

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПОД ЗАСТРОЙКУ  
МОБИЛЬНЫМИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

© С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, 2009

*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, Киев, Украина  
Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, Киев, Украина  
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина*

Presented here are the results of practical application of the complex of geoelectric methods of short-impulse electromagnetic field forming (SIEFF) and vertical electric-resonance sounding (VERS), as well as georadar soundings for operative engineering-geological examination of action area. They indicate that the complex allows to select zones with raised soil moistening, to define directions of the filtration water flow migration, to estimate depths of occurrence and thicknesses of watered rock horizon, to define loose sediments thicknesses, gress and granite basement upper boundaries depths, and to select and trace tectonic fractures. This complex of methods can also be used in monitoring observations on building areas with the purpose of determining the construction projects influence on engineering-geological conditions of the action areas and neighbouring territories.

**Введение.** При решении разнообразных инженерно-геологических задач широко используются геофизические методы [6, 7, 10]. Геофизические исследования выполняются при проведении как инженерно-геологических съемок различного масштаба, так и детальных изыскательских работ, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией различных сооружений. Применение геофизических методов позволяет повысить точность и детальность изысканий, уменьшить временные и материальные затраты на осуществление инженерно-геологических работ в целом.

Объектом такого рода исследований является верхняя часть разреза, характеризующаяся значительной неоднородностью строения и физических свойств горных пород. Для повышения эффективности геофизических исследований при изучении этого объекта используют методы различной физической природы, повышают детальность наблюдений с целью получения интегральных характеристик, отражающих особенности строения и свойств массива пород в его естественном залегании, выполняют многократные повторные наблюдения без нарушения строения и состояния геологической среды. В некоторых случаях проводят режимные геофизические наблюдения за интенсивностью геологических процессов, происходящих под воздействием естественных и техногенных факторов [10].

Геофизические методы широко применяются для картирования рыхлых отложений и определения глубины залегания коренных пород, детального расчленения верхней части разреза, оценки физико-механических и водно-физических свойств пород в их естественном залегании,

изучения трещиноватости и нарушенности массива, определения уровня грунтовых вод и их динамики. Достаточно часто геофизическими методами изучается напряженное состояние коренных пород, картируются зоны геодинамической активности (карст, суффозия, оползни, обвалы, просадки и др.), представляющие опасность для будущего строительства, проводятся мониторинг за состоянием сооружений и изучение их влияния на геологическую среду.

Для такого рода работ обычно используются комплекс традиционных геоэлектрических методов, ведущими в котором является сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а также электромагнитные зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП или ЗСБ). В комплекс могут также входить микромагнитная, эманационная съемки и гамма-съемка. Применяют также сейсмоакустическое и электромагнитное межскважинное просвечивание [10].

При изучении тектонических нарушений, выделении трещиноватых и ослабленных зон используют также аэрокосмические фото- и инфракрасные съемки, электропрофилирование, МПВ, микромагнитную и эманационную съемки, круговое электрическое зондирование (КВЭЗ).

Особое внимание уделяется выделению слабопроявленных в геолого-геофизических полях малоамплитудных тектонических разломов, связанных с активными движениями земной коры. Такие разломы, как правило, долгоживущие, т.е. прослеживаются от земной поверхности до больших глубин. К ним приурочены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. Для выявления подобных зон широко используются методы комплексной интерпретации площадной

или профильной геолого-геофизической информации [10].

В последнее время для решения разнообразных задач приповерхностной геофизики применяются методы радиоволновой [2], импульсные электромагнитные [8, 9], георадарные [1], сейсмоакустические [3] и высокоточная гравиразведка [9].

Во многих публикациях [4, 5] демонстрируется эффективность комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП), вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ) [11–13] и георадарного зондирования при решении инженерно-геологических задач и других не менее важных и неотложных задач приповерхностной геофизики.

Геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ совместно с методами сейсмоакустического и георадарного зондирования неоднократно использовались при проведении инженерно-геологических изысканий под застройку. Ниже представлены результаты применения этих методов при геофизических исследованиях площади строительства жилищного комплекса “Жемчужина Днепра” в г. Запорожье.

