

УДК 550. 837.3

**С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³,
Ю.М. Пищаный², В.В. Прилуков², Ю.Н. Якимчук²**

¹Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, г. Киев

²Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, г. Киев

³Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ

Приведены результаты применения комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля, вертикального электрорезонансного и георадарного зондирования для изучения инженерно-геологических условий в районе двух жилых домов в г. Киеве. Установлено, что появление трещин в стенах проблемных домов обусловлено техногенным и естественным водными потоками. Сделан вывод о том, что при проведении проектных работ под строительство зданий, промышленных сооружений и объектов транспортной инфраструктуры необходимо в обязательном порядке учитывать подземные водные потоки. Недоучет подземных потоков приводит к существенным потерям времени и финансовых ресурсов. Обнаружение и картирование водных потоков и участков повышенного увлажнения грунтов может оперативно осуществляться комплексом используемых геофизических методов. Этот комплекс может также использоваться для решения специфических инженерно-геологических задач при строительстве новых объектов, а также для регулярного мониторинга инженерно-геологического состояния среды в уже построенных районах.

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

Введение. Геофизические методы широко и повсеместно используются при решении разнообразных инженерно-геологических задач [7, 8, 10]. Они применяются как при проведении инженерно-геологических съемок различного масштаба, так и при детальном изыскательском характере, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией различных сооружений. Применение геофизических методов позволяет повысить точность и детальность изысканий, умень-

шить затраты времени и финансовых ресурсов на проведение инженерно-геологических работ в целом.

Объектом такого рода исследований является верхняя часть разреза (ВЧР), которая характеризуется значительной неоднородностью строения и физических свойств пород. Для повышения эффективности геофизических исследований при изучении ВЧР применяются методы различной физической природы, повышается детальность наблюдений с целью получения интегральных характеристик, отражающих особенности строения и свойств массива пород в его естественном залегании, выполняются многократные наблюдения без нарушения строения и состояния геологической среды [10].

Геофизические методы применяются для картирования рыхлых отложений, определения глубины залегания коренных пород, детального расчленения ВЧР, оценки физико-механических и водно-физических свойств пород в их естественном залегании, изучения трещиноватости и нарушенности массива, определения уровня грунтовых вод (УГВ) 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 строительства, проводятся мониторинг за состоянием сооружений и изучение их влияния на геологическую среду

Для такого рода работ обычно применяется комплекс традиционных геофизических методов, ведущими в котором являются сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а также электромагнитные зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ–ВП или ЗСБ). При необходимости в комплекс также могут включать микромагнитную, эманационную съемки и гамма-съемку. Применяют также сейсмоакустическое и электромагнитное межскважинные просвечивания [10].

Особое внимание уделяется выделению слабо проявленных в геолого-геофизических полях малоамплитудных тектонических разломов, связанных с активными движениями земной коры. Такие разломы, как правило, долгоживущие. К ним приурочены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. Для выделения разломных зон используются методы комплексной интерпретации площадной или профильной геолого-геофизической информации [10].

В последнее время для решения разнообразных задач приповерхностной геофизики начали также применять радиоволновой метод исследова-

ний [2], импульсные электромагнитные методы [8, 9] и высокоточную гравиразведку [9], георадарные [1] и сейсмоакустические методы [3].

Уже на протяжении многих лет авторы демонстрируют (в том числе в публикациях [4–6]) эффективность комплекса неклассических геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП), вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ) [11] и георадарного зондирования при решении как инженерно-геологических задач непосредственно, так и других не менее важных и неотложных задач приповерхностной геофизики.

Геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ совместно с методом георадарного зондирования неоднократно применялись для изучения инженерно-геологического состояния ВЧР в районах уже построенных, а также строящихся промышленных и жилых зданий, а также объектов транспортных коммуникаций. Ниже представлены результаты применения этих методов для изучения инженерно-геологических условий в районе двух жилых домов в г. Киеве.

