

УДК 550.837.3

**Д.Н. Божежа<sup>1</sup>, В.В. Прилуков<sup>1</sup>,  
И.С. Пидлисна<sup>2</sup>, М.А. Петрановская<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле  
ИГН НАН Украины, г. Киев, Украина*

*<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
г. Киев, Украина,*

*<sup>3</sup>Институт прикладных проблем экологии, геофизики и  
геохимии, г. Киев, Украина*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОБЛЕМНОГО УЧАСТКА В ГОРОДЕ**

Приводятся результаты применения комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля, вертикального электрорезонансного и георадарного зондирования для изучения инженерно-геологических условий в районе станции метро “Вокзальная” в г. Киеве. Установлено, что разрушение колонны станции вызвано формированием зоны увлажнения грунтов, обусловленным появлением техногенного водного потока со стороны сооружения станции. Зона увлажнения закартирована, зондированием определены ее глубины. Сформулированы рекомендации по ликвидации последствий техногенного явления. Исследования показали, что обнаружение и картирование водных потоков и участков повышенного увлажнения грунтов может осуществляться оперативно комплексом мобильных геоэлектрических и георадарных методов. Этот комплекс может использоваться для решения специфических инженерно-геологических задач при строительстве новых объектов, а также для проведения регулярного мониторинга инженерно-геологического состояния среды в уже построенных районах.

**Ключевые слова:** геоэлектрическая съемка, электрорезонансное зондирование, георадар, аномалия, зона увлажнения, водоносный горизонт, водный поток.

**Введение.** При решении разнообразных инженерно-геологических задач широко используются геофизические методы [8, 9, 11]. Они применяются как при проведении инженерно-геологических съемок различного масштаба, так и при детальными работами изыскательского характера. Применение геофизических методов позволяет повысить точность и детальность изысканий, уменьшить затраты времени и финансовых ресурсов на проведение инженерно-геологических работ в целом.

Объектом инженерно-геологических исследований является верхняя часть разреза (ВЧР), для которой характерна значительная неоднородность строения и физических свойств пород. Большая эффективность геофизических исследований при изучении ВЧР достигается применением методов различной физической природы, увеличением детальности наблюдений для получения интегральных характеристик, отражающих особенности строения и свойств массива пород в его естественном залегании, выполнением многократных наблюдений без нарушения строения и состояния геологической среды [11].

Геофизические методы позволяют картировать рыхлые отложения, определять глубины залегания коренных пород, детально расчленять ВЧР, оценивать физико-механические и водно-физические свойства пород в их естественном залегании, изучать трещиноватость и нарушенность массивов, определять уровень грунтовых вод и их динамику. Данные методы также используются для изучения напряженного состояния коренных пород, картирования зон геодинамической активности (карст, суффозия, оползни, обвалы, просадки и др.), представляющих опасность для строительства, проведения мониторинга за состоянием сооружений и изучения их влияния на геологическую среду

Традиционно в процессе приповерхностных исследований используется комплекс геофизических методов, ведущими в котором являются сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ) и электромагнитные зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ–ВП или ЗСБ). В комплекс также могут включать микромагнитную, эманационную съемки и гамма-съемку. Применяют сейсмоакустическое и электромагнитное межскважинные просвечивания [11].

Важное внимание уделяется выявлению слабо проявленных в геолого-геофизических полях малоамплитудных, как правило, долгоживущих тектонических разломов, связанных с активными движениями земной коры. К ним приурочены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. Для обнаружения разломных зон используются методы комплексной интерпретации площадной или профильной геолого-геофизической информации [11].

В последнее время для решения разнообразных задач приповерхностной геофизики часто применяют радиоволновой метод исследований [2], импульсные электромагнитные методы [9, 10] и высокоточную гравиразведку [10], георадарные [1] и сейсмоакустические методы [3].

