

Науки о Земле

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

*Мельник Е.А., кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией
Глинских В.Н., доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией
Оленченко В.В., кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией
Татаурова А.А., научный сотрудник
(Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук)*

DOI: 10.25633/ETN.2019.02.10

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРУНТОВ ПО КОМПЛЕКСУ СЕЙСМОПЛОТНОСТНЫХ И ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

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

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

*Melnik E.A.
Glinskikh V.N.
Olenchenko V.V.
Tataurova A.A.*

STUDYING OF STRUCTURAL AND MATERIAL FEATURES OF SOILS ACCORDING TO THE COMPLEX OF SEISMIC, GRAVITY AND GEOELECTRIC DATA

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 «Volocheevskoe» Dzerzhinsky line of the Novosibirsk subway.

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

Введение

В последние десятилетие в городе Новосибирске и Новосибирской области наиболее активно ведутся работы по инженерно-геологическим изысканиям, проектированию и строительству мостов, станций метрополитена и новых дорог. При производстве этих работ одну из ведущих ролей играют геофизические исследования в составе инженерно-геологических

изысканий, повышение эффективности применения которых в современных технологических условиях возможно путем развития наукоемкого обеспечения стройиндустрии [4, 6, 7]. Основная идея данной работы заключается в применении нового подхода к изучению состояния вещества в приповерхностной части земной коры, подверженной природным и техногенным процессам. Этот подход основан на определении природы геофизических аномалий, наблюдаемых мало-глубинными методами сейсмо- и электроразведки, с привлечением данных лабораторных измерений. Эффективность предложенного подхода показана на примере геофизических исследований в составе инженерно-геологических изысканий на участке размещения электродепо «Волочаевское» Дзержинской линии Новосибирского метрополитена.

Методика работы

Основными этапами инженерно-геологических изысканий являются: расчленение геологического разреза и установление литологических границ, выявление и прослеживание неоднородностей строения массива грунтов в плане и по глубине и особое внимание уделяется выявлению тектонических нарушений, зон повышенной трещиноватости и обводненности [2]. Изучение возможности разделения эффектов, связанных с трещиноватостью, обводненностью и относительными вариациями вещественного состава грунтов возможно по изменениям коэффициента петрофизической неоднородности, рассчитанного по комплексу геофизических данных.

Для этого предложено использовать коэффициент петрофизической (химической) неоднородности (η) [1], который определяется изменениями модуля сжатия и плотности с глубиной,

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

где K – модуль сжатия, $p = \rho g z$ – литостатическое давление, g – ускорение силы тяжести, $\Phi = K/\rho = V_p^2 - (4/3)V_s^2$, ρ – плотность, z – глубина, V_p , V_s – 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 [3, 5].

Расчет коэффициента петрофизической неоднородности

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.

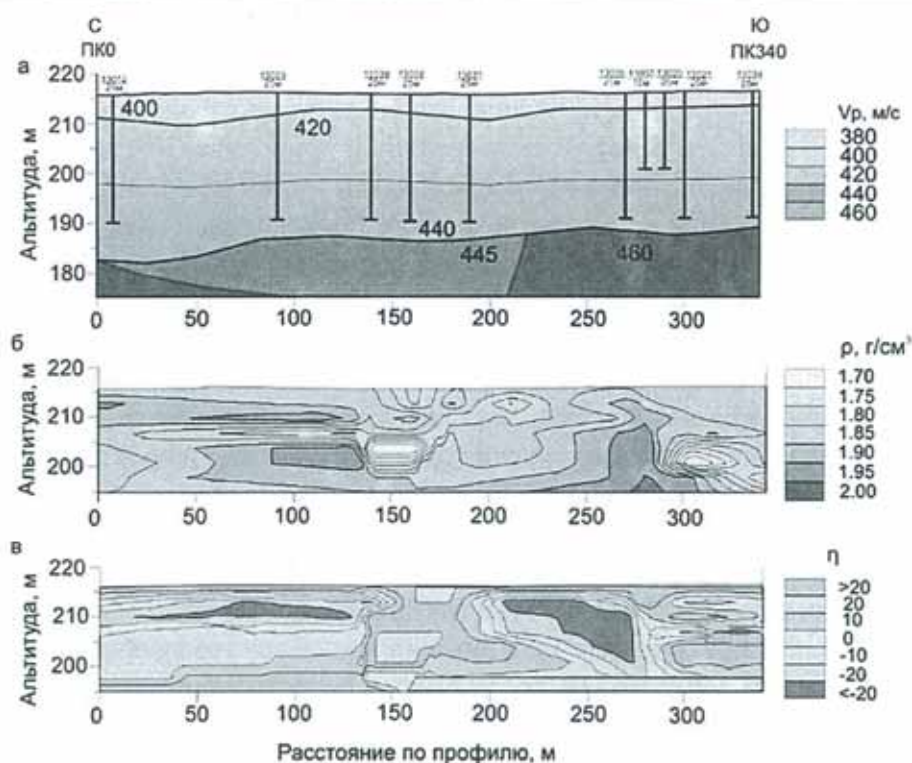


Рис. 1. Геофизические модели по данным продольных волн (а), плотностная (б) и петрофизическая (в)

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. 1а). 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 420–440 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). Видно, что изменения скорости и плотности по разрезу не подобны. На общем фоне значений плотности 1.7–1.85 г/см³ фиксируются повышенные значения плотности до 1.90–1.95 г/см³ в виде двух вертикальных зон (рис. 1б).