Объекты изучения и методика работ. Два обследованных объекта расположены в Святошинском районе г. Киева. Первый объект, пятиэтажный жилой дом № 14, находится на ул. Доброхотова, имеет четыре подъезда (рис. 1–3). На протяжении нескольких последних лет на фасадной части дома в районе подъездов 3 и 4 сформировались большие трещины. Возникновение трещин обусловлено, скорее всего, процессами проседания фундамента дома в районе указанных подъездов.

Второй объект, жилой дом по ул. Н. Краснова № 17, расположен на углу улиц Краснова и Беличанская. Дом 16-этажный, трехсекционный, имеет три подъезда и цокольный этаж. Вторая и третья секции дома расположены вдоль ул. Беличанская (рис. 4). В цокольном этаже третьей и частично второй секций возникли трещины в стенах.

Для установления причин деформации стен домов в районах их расположения были проведены геофизические исследования. Основная задача исследований – выявление гидрогеологических факторов, которые, в принципе, могут содействовать возникновению трещин в жилых домах.

Обследование участков расположения проблемных объектов проводилось геоэлектрическими методами СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования. Геофизические измерения выполнялись, в основном, вдоль фундаментов домов, а также на близко расположенных территориях

(см. рис. 1, 2, 4). На первом проблемном объекте измерения проведены также между домами № 12 по ул. Доброхотова и № 10 по ул. Семашко (см. рис. 2).

В процессе проведения работ съемкой методом СКИП устанавливались зоны повышенного увлажнения грунтов и повышенной фильтрации грунтовых вод. В результате выявлены и закартированы зоны подземных водных потоков и прослежены пути их миграции. На первом изучаемом объекте съемкой СКИП обнаружен участок истока подземного потока из подземной водной коммуникации.

Методами электрорезонансного и георадарного зондирования установлены глубины зон увлажнения грунтов, литологических границ и зон ослабленных грунтов, которые формируются за счет 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 обследования первого объекта. По данным геофизической съемки методом СКИП в районе двора дома № 14 определена обширная зона повышенного увлажнения грунтов (см. рис. 1). Скорее всего, эта зона сформировалась за счет подземного водного потока, который прослежен до дома № 10 по ул. Семашко (см. рис. 2). Вдоль фасадной части этого дома на глубине около 2 м расположена канализационная сеть. Водный подземный поток начинается в районе подъезда 4, над зоной канализации (рис. 2). В этом месте ширина потока около 2 м. Далее, в направлении к дому № 14 поток расширяется и формирует значительную зону увлажненных грунтов шириной до 30 м. Зона подземной фильтрации проходит под фундаментом дома № 14 в районе подъездов 3 и 4.

В этом месте вследствие увлажнения грунтов может происходить частичное проседание основания фундамента. Нельзя также исключить из рассмотрения возможные процессы суффозионного выноса грунта из-под фундамента дома. За домом № 14 фильтрационный поток проходит между домом № 12 и проезжей частью ул. Доброхотова.

По результатам ВЭРЗ и георадарного зондирования определены основные интервалы глубин залегания увлажненных горизонтов грунтов. Данные зондирования в районе дома приведены на рис. 1, а также на вертикальных разрезах по профилям вдоль фундамента дома с фасад-