В публикациях [4–7] приводятся результаты применения геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП), вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ) [7] и георадарного зондирования при решении разнообразных задач приповерхностной геофизики. Ниже представлены результаты применения этих методов для обследования инженерно-геологических условий проблемного участка в районе станции метро “Вокзальная” в г. Киеве.

**Проблемный объект и методика работ.** В районе несущих колонн ротонды станции метрополитена “Вокзальная” (колонна 2, рис. 1) возникла зона просадки грунта, что привело к нарушению фундамента колонны. Начались процессы частичного разрушения самой колонны.

Для установления причин деформации колонны оперативно проведены геофизические исследования проблемного участка в районе станции метро “Вокзальная” 09.02.2013 г. Геофизическими методами исследова-

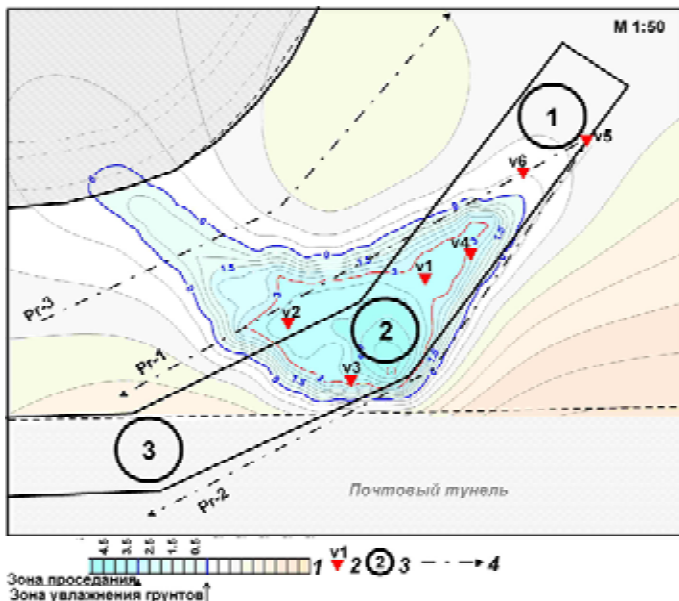


Рис. 1. Карта зоны увлажнения почв в районе несущих колонн 1–3 ротонды станции метрополитена “Вокзальная” в г. Киев (по данным геофизической съемки 09.02.2013 г.). 1 – шкала мощности увлажненных грунтов, м; 2 – точка вертикального зондирования ВЭРЗ; 3 – положение несущей колонны; 4 – профиль георадарного сканирования 1–3

лось состояние грунтов в районе колонн 1–3 (рис. 1). Основная задача исследований – выявление гидрогеологических факторов, которые, в принципе, могут быть основной причиной возникновения просадок грунтов.

Обследование проблемного участка проводилось геоэлектрическими методами СКИП–ВЭРЗ и георадарного зондирования. Геофизические измерения производились, в основном, вдоль колонн, пункты профильных и точечных измерений показаны на рис. 1.

В процессе работ съемкой методом СКИП выявлялись и картировались зоны повышенного увлажнения грунтов и повышенной фильтрации грунтовых вод. В результате выполненных измерений обнаружены и закартированы зоны подземного водного потока, прослежен путь его миграции.

Методами электрорезонансного и георадарного зондирования установлены глубины зон увлажнения грунтов, литологических границ и зон ослабленных грунтов, которые формируются вследствие суффозионных процессов.

Георадарное зондирование на объектах обследования проводилось георадаром “ОКО-2” с антенным блоком АБ-250 МГц. Шаг зондирования по профилям 10 см, глубина зондирования 20 м.

**Результаты исследований.** По результатам геофизических исследований в районе колонны 2 определена зона увлажнения грунтов (рис. 1). Длина зоны вдоль ротонды 6 м. В центре увлажненной зоны расположена колонна 2. По состоянию на период проведения работ (09.02.2013) зона увлажнения располагалась на расстоянии 1 м от колонны 1 и 2,5 м – от колонны 2. Начало зоны увлажненных грунтов прослежено от основного сооружения станции “Вокзальная”.

