

Особенности совместной обработки и интерпретации данных электротомографии и георадиолокации в условиях влияния техногенных помех на объектах транспортного строительства

В работе приводится пример выполнения геофизических исследований методами георадиолокации и электротомографии в рамках инженерных изысканий на участке строительства железнодорожной эстакады. Особенностью участка является повышенный уровень техногенных помех, которые оказывают значительное влияние на полевые данные электроразведочных работ, увеличивая погрешность подбора электротомографической модели, тем самым снижая однозначность геологической интерпретации на этапе камеральной обработки. Рассматривается подход к совместной обработке и интерпретации геофизических данных, когда при расчете электротомографической модели в качестве априорных данных используются литологические границы, выделенные по данным георадиолокации. Использование данного подхода снижает как погрешность подбора электротомографической модели, так и неопределенность геологической интерпретации геофизических данных, полученных в условиях влияния техногенных помех сопутствующих работам в полосе отвода действующей железной дороги.

Ключевые слова: электротомография, георадиолокация, инженерные изыскания, транспортное строительство, техногенные помехи.

Введение

Проектирование и строительство объектов транспортной инфраструктуры повышенного уровня ответственности, таких как мосты, путепроводы и эстакады, нуждается в достоверной и детальной информации о строении инженерно-геологического разреза, особенно, когда в исследуемом разрезе присутствуют слабые грунты с пониженной несущей способностью. Недостаточная изученность участка геологическими методами, в данном случае, может быть компенсирована геофизическими исследованиями, которые обеспечивают непрерывное изучение инженерно-геологического разреза.

Преимущество комплексного использования геофизических методов в подобных ситуациях не вызывает сомнения. Очевидно, показателем достоверности и надежности данных инженерно-геофизических исследований остается степень их корреляции с результатами бурения.

В данной работе показан пример подхода к совмест-

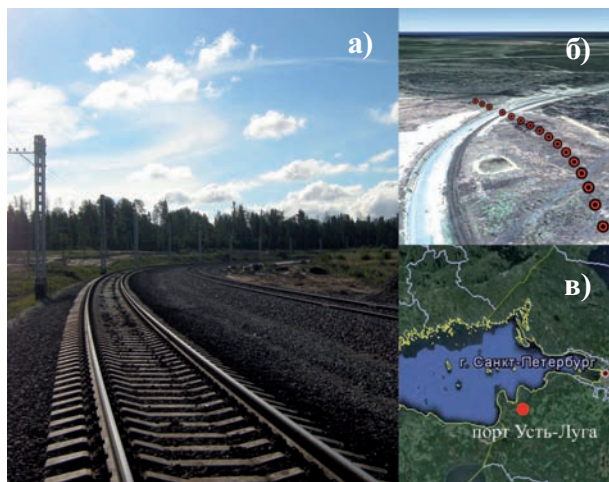


Рис. 1. (а) существующая железная дорога; (б) положение опор эстакады; (в) местоположение участка работ.

ной обработке и интерпретации данных геофизических методов электротомографии и георадиолокации. Особенностью этого подхода является то, что при подборе электротомографической модели в качестве априорных данных использованы литологические границы, выделенные по данным георадиолокации. Такой подход позволил повысить качество решения обратной задачи геофизики, сузить эквивалентность и повысить устойчивость решения в условиях техногенных помех, сопутствующих работам в полосе отвода действующей железной дороги.