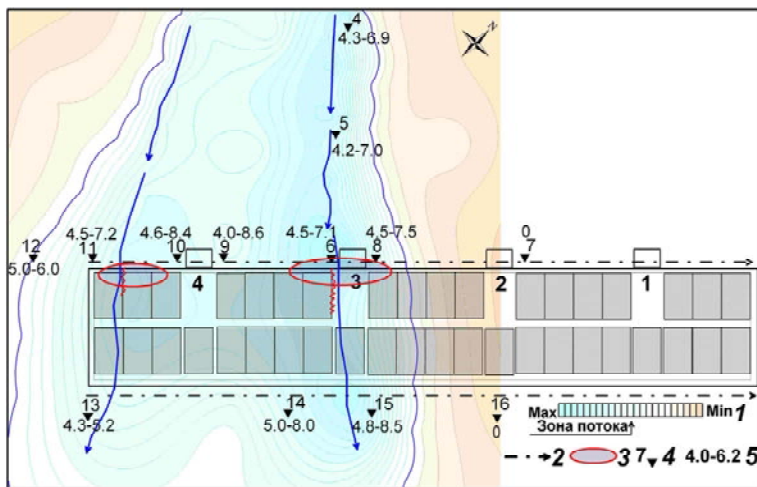


Рис. 1. Карта зон увлажнення ґрунтів в районі дома № 14 по ул. Доброхотова (г. Київ): 1 – шкала відносного зволоження ґрунтів; 2 – профіль георадарного зондування; 3 – зона суфозионного виноса ґрунту; 4 – точка зондування ВЭРЗ; 5 – інтервал глибин зони зволоження в пункті зондування, м

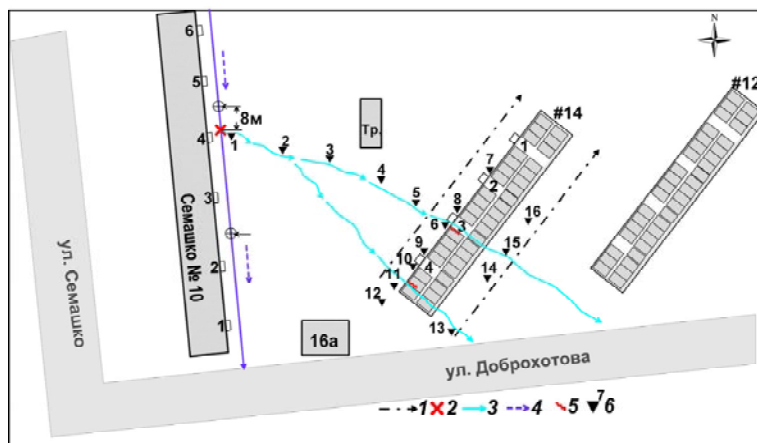


Рис. 2. Схема міграції техногенного водного потоку, сформованого внаслідок пошкодження каналізаційної комунікації в районі домів № 10 по ул. Семашко і № 14 по ул. Доброхотова (г. Київ): 1 – профіль георадарного зондування; 2 – місце пошкодження каналізаційної мережі; 3 – напрямку міграції техногенного водного потоку; 4 – напрямку руху води в каналізаційній мережі; 5 – вертикальна тріщина в стінах будинку; 6 – пункт ВЭРЗ

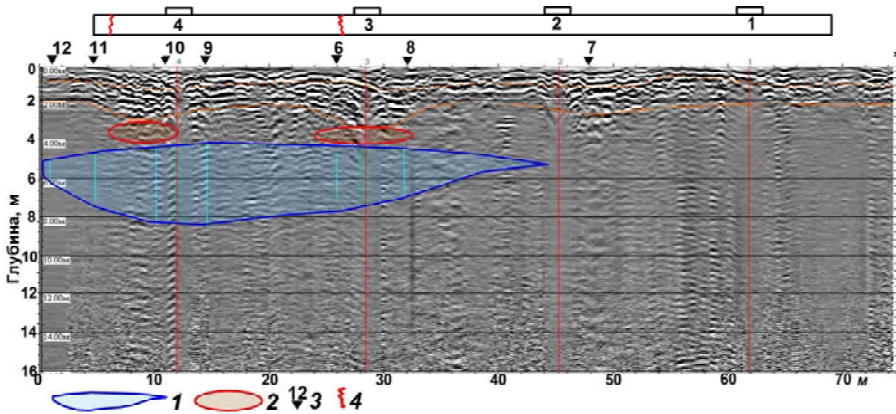


Рис. 3. Вертикальний георадарний розрез вдоль фасадной части дома № 14 по ул. Доброхотова (г. Киев): 1 – увлажненная зона фильтрационного потока; 2 – суффозионно-ослабленная зона; 3 – пункт зондирования ВЭРЗ; 4 – трещина в стене

ной и тыльной сторон (см. рис. 3). Максимальные мощности увлажненных грунтов определены вдоль фасадной части дома в районе подъездов 3 и 4.