По результатам вертикального зондирования определены глубины зон увлажнения грунтов (см. таблицу, рис. 2, 3).

*Результаты вертикального зондирования методом ВЭРЗ*

Точка зондирования	Глубина до кровли увлажненной зоны, м	Глубина до подошвы увлажненной зоны, м	Мощность увлажненной зоны, м
v1	2,5	3,9	1,4
	5,5	7,2	1,7
v2	2,1	4,3	2,2
	6,5	8,2	1,7
v3	2,4	3,9	1,5
	5,2	6,8	1,6
v4	3,0	4,6	1,6
	5,9	7,6	1,7

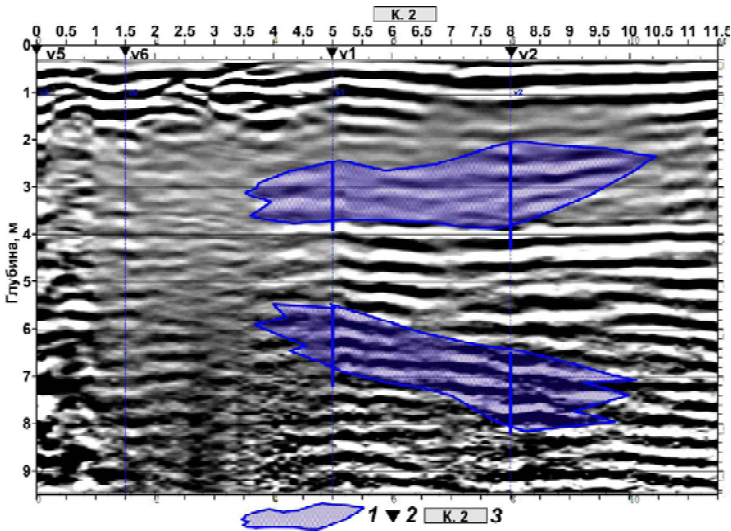


Рис. 2. Вертикальний георадарний розріз вздовж несущей колонны 2 сооружения станции метрополитена “Вокзальная”. Профиль 1: 1 – зона увлажнения грунтов; 2 – точка зондирования ВЭРЗ; 3 – положение колонны 2

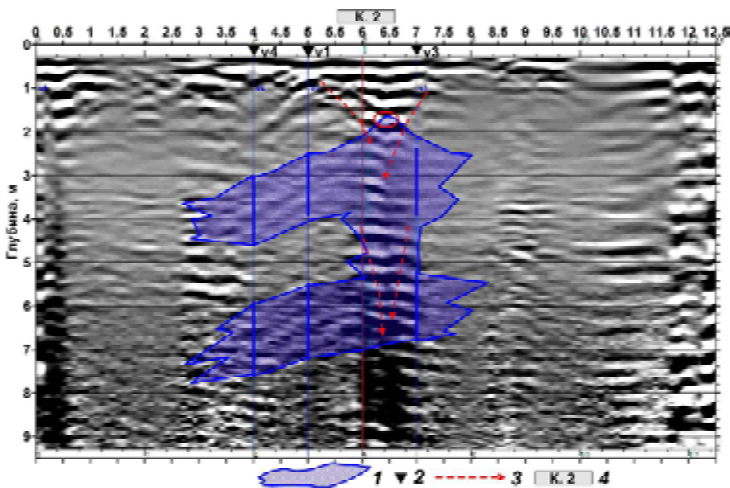


Рис. 3. Вертикальный георадарный разрез вдоль несущей колонны 2 сооружения станции метрополитена “Вокзальная”. Профиль 2: 1 – зона увлажнения грунтов; 2 – точка зондирования ВЭРЗ; 3 – зоны нарушения грунтов; 4 – положение колонны 2

По данным зондирования в зоне увлажнения выделено два горизонта: верхний расположен на глубинах от 2,1 до 4,0 м; нижний – в интервале глубин 6,0–7,0 м. Верхний горизонт увлажнения находится в зоне насыпных грунтов, в которых при увлажнении могли сформироваться участки просадки грунтов под фундаментом колонны 2.