**Общие сведения.** Участок проведения геофизических работ расположен на склоновой части левого берега р. Днепр в г. Запорожье. Длина вытянутого вдоль набережной Днепра участка около 600 м. Ширина по склону изменяется от 100 до 250 м. Перепад высот между нижней и верхней частями склона около 20 м. Отметка высот нижней части, примыкающей к набережной, составляет 28 м, верхней – 48 (северо-запад) и 45 м (северо-восток) (рис. 1).

Геофизические работы на участке планируемого строительства проведены в июне 2008 г.

Основные задачи геофизических исследований заключались в определении глубины залегания слоя выветренных гранитов (дресвы) и кровли гранитного основания, а также в обнаружении и картировании тектонических нарушений, зон повышенного увлажнения пород и путей миграции подземных вод.

В процессе выполнения работ с помощью съемки методом СКИП были выделены зоны повышенного увлажнения грунтов, установлены зоны повышенной фильтрации и направление миграции подземных вод. Методы ВЭРЗ, георадарного и сейсмоакустического зондирования использовались для определения глубины залегания кровли дресвы и гранитов, а также интервалов расположения зон увлажнения пород.

Результаты проведенных исследований представлены в виде карт и разрезов.

**Методика и объемы работ.** Геоэлектрическая съемка методом СКИП проводилась как по про-

филям, так и в отдельных пунктах (рис. 2). Профили измерений располагались в основном вдоль грунтовых дорог, проложенных по площади. Шаг съемки по профилям 15–20 м. В зонах отсутствия дорог съемка выполнялась в отдельных точках измерений.

Зондирования ВЭРЗ с целью определения структуры разреза выполнены в 71 пункте, равномерно расположенном по всей площади участка застройки (рис. 4, 5). Сейсмоакустическое и георадарное зондирование с шагом 2,5 и 0,5 м соответственно проведено через центральную часть площади. Длина профиля 1–1а – 445 м, 2–2а – 160 м.

Положение профилей и пунктов геофизических измерений показано на рис. 2–5.

**Краткая характеристика результатов работ.** Результаты геофизических работ, проведенных на площади строительства, представлены в виде карт масштабов 1 : 2 000 и 1 : 1 000 и отдельных разрезов.

По данным съемки СКИП и зондирования ВЭРЗ построены карты: а) расположения пунктов геофизических измерений (рис. 1–6); б) зон повышенного увлажнения пород и путей миграции подземных вод (рис. 2); в) мощности увлажненных грунтов (рис. 3); г) мощности рыхлых отложений (рис. 4); д) кровли дресвы (рис. 5); е) кровли гранитов (рис. 6). По материалам ВЭРЗ, а также сейсмоакустического и георадарного зондирования построены вертикальные геолого-геофизические разрезы (рис. 7, 8).

**Участки повышенного увлажнения грунтов и пути миграции подземных вод.** На карте участков повышенного увлажнения грунтов (см. рис. 2) голубым цветом выделены аномальные участки типа “зоны повышенного увлажнения грунтов” в интервале глубин от 5 до 25 м. Данные зоны обусловлены подземными фильтрационно-миграционными водными потоками, приходящими со стороны ул. Победы и обусловленными как техногенными, так и естественными природными факторами. На площадке строительства выделены две зоны повышенной фильтрации подземных вод: северо-западная и восточная.

Ширина северо-западной зоны в некоторых местах достигает 100 м. В ее пределах водные потоки фильтруются в юго-западном и частично южном направлениях. Южный поток зоны формирует западную балку. Мощность обводненных пород в пределах зоны достигает 13 м (см. рис. 3). Глубина до кровли увлажненных пород составляет в среднем 10–15 м. Зона фильтрации захватывает рыхлые отложения (супески, суглинки) и зону дресвы. Вертикальный геолого-геофизический разрез через фильтрационную зону показан на рис. 7.