Материалы и методы

Объект исследований

Участок работ находится на Западе Ленинградской области в районе морского порта Усть-Луга в полосе от-

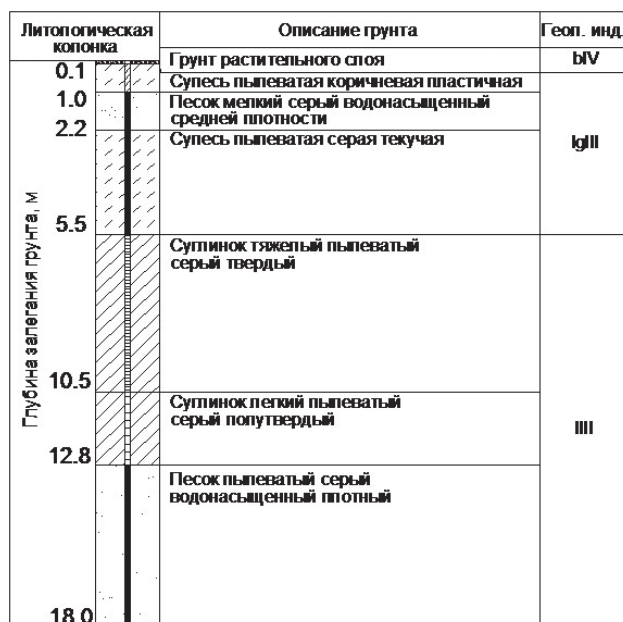


Рис. 2. Геологический разрез по скважине.

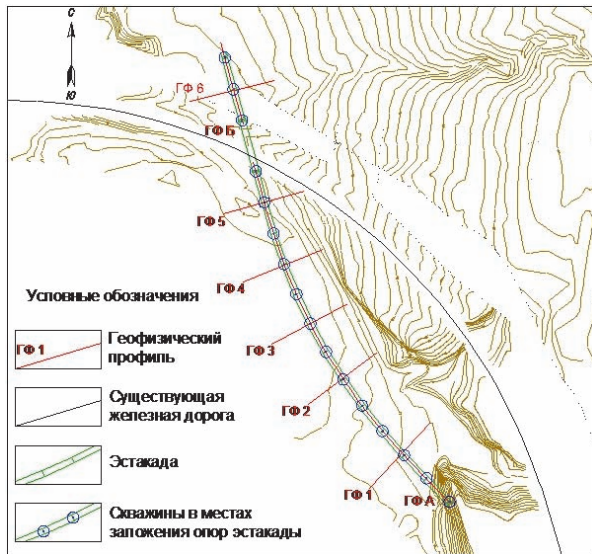


Рис. 3. Схема расположения геофизических профилей.

вода действующей железной дороги (Рис. 1). Геофизические исследования выполнялись группой геофизиков проектно изыскательского института ОАО «Ленгипротранс» в рамках инженерно-геологических изысканий на площадке проектирования 500-метровой железнодорожной эстакады.

Инженерно-геологический разрез участка работ имеет горизонтально-слоистое строение и сложен преимущественно верхнечетвертичными озерно-ледниковыми и ледниковыми суглинками и супесями различной консистенции, с прослоями водонасыщенного песка. Данные по одной из скважин участка с геологическим описанием приведены на рисунке 2.

Целью геофизических исследований было получение непрерывной геолого-геофизической модели инженерно-геологического разреза на глубину до 30 м вдоль оси проектируемой эстакады.

Методика исследований

В геофизический комплекс вошли методы георадиолокации (Davis, Annan, 1989) и электротомографии (Griffiths & Barker, 1993; Loke & Barker, 1996). В качестве измерительной аппаратуры использован комплект георадара ОКО-2 (ООО «Логис», г. Раменское) с антенным блоком 250 МГц и комплект электроразведочной аппаратуры EraMultimax (НПП «ЭРА», г. С-Петербург).

По оси проектируемой эстакады выполнен продольный геофизический профиль. Поперечные профили располагались выборочно в местах заложения опор. Схема расположения геофизических профилей приведена на рисунке 3.

Стоит отметить близость к участку работ действующей железной дороги и сопутствующих ей источников помех, оказывающих значительное влияние на результаты геофизических измерений. В полосе отвода находятся различные подземные и наземные коммуникации, металлические конструкции, часто курсируют железнодорожные составы (Рис. 4).