В целом зона увлажнения прослеживается от основного сооружения станции к колонне 2. При этом наблюдается увеличение глубины увлажнения грунтов в сторону колонны от 1,5 до 2,1 м. Вполне вероятно, что фильтрационный водяной поток, формирующий зону увлажнения, мигрирует со стороны сооружения станции метро.

При визуальном обследовании канализационного колодца, расположенного возле колонны 1, установлено отсутствие пропуска воды. Это указывает на то, что канализационная труба не работает, что может быть вызвано ее порывом.

**Выводы и рекомендации.** Комплексом мобильных геоэлектрических и георадарного методов на проблемном участке в районе станции метро “Вокзальная” оперативно обнаружена зона повышенного увлажнения грунтов, обусловленная техногенным водным потоком со стороны основного сооружения станции. Зона увлажнения закартирована, зондированием определены ее глубины. Разрушение колонны станции обусловлено именно этой зоной увлажнения.

Для устранения последствий техногенного явления рекомендовано проверить канализационные и другие подземные водные сети, обслуживающие основное здание станции метро “Вокзальная”. При обнаружении утечек воды необходимо провести ремонт подземных водных коммуникаций.

Необходимость проведения химического закрепления грунтов в районе на проблемном участке может быть установлена после разведочного бурения или раскопки фундамента колонны. Рекомендованный интервал закрепление грунтов – от 2 до 7 м.

В целом, опыт практического применения комплекса геоэлектрических, сейсмоакустического и георадарного методов при решении разнообразных задач приповерхностной геофизики [4–7], а также представленные выше результаты свидетельствуют о том, что мобильный комплекс позволяет оперативно и эффективно решать следующие задачи:

- а) выделять зоны повышенного увлажнения грунтов;
- б) определять направления и пути миграции фильтрационных водных потоков естественного и техногенного происхождения;
- в) устанавливать глубины залегания и мощности обводненных горизонтов пород;
- г) определять по площади мощности рыхлых отложений, кровли дресвы и гранитного основания;
- д) выделять и трассировать в пределах участка работ тектонические нарушения, и т.д.

Данные вертикального электрорезонансного и георадарного зондирования по достаточно плотной системе профилей и отдельным точкам дают возможность строить детальные карты и геолого-геофизические разрезы глубин залегания границ между отдельными комплексами пород, а также карты мощностей отдельных стратиграфических горизонтов разреза. Такие графические материалы (карты и разрезы) позволяют сформировать целостное и объемное представление о геологическом строении верхней части разреза в пределах участков обследования.

Геофизические измерения комплексом геоэлектрических и георадарного методов на участках обследования выполняются оперативно, в сжатые сроки, что значительно сокращает сроки проведения инженерно-исследовательских работ в целом, а также снижает их стоимость за счет существенного уменьшения объемов бурения.

Геоэлектрическая технология СК ИП–ВЭРЗ и метод георадарного зондирования могут применяться для проведения мониторинговых наблюдений на участках расположения проблемных объектов с целью определения влияния техногенных и природных факторов на их устойчивость к деформациям. На площадках строительства новых объектов мониторинговые измерения целесообразно выполнять с целью определения влияния строящихся объектов на инженерно-геологические условия участков застройки и близлежащих территорий.

1. *Владов М.Л.* Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований / М.Л. Владов, В.П. Золотарев, А.В. Старовойтов: Материалы кафедры сейсмометрии и геоакустики геол. ф-та МГУ. – М., 1997. – 68 с.
2. *Задериголова М.М.* Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии / М.М. Задериголова. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 319 с.
3. *Калинин А.В.* Сейсмоакустические исследования на акваториях / А.В. Калинин, В.В. Калинин, Б.Л. Пивоваров. – М.: Недра, 1983. – 204 с.