Восточная фильтрационная зона сформирована тремя водными потоками (см. рис. 2). Ее ширина достигает 60 м. Зона простирается вдоль

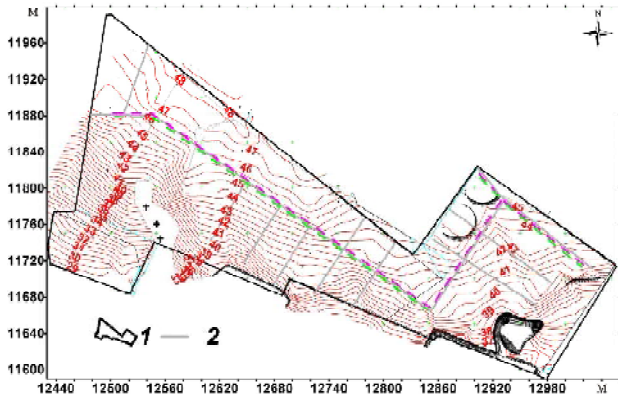


Рис. 1. Карта рельефа участка строительства: 1 – контур участка; 2 – грунтовые дороги

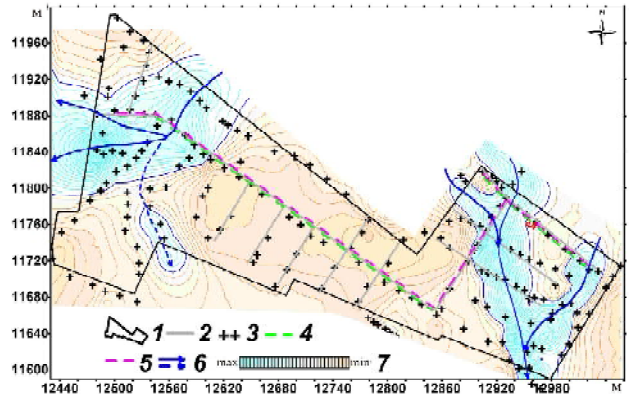


Рис. 2. Карта зон повышенного увлажнения пород и путей миграции подземных вод: 1 – контур участка; 2 – дороги; 3 – пункты съемки СКИП; 4 – профиль сейсмоакустического зондирования; 5 – профиль георадарного зондирования; 6 – пути миграции подземных вод; 7 – шкала величин относительного увлажнения грунтов

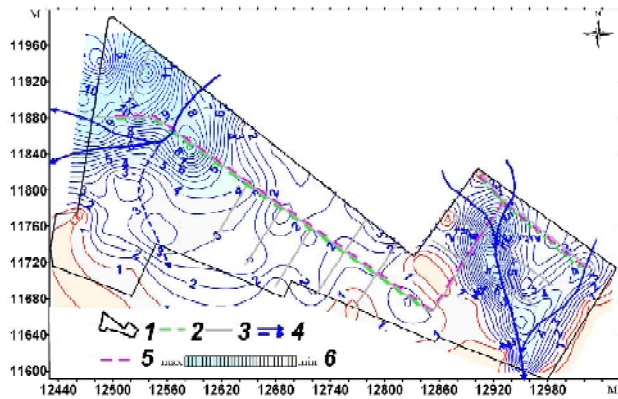


Рис. 3. Карта мощности увлажняемых грунтов: 1 – контур участка; 2 – профиль сейсмоакустического зондирования; 3 – дороги; 4 – пути миграции подземных вод; 5 – профиль георадарного зондирования; 6 – шкала мощности увлажненных грунтов

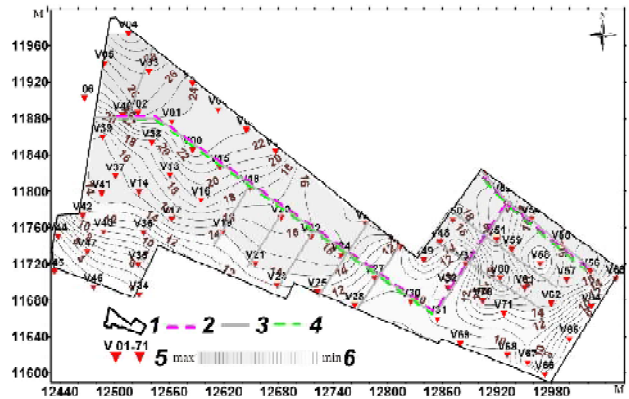


Рис. 4. Карта мощности рыхлых отложений: 1 – контур участка; 2 – профиль георадарного зондирования; 3 – дороги; 4 – профиль сейсмоакустического зондирования; 5 – пункты ВЭРЗ; 6 – шкала мощности рыхлых отложений