На рисунке 5 представлен график соотно-



Рис. 4. Источники техногенных помех в полосе отвода железной дороги: (а) кабель высокого напряжения; (б) железнодорожные составы; (в) металлические конструкции.

шения наблюдаемого уровня шумов в каналах электротомографической косы и уровня полезного сигнала вдоль осевого профиля. Видно, что при приближении к железной дороге уровень шумов значительно возрастает. На рисунке 6 представлены графики изоисточников для отношения наблюдаемых значений разности потенциала к силе тока полученные по системе наблюдений трехэлектродной установки. Вблизи железной дороги наблюдается значительное число «выскоков» измеренных значений, по сравнению с другими участками, на которых «выскики» практически отсутствуют. Предварительная оценка полевых данных показала, что погрешность подбора модели на участке с низким уровнем помех составляет 4 %, в то время как погрешность на участке с высоким уровнем помех достигает 15 %.

Как отмечают зарубежные специалисты, среднеквадратическая погрешность подбора электротомографической модели в условиях близости железной дороги может достигать 10 % (Donohue et al., 2013). В то время как ошибка подбора в стандартных условиях обычно не превышает 5 %.

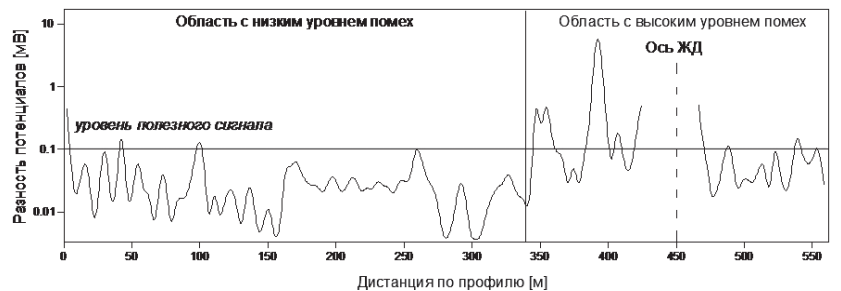


Рис. 5. График соотношения уровня помех и полезного сигнала вдоль профиля электротомографии.

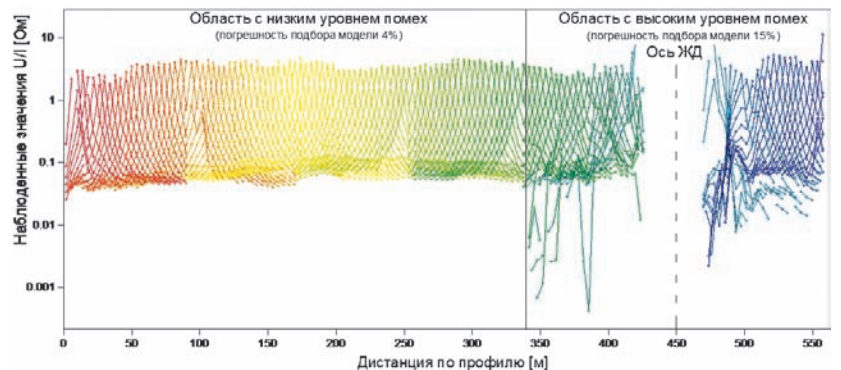


Рис. 6. Графики изоисточников наблюдаемых значений U/I.

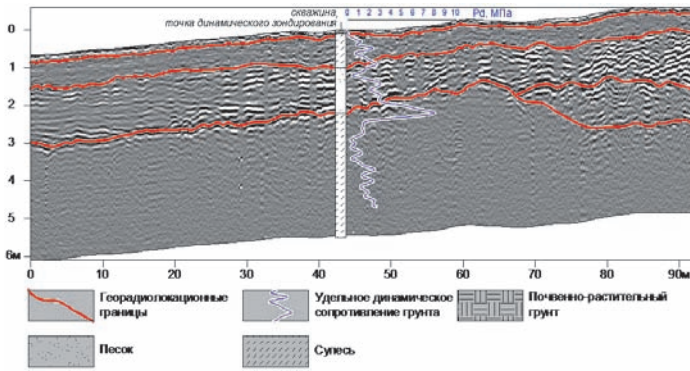


Рис. 7. Георадиолокационный разрез.

