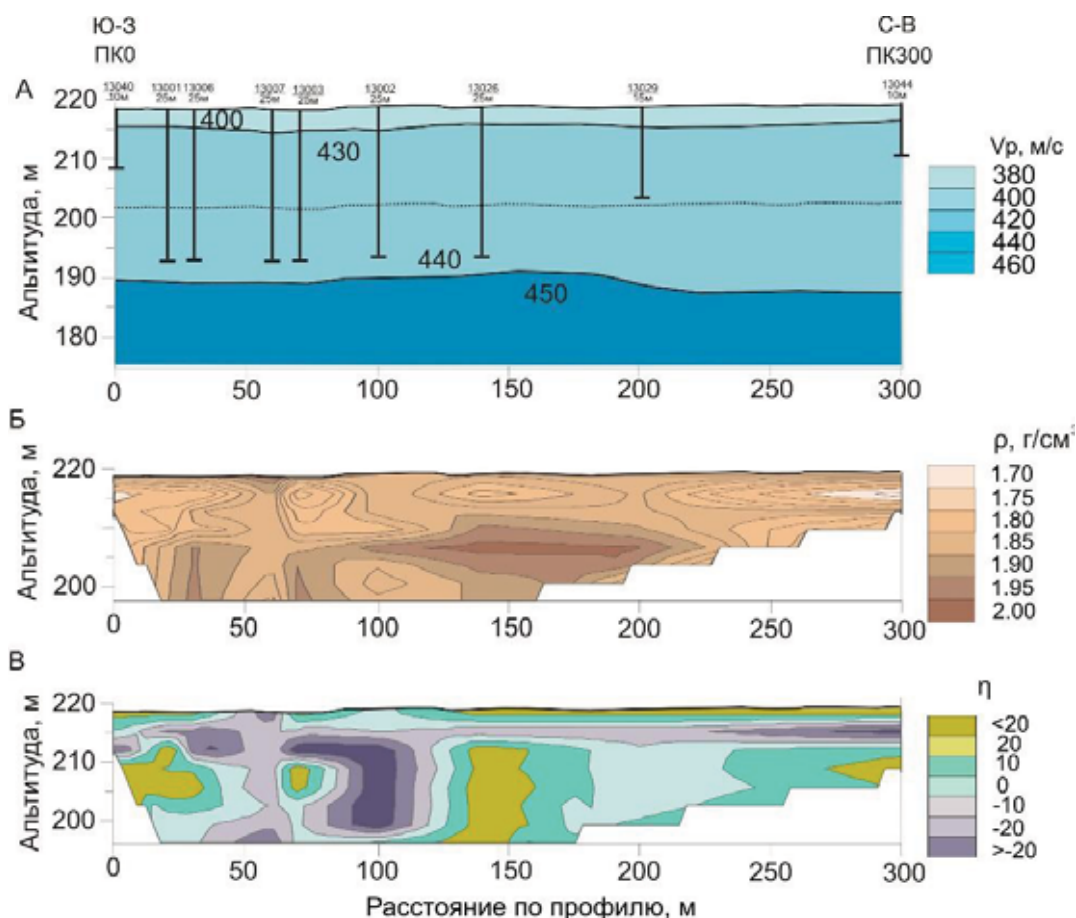


Рис. 1. Геофизические модели по данным продольных волн (А), плотностная (Б) и петрофизическая (В)

Наибольший интерес представляет сопоставление комплексного сейсмоплотностного параметра (петрофизической неоднородности) с данными электротомографии, выполненными по этому же профилю (рис. 2).

По данным электротомографии видно, что данный разрез характеризуется трехслойным строением. Верхняя (до глубины 2,5–3 м) высокоомная часть с локальными аномалиями характеризует просадочные грунты. Ниже до глубины 8–10 м залегает слой супесей или суглинков с сопротивлением 20–30 Ом·м. Он подстилается мощным (около 15 м) слоем повышенного до 40–60 Ом·м УЭС грунтов.