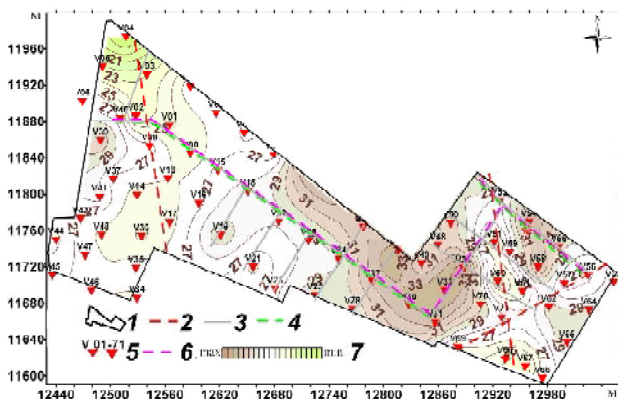


Рис. 5. Карта кровли дресвы: 1 – контур участка; 2 – тектонические нарушения; 3 – дороги; 4 – профиль сейсмоакустического зондирования; 5 – пункты ВЭРЗ; 6 – профиль георадарного зондирования; 7 – абсолютные отметки глубин до кровли дресвы, м

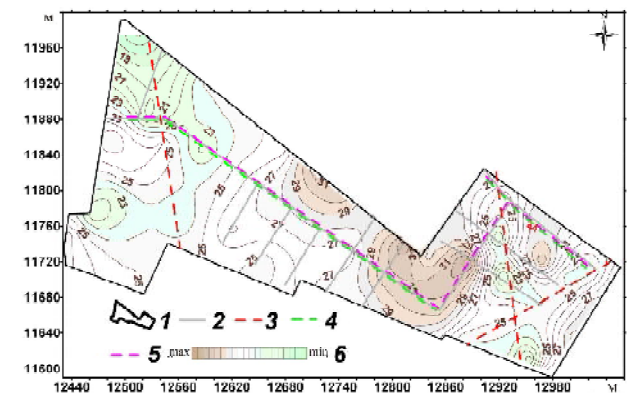


Рис. 6. Карта кровли гранитного основания: 1 – контур участка; 2 – дороги; 3 – тектонические нарушения; 4 – профиль сейсмоакустического зондирования; 5 – профиль георадарного зондирования; 6 – абсолютные отметки глубин до кровли гранитов, м

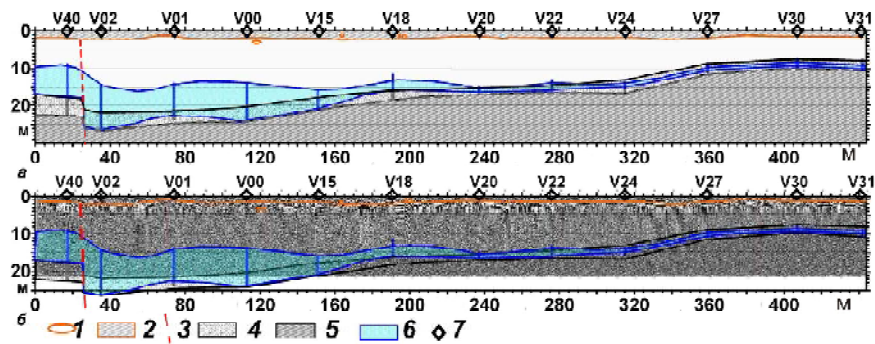


Рис. 7. Вертикальный геолого-геофизический разрез по профилю 1–1а: а – по данным георадарного зондирования и ВЭРЗ; б – профиль георадарного зондирования; 1 – неоднородности в верхнем слое грунта; 2 – ослабленная зона грунта; 3 – зона тектонического нарушения; 4 – дресва; 5 – гранит; 6 – зона увлажненных грунтов; 7 – пункт ВЭРЗ