Обработка данных георадиолокации проводилась с использованием программного пакета Geoscan32 (Руководство пользователя программой GeoScan32, 2009). Данные электротомографии обрабатывались в программах ZondMultimax и ZondRes2D (Каминский, 2012).

Результаты исследований

На рисунке 7 представлена характерная радарограмма по одному из поперечных профилей с выделенными георадиолокационными границами, хорошо коррелирующимися с данными бурения и динамического зондирования. Опытным путем подобранная диэлектрическая проницаемость пород верхней части разреза составляет 23 единицы СИ, причем является единой как для слоя супеси в интервале от 0.1 до 1 метра, так и для слоя водонасыщенного песка в интервале от 1 до 2.2 метров. Данный слой песка на радарограмме, главным образом, выделяется по характерному типу волновой картины (Daniels, 2004). Ниже по разрезу на глубине 2.2 метра в слое пылевой текучей супеси наблюдаем полное затухание георадиолокационного сигнала. Данный слой, по инженерно-геологическим показателям, относится к слабым грунтам.

Особенность подхода к обработке материалов электротомографии заключается в использовании результатов георадиолокации в качестве априорных данных при решении обратной задачи (Рис. 8). Такой прием позволил снизить невязку подбора модели на отдельных профилях до 1 %.

На рисунке 9 приведена комплексная георадиолокационно-геоэлектрическая модель. Видно, что слои супеси и песка в интервале от 0.1 до 2.2 метра объединяются в один геоэлектрический слой с удельным сопротивлением 250-400 Ом*м. Ниже по разрезу идет низкоомный слой, отвечающий текучей супеси.

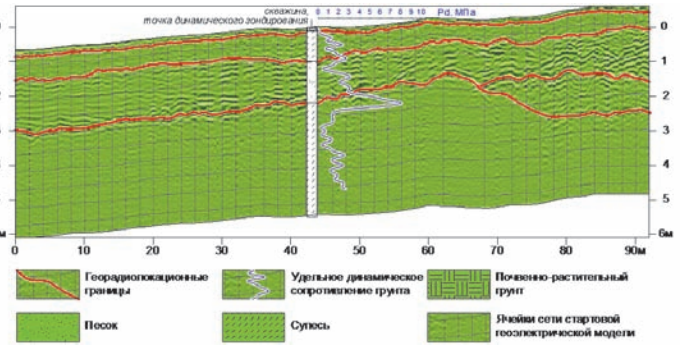


Рис.8. Наложение георадиолокационных границ на стартовую геоелектрическую модель.

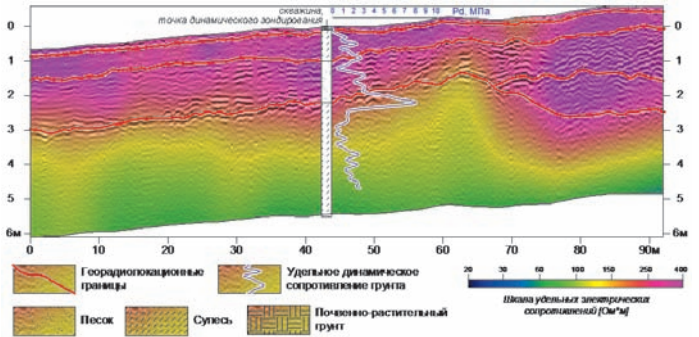


Рис. 9. Комплексная георадиолокационно-геоэлектрическая модель.

Результаты геофизических исследований по всему участку работ приведены на рисунке 10.

В центральной части участка на продольном и поперечных профилях на глубине 10-15 м выделяется слой с повышенными значениями удельного электрического сопротивления, который по данным бурения является мощной линзой песка (Рис. 11).