Сопоставляя петрофизическую и геоэлектрическую модели, видим, что (так же, как и по данным электротомографии) на петрофизических моделях отчетливо выделяются верхний высокоомный маломощный слой, характеризующийся повышенными значениями коэффициента η (более 20), и подстилающий его низкоомный, с отрицательными значениями η , которые оказалось невозможно разделить по данным сейсмики. Локальным аномалиям с повышенными значениями УЭС (50–80 Ом·м) соответствуют области повышенных значений коэффициента η (более 20), что связано с преобладанием песчаной фракции в грунтах. Зоны с низкими значениями УЭС хорошо коррелируются с зонами пониженного значения коэффициента петрофизической неоднородности, что связано с областями обводнения и подтверждается данными бурения.

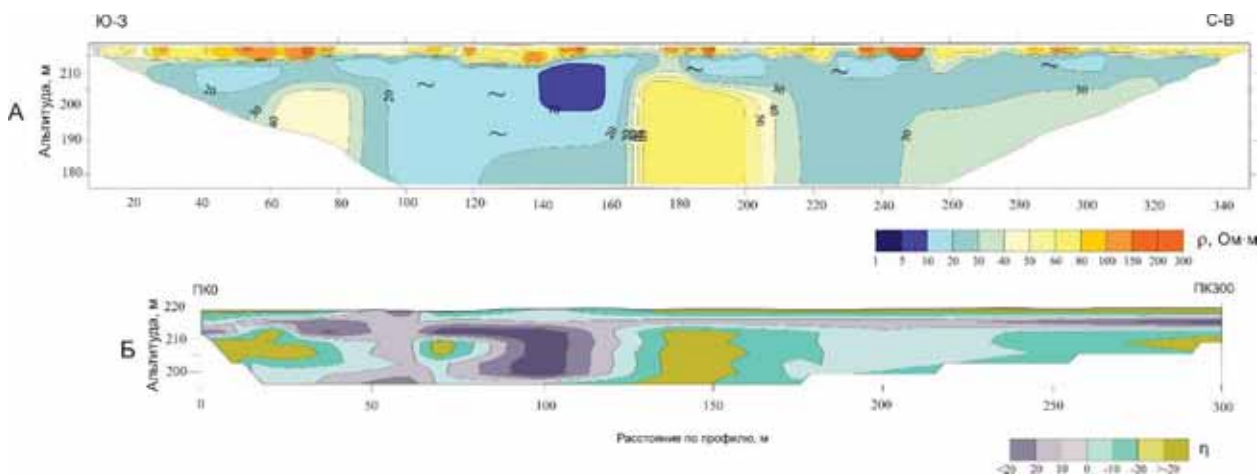


Рис. 2. Геоэлектрический разрез (А) и петрофизическая модель (Б)

Полученные петрофизические модели приповерхностной части можно также описать зависимостью коэффициента петрофизической неоднородности от глубины. На рисунке видно, что большую часть значений можно аппроксимировать логарифмическим трендом, определенным по измерениям η на образцах горных пород в виде логарифмической зависимости $A = 8.496 \ln(\eta) + 199.95$ [4]. При вычитании трендовой компоненты распределение петрофизических аномалий заметно упрощается и позволяет более четко оконтурить области с существенными вещественными неоднородностями. В аномальной

компоненте наиболее контрастно выделяются области с пониженными значениями коэффициента η , обусловленные зонами с обводненными грунтами (рис. 3). Эта особенность актуальна при проведении работ в условиях плотной застройки с большим количеством газо- и водопроводных коммуникаций, дающих ложные низкоомные аномалии, где необходимо верифицировать геоэлектрические аномалии, что возможно сделать с помощью коэффициента петрофизической неоднородности.