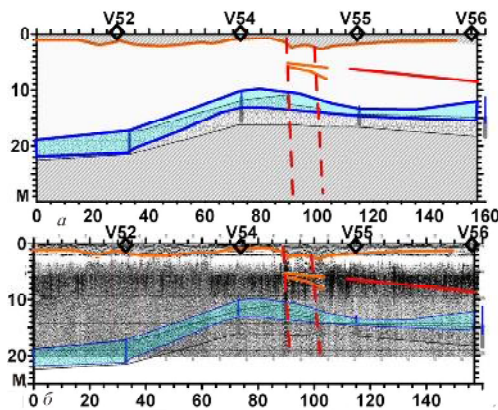


Рис. 8. Вертикальный геолого-геофизический разрез по профилю 2–2а: а – по данным георадарного и ВЭРЗ зондирования; б – профиль георадарного зондирования. Условные обозначения те же, что для рис. 7

восточной балки, которая на время выполнения работ была в большей части засыпана. Мощность увлажненных пород до 10 м (см. рис. 3). Глубина до кровли увлажненных пород 10–11 м. Вертикальный геолого-геофизический разрез через фильтрационную зону приведен на рис. 8.

В центральной части площади застройки между указанными зонами повышенного увлажнения фильтрационных потоков не обнаружено. Увлажненными породами в этой части площади застройки являются отложения дресвы мощностью от 0,5 до 2,0 м.

**Мощность рыхлых отложений.** При построении карты мощности рыхлых отложений (см. рис. 4) по данным метода ВЭРЗ за рыхлые осадки принималась толща пород от подошвы дресвы до земной поверхности. Значения изолиний этой карты отображают глубину до кровли гранитного основания, которая изменяется от 1,0 м в юго-западной части до 28,0–29,0 м в северо-западной части строительной площадки.

**Глубина до кровли дресвы и гранитов, зоны тектонических нарушений.** На картах изолиний кровли дресвы и гранитного основания (см. рис. 5), построенных по данным ВЭРЗ, в западной и восточной частях строительной площадки выделяются зоны относительного пони-

жения кровли этих двух горизонтов. В центральной части наблюдается приподнятая часть кристаллического фундамента до вертикальных отметок 31,0–32,0 м. Мощность дресвы колеблется в интервале от 0,5 до 2,0 м. В опущенных частях фундамента ее мощность увеличивается до 6,0 м. Скорее всего здесь проходят тектонические нарушения субширотного и субмеридионального простирания, к которым приурочены зоны повышенной фильтрации подземных вод. В данных зонах возможно наличие отложений каолина небольшой мощности. Вертикальные разрезы в районе зон тектонических нарушений представлены на рис. 7 и 8.

**Выводы.** Практический опыт комплексного применения геоэлектрических, сейсоакустического и георадарного методов при проведении инженерно-геологических изысканий на площадке строительства зданий жилого комплекса “Жемчужина Днепра” в г. Запорожье свидетельствует о возможности оперативного и эффективного решения следующих задач: а) выделение зон повышенного увлажнения грунтов; б) определение направления и путей миграции фильтрационных водных потоков естественного и техногенного происхождения; в) установление глубины залегания и мощности обводненных горизонтов пород; г) определение по площади мощности рыхлых отложений, глубины залегания кровли дресвы и гранитного основания; д) выделение и трассирование в пределах участка работ тектонических нарушений, и т. д.

Проведение ВЭРЗ и георадарного зондирования по достаточно плотной системе профилей и отдельных точек позволяет строить детальные карты и геолого-геофизические разрезы глубин залегания границ между отдельными комплексами пород, а также карты мощностей отдельных стратиграфических горизонтов разреза. С помощью таких карт и разрезов можно сформировать целостное и объемное представление о геологическом строении верхней части разреза в пределах площади застройки.