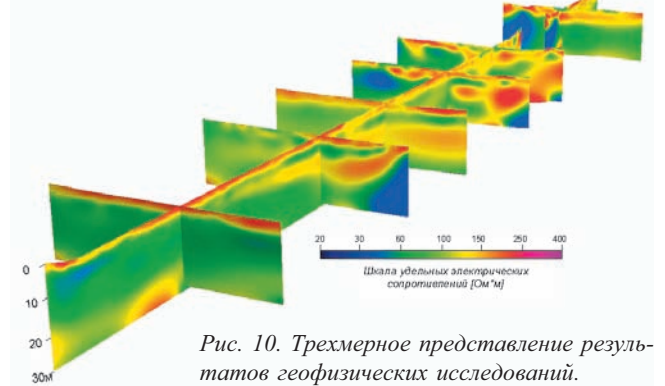


Рис. 10. Трехмерное представление результатов геофизических исследований.

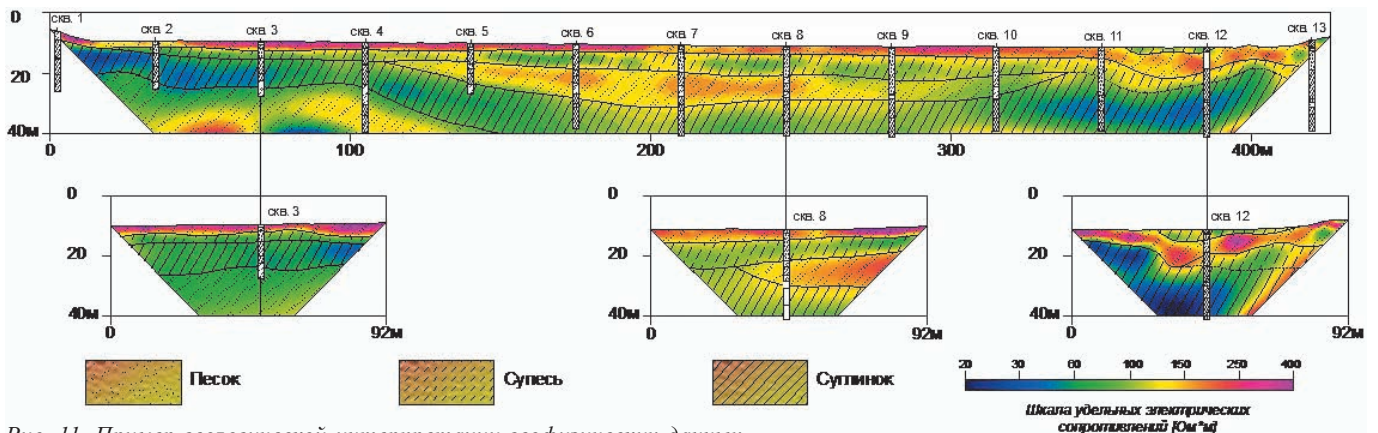


Рис. 11. Пример геологической интерпретации геофизических данных.

На отдельных участках прослеживаются низкоомные зоны, которые по данным статического и динамического зондирования характеризуются слабыми грунтами.

Выводы

По данным георадиолокации в верхней части разреза удалось выделить и непрерывно проследить литологические границы слоев, которые не нашли отражения на геоэлектрических моделях в силу недостаточной разрешающей способности данного метода.

Недостаточная глубинность георадиолокационных исследований, вследствие затухания электромагнитной волны в глинистых грунтах, в свою очередь, была компенсирована электротомографическими измерениями.

Расчет геоэлектрических моделей с учетом георадиолокационных данных позволил снизить неоднозначность решения обратной задачи, обусловленной влиянием техногенных помех, сопутствующих участку полосы отвода действующей железной дороги, тем самым повысив достоверность геологической интерпретации геофизических данных.