4. *Левашов С.П.* Оперативное обследование и мониторинг участков развития карстовых процессов геофизическими методами / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, Д.Н. Божежа // *Геоинформатика*. – 2008. – № 4. – С. 63–68.
5. *Левашов С.П.* Эффективность оперативных геофизических технологий при изучении инженерно-геологических условий на участках метрополитена приповерхностного залегания / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный // *Геоинформатика*. – 2009. – № 2. – С. 30–47.
6. *Левашов С.П.* Оперативное решение практических задач приповерхностной геофизики: от применения неклассических геоэлектрических методов до новой парадигмы геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геоинформатика*. – 2011. – № 1. – С. 22–31.
7. *Левашов С.П.* Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // *Геофиз. журн.* – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 167–176.
8. *Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви. – М.: Недра, 1990. 501 с.
9. *Павлов А.Т.* Возможности и особенности импульсных индуктивных ЭМ зондирований ВЧР в сложных геологических условиях / А.Т. Павлов, В.П. Лепешкин, Ю.Н. Павлова // *Физика Земли*. – 2007. – № 3. – С. 65–73.
10. *Слепак З.М.* Геофизика для города / З.М. Слепак. – Тверь: Изд-во ГЕРС, 2007. – 240 с.
11. *Хмелевской В.К.* Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник / В.К. Хмелевской. Дубна: Междунар. ун-т природы, общества и человека “Дубна”, 1997. – 276 с.

**Застосування мобільних геофізичних методів для обстеження інженерно-геологічних умов проблемної ділянки у місті Д.М. Божежа, В.В. Прилуков, І.С. Підлісна, М.А. Петрановська**

Наведено результати застосування комплексу геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, вертикального електрорезонансного і георадарного зондування для вивчення інженерно-геологічних умов у районі станції метро “Вокзальна” у м. Києві. Установлено, що руйнування колони станції пов’язано з формуванням зони зволоження ґрунтів, що зумовлено появою техногенного водного потоку з боку споруди станції. Зону зволоження закартовано, зондуванням визначено її глибини. Сформульовано рекомендації щодо ліквідації наслідків техногенного явища. Показано, що виявлення та картування водних потоків і ділянок підвищеного зволоження ґрунтів можна здійснювати оперативно за допомогою комплексу мобільних геоелектричних і георадарного методів. Цей комплекс можна використовувати для вирішення специфічних інженерно-геологічних завдань під час будівництва нових об’єктів, а також проведення регулярного моніторингу інженерно-геологічного стану середовища у районах, уже побудованих.

**Ключові слова:** геоелектрична зйомка, електрорезонансне зондування, георадар, аномалія, зона зволоження, водоносний горизонт, водний потік.



**Mobile geophysical methods application for the engineering-geological conditions examination of problem area in city** D.N. Bozhezha, V.V. Prilukov, I.S. Pidlisna, M.A. Petranovskaya

The results of application of the complex of geoelectric methods of forming short-pulsed electromagnetic field (FSPEF), vertical electric-resonance (VERS) and georadar soundings to study engineering-geological conditions near the metro station “Vokzalnaya” in Kiev are given. Investigations have shown that the destruction of station column is caused by the zone of soil moistening, which was formed by man-made water flow from the station building. The moistening zone was mapped; its depths were identified by sounding. Recommendations were formulated for the man-made phenomenon liquidation. The finding and mapping of water flow and area of the raised soil moistening can be realized operatively by complex of geoelectric and georadar methods. This complex can be also used for solving the specific engineering-geological problems during new objects construction, as well as for regular monitoring of the engineering-geological condition of environment in areas of already constructed objects.

**Keywords:** geoelectric survey, electric-resonance sounding, georadar, building, anomaly, zone of moistening, aquifer, water flow.