Полевые геофизические измерения комплексом геоэлектрических, сейсмоакустического и георадарного методов выполняются оперативно, в сжатые сроки, что дает возможность существенно сокращать сроки проведения инженерно-изыскательских работ в целом, а также их стоимость за счет значительного уменьшения объемов бурения.

Геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ, а также сейсмоакустическое и георадарное зондирования можно применять для мониторинговых наблюдений на площадках строительства с целью определения влияния строящихся объектов на инженерно-геологические условия участков застройки и близлежащих территорий.

1. Владов М.Л., Золотарев В.П., Старовойтов А.В. Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 68 с.
2. Задегалога М.М. Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 319 с.
3. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. Сейсмоакустические исследования на акваториях. — М.: Недра, 1983. — 204 с.
4. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др. Оперативное обследование и мониторинг участков развития карстовых процессов геофизическими методами // Геоинформатика. — 2008. — № 4. — С. 63–68.
5. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М. Эффективность оперативных геофизических технологий при изучении инженерно-геологических условий на участках метрополитена приповерхност-

- ного залегания // Там же. — 2009. — № 2. — С. 30–47.
6. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика. — М.: Недра, 1989. — 252 с.
7. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. — М.: Недра, 1990. — 501 с.
8. Павлов А.Т., Лепешкин В.П., Павлова Ю.Н. Возможности и особенности импульсных индуктивных ЭМ зондирований ВЧР в сложных геологических условиях // Физика Земли. — 2007. — № 3. — С. 65–73.
9. Слепак З.М. Геофизика для города. — Тверь: ГЕРС, 2007. — 240 с.
10. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Кн 1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник. — Дубна: Междунар. ун-т природы, об-ва и человека “Дубна”, 1997. — 276 с.
11. Шуман В.Н., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива // Геоинформатика. — 2008. — № 2. — С. 22–50.
12. Bokovoy V.P., Levashov S.P., Yakymchuk M.A. et al. Mudslide area and moistening zones mapping with geophysical methods on the slope of the Dniپر river in Kyiv. 65nd EAGE Conf. & Exhibition. — Stavanger, Norway, 2003. — Extended Abstr. — P208. — 4 p.
13. Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju.M. Express-technology of geoelectric and seismic-acoustic investigations in ecology, geophysics and civil engineering. Near Surface 2005. 11th Eur. Meet of Environmental and Engineering Geophysics. — Palermo, Italy, 2005. — Extended Abstr. — P046. — 4 p.

Поступила в редакцию 17.09.2009 г.

С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный

## ОПЕРАТИВНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПОД ЗАСТРОЙКУ МОБИЛЬНЫМИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Приводятся результаты применения комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля, вертикального электрорезонансного и георадарного зондирования для оперативного инженерно-геологического обследования участков под застройку. Указанный комплекс позволяет выделять зоны повышенного увлажнения грунтов, определять направление миграции фильтрационных водных потоков, устанавливать глубину залегания и мощность обводненных горизонтов пород, определять по площади мощность рыхлых отложений, глубину залегания кровли дресвы и гранитного основания, выделять и трассировать тектонические нарушения. Этот комплекс можно применять для мониторинговых наблюдений на площадках строительства с целью определения влияния строящихся объектов на инженерно-геологические условия участков застройки и близлежащих территорий.

С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін, Ю.М. Піщаний

## ОПЕРАТИВНЕ ПРОВЕДЕННЯ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПІД ЗАБУДОВУ МОБІЛЬНИМИ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Наведено результати застосування комплексу геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, вертикального електрорезонансного та георадарного зондування для оперативного інженерно-геологічного обстеження ділянок під забудову. Вказаний комплекс дає змогу виділяти зони підвищеного зволоження ґрунтів, визначити напрямок міграції фільтраційних водних потоків, установлювати глибину залягання та потужність обводнених горизонтів порід, визначити за площею потужність сипких відкладів, глибину залягання покрівлі дресви та гранітного фундаменту, виявляти і трасувати тектонічні порушення. Цей комплекс можна використовувати для моніторингових спостережень на площадках будівництва з метою визначення впливу об'єктів, що споруджуються, на інженерно-геологічні умови ділянок забудови та прилеглих територій.