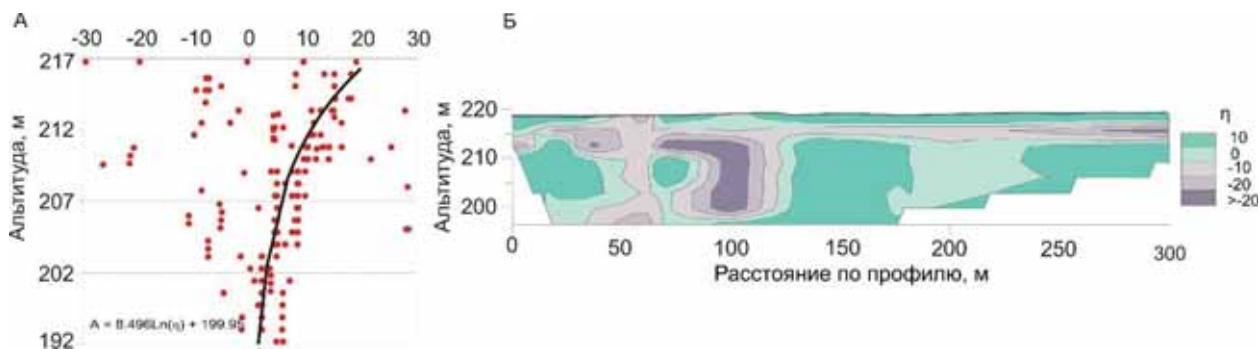


Рис. 3. Распределения петрофизической неоднородности и средний логарифмический тренд изменения η с глубиной (А) и аномальная компонента петрофизической неоднородности (Б) вдоль профиля

Использование комплексного параметра петрофизической неоднородности свидетельствует о возможности прослеживания неоднородностей строения массива грунтов в плане и по глубине, выявления тектонических нарушений, зон повышенной трещиноватости и обводненности, верифицирования сейсмических, плотностных и геоэлектрических аномалий. Это представляет интерес при проведении комплексных геолого-геофизических работ в составе инженерных изысканий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и инновационной политики Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-45-540528 р_а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляшов А. В., Суворов В. Д., Мельник Е. А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 3. – С. 64–75.
2. Беляшов А. В., Суворов В. Д., Мельник Е. А. Техногенно-измененные приповерхностные породы на участке Семипалатинского испытательного полигона: характеристика по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 106–110.
3. Буллен К. Е. Введение в теоретическую сейсмологию. – М. : Мир, 1966. – 371 с.
4. Мельник Е. А., Суворов В. Д., Мишенькина З. Р. Петрофизическая интерпретация сейсмоплотностных данных (на примере Муйской впадины) // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 4. – С. 84–91.

5. Суворов В. Д., Мельник Е. А. О петрофизической неоднородности земной коры и верхов мантии в двух районах Сибири по сейсмогравитационным данным и измерениям на образцах горных пород // *Физическая мезомеханика*. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 101–108.
6. Ganerod G. V. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // *Bulletin of Engineering and the Environment*. – 2006. – Vol. 65. – P. 231–243.
7. Nemeth B., Clowes R., Hajnal Z. Lithospheric structure of the Trans-Hudson Orogen from seismic refraction – wide-angle reflection studies // *Canadian Journal of Earth Sciences*. – 2005. – Vol. 42, N 4. – P. 435–456.

REFERENCES

1. Beljashov A. V., Suvorov V. D., Mel'nik E. A. Sejsmicheskoe izuchenie verhnej chasti razreza na uchastke Semipalatinskogo jadernogo ispytatel'nogo poligona // *Tehnologii sejsmorazvedki*. – 2013. – № 3. – S. 64–75.
2. Beljashov A. V., Suvorov V. D., Mel'nik E. A. Tehnogenno-izmenennye pripoverhnostnye porody na uchastke Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona: harakteristika po sejsmicheskim dannym // *Tehnologii sejsmorazvedki*. – 2015. – № 1. – S. 106–110.
3. Bullen K. E. *Vvedenie v teoreticheskiju sejsmologiju*. – M.: Mir, 1966. – 371 c.
4. Mel'nik E. A., Suvorov V. D., Mishen'kina Z. R. Petrofizicheskaja interpretacija sejsmoplotnostnyh dannyh (na primere Mujskoj vpadiny) // *Tehnologii sejsmorazvedki*. – 2016. – № 4. – S. 84–91.
5. Suvorov V. D., Mel'nik E. A. O petrofizicheskoj neodnorodnosti zemnoj kory i verhov mантии v dvuh rajonah Sibiri po sejsmogravitacionnym dannym i izmerenijam na obrazcah gornyh porod // *Fizicheskaja mezomehanika*. – 2008. – Т. 11, № 1. – S. 101–108.
6. Ganerod G. V. Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fractures zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway // *Bulletin of Engineering and the Environment*. – 2006. – Vol. 65. – P. 231–243.
7. Nemeth B., Clowes R., Hajnal Z. Lithospheric structure of the Trans-Hudson Orogen from seismic refraction – wide-angle reflection studies // *Canadian Journal of Earth Sciences*. – 2005. – Vol. 42, N 4. – P. 435–456.

© Е. А. Мельник, В. В. Оленченко, 2018