Литература

- Daniels D.J. Ground-penetrating radar. 2nd ed. London: The Institution of Electrical Engineer. 2004. 734 p.
Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical*

Prospecting. 1989. № 37. Pp. 531-551.

Donohue S., Gavin K. and Tolooiyan A. Geophysical and geotechnical assessment of a railway embankment failure. *Near Surface Geophysics*. 2013. V.9. №1. Pp. 33-44.

Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*. 1993. V. 29. Is. 3-4. Pp. 211-226.

Loke M.H., Barker R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*. 1996. № 44. Pp. 131-152.

Каминский А.Е. Инструкция к программе двумерной интерпретации данных метода сопротивлений и вызванной поляризации ZondRes2D. С-Петербург: Zond geophysical software. 2012. 70 с.

Руководство пользователя программой GeoScan32. Раменское: ЛОГИС. 2009. 126 с.

Сведения об авторах

Лаломов Дмитрий Александрович – аспирант кафедры геофизических и геохимических методов поисков и разведки полезных ископаемых Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

199109, Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д. 2
Тел: +7(911)817-76-16.

Артиугин Александр Иванович – Руководитель группы геофизики ОАО «Ленгипротранс»

196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 143
Тел: +7(812)334-03-33 доб.757.

Combined Data Processing and Interpretation of Electrical Resistivity Tomography and Ground Penetrating Radar (GPR) under the Influence of Anthropogenic Interference on the Facilities of Transport Construction

D.A. Lalomov¹, A.I. Artiugin²

¹National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg, Russia, e-mail: lalomov@yahoo.com

²OJSC «Lengiprotrans», Saint Petersburg, Russia, e-mail: artugin@lgt.ru

Abstract. The paper shows an example of geophysical survey by GPR and electrical resistivity tomography within the engineering survey of the railway overpass construction. Specific feature of this object is an increased level of anthropogenic interference. It has a significant impact on the field data of electric survey, increasing error in selecting electric tomography model, thereby reducing uniqueness of geological interpretation on the stage of office processing. An approach for combined geophysical data processing and interpretation is considered at calculating electric tomography model, lithological boundaries allocated by GPR are used as a priori data. Using this approach reduces the error of selecting electric tomography model, and uncertainty of geological interpretation of geophysical data obtained under the influence of man-made interference during the works in derivation area of existing railway.

Keywords: electrical resistivity tomography, GPR, engineering surveys, transport construction, man-made interference.

References

- Daniels D.J. Ground-penetrating radar. 2nd ed. London: The Institution of Electrical Engineer. 2004. 734 p.
Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical*

Prospecting. 1989. № 37. Pp. 531-551.

Donohue S., Gavin K. and Tolooiyan A. Geophysical and geotechnical assessment of a railway embankment failure. *Near Surface Geophysics*. 2013. V.9. №1. Pp. 33-44.

Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*. 1993. V. 29. Is. 3-4. Pp. 211-226.

Loke M.H., Barker R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*. 1996. № 44. Pp. 131-152.

Kaminskiy A.E. Instruktziya k programme dvumernoy interpretatsii dannykh metoda soprotivleniy i vyzvannoy polarizatsii ZondRes2D [Program for two-dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods. ZondRes2D. Users Manual]. Saint Petersburg: Zond geophysical software. 2012. 70 p.

Rukovodstvo pol'zovatelya programmoy GeoScan32 [GeoScan32 Users Manual, Georadar «OKO» Program of Control and Visualization of the Obtained Data]. Ramenskoe: «LOGIS» Publ. 2009. 126 p.

Information about authors

Dmitriy Lalomov – Ph.D. student of the Chair of Mining Geophysics, National Mineral Resources University.

199109, Saint Petersburg, 21-ya liniya, 2.
Tel: +7(911)817-76-16.

Alexandr Artiugin – Geophysics team manager

OJSC «Lengiprotrans», 196105, Saint Petersburg, Moskovskiy pr., 143. Tel: +7(812)334-03-33 ad.757.