Используя двумерные распределения скорости продольных, поперечных волн и плотности, были рассчитаны изменения петрофизической неоднородности. В соответствии с детальностью сейсмических данных использовалась расчетная 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. 1в). 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 на фоне близких к единице значений коэффициента петрофизической неоднородности выделяющиеся

контрастные положительные и отрицательные аномалии (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.

Комплексная интерпретация геофизических данных

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. Особое внимание обращают на себя центральная аномалия (150–200 м профиля) с повышенными значениями УЭС (50–80 Ом·м), которой соответствуют области повышенных значений коэффициента η (более 20), что связано с преобладанием песчаной фракции в грунтах. И наоборот, зона с низкими значениями УЭС (200–230 м профиля) хорошо коррелируется с зоной пониженного значения коэффициента петрофизической неоднородности, что связано с областями обводнения и подтверждается данными бурения.

Выявленная корреляция особенно актуальна при проведении работ в условиях плотной застройки с большим количеством газо- и водопроводных коммуникаций, дающих ложные низкоомные аномалии, где необходимо верифицировать низкоомные геоэлектрические аномалии, связанные с обводненностью грунтов, что возможно сделать с помощью коэффициента петрофизической неоднородности.

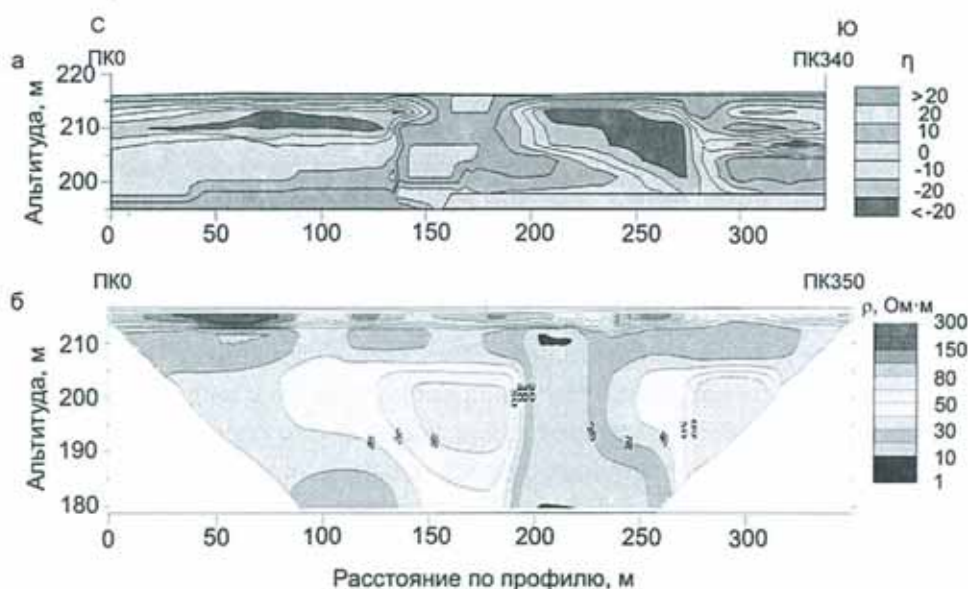


Рис. 2. Геоэлектрический разрез (а) и петрофизическая модель (б)

Заклучение

Предложен новый методический подход к комплексной интерпретации данных малоглубинных геофизических исследований в составе инженерно-геологических изысканий в условиях мегаполиса. Выявлена устойчивая корреляция зон пониженных значений удельного электрического сопротивления с участками низких значений коэффициента петрофизической неоднородности, связанных с областями обводнения, что подтверждается данными бурения. Предложенные решения успешно апробированы на объекте «Участок продления Дзержинской линии Новосибирского метрополитена. Электродепо «Волочаевское».

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Буллен К.Е. Введение в теоретическую сейсмологию. – М.: Мир, 1966. – 371 с.
2. Вартанов А.З. Геофизические изыскания в условиях мегаполиса. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011, № 8. – С. 174–180.
3. Мельник Е.А., Суворов В.Д., Мишенькина З.Р. Петрофизическая интерпретация сейсмодатных данных (на примере Муйской впадины). // Технологии сейсморазведки. 2016, № 4. – С. 84–91.
4. Мухаметшин А.М., Ведерников А.С., Зуев П.И. Результаты крупномасштабных сейсмометрических исследований в стесненных условиях урбанизированной территории. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008, № 4. – С. 66–70.
5. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Мишенькина З.Р. 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., Running J.S., Dalsegg E., Elvebakk H., Holmuy K., Nilsen B. 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. Adepelumi A.A., Olorunfemi M.O. Engineering geological and geophysical investigation of the reclaimed Lekki peninsula, Lagos, South West Nigeria. // Bulletin of Engineering and the Environment. 2000, Vol. 58, No. 2. – P. 125–232.