По данным зондирований вдоль фундамента дома № 14 построены вертикальные разрезы вдоль тыльной и фасадной сторон (рис. 3). Зондированием установлена зона техногенного увлажнения грунтов, над которой выявлены участки ослабленных грунтов, сформированные вследствие суффозионных процессов. В отдельных пунктах зондирования определены следующие глубины расположения суффозионно-ослабленных зон, м: V6 – 3,0–4,5 (мощность 1,5 м); V8 – 3,0–4,5 (1,5 м); V10 – 2,8–4,6 (1,8 м).

Зона ослабленных грунтов сформировалась в верхней части техногенного фильтрационного потока, который проходит под фундаментом дома. В пределах этой зоны происходят процессы проседания фундамента, что, в свою очередь, обуславливает возникновение трещин в стенах дома.

Результаты обследования второго объекта. По данным геоэлектрической съемки методом СКИП в районе третьей и частично второй секций дома № 17 по ул. Н. Краснова определена зона повышенного УГВ и увлажнения верхнего слоя грунтов. Данный участок увлажненных грунтов сформировался в зоне повышенной фильтрации грунтовой воды, которая, скорее всего, имеет естественное происхож-

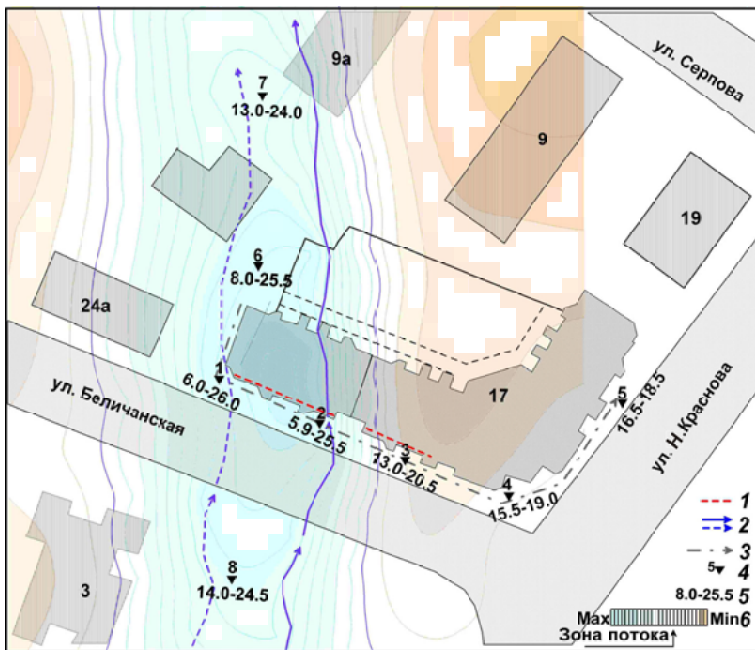


Рис. 4. Карта зон увлажнения грунтов в районе дома № 17 по ул. Н. Краснова (г. Киев): 1 – контур участка образования трещин в стенах дома; 2 – направления миграции грунтовой воды в пределах фильтрационного потока; 3 – профиль георадарного зондирования; 4 – пункт ВЭРЗ; 5 – интервал зоны увлажнения грунтов, м; 6 – шкала относительного увлажнения грунтов

дение. Карта зоны увлажнения грунтов и путей миграции подземной воды представлена на рис. 4.

Ширина зоны повышенной фильтрации в районе дома около 50 м. Миграционные водные потоки проходят под проездной частью ул. Беличанская, под третьей и частично под второй секциями дома № 17, а также частично под домами № 24 и 9а (рис. 4).

Глубина до кровли фильтрационного горизонта составляет 13–16 м. Средняя мощность зоны фильтрации – около 5–10 м. В районе третьей и второй секций дома установлено резкое поднятие УГВ до 5,9–6,0 м. Локальный подъем УГВ может быть связан с локальным уменьшением фильтрационных свойств пород, вызванным увеличением нагрузки на грунты под фундаментами 16-этажного дома. В целом поднятие УГВ и привело к увеличению мощности увлажненных грунтов под домом до 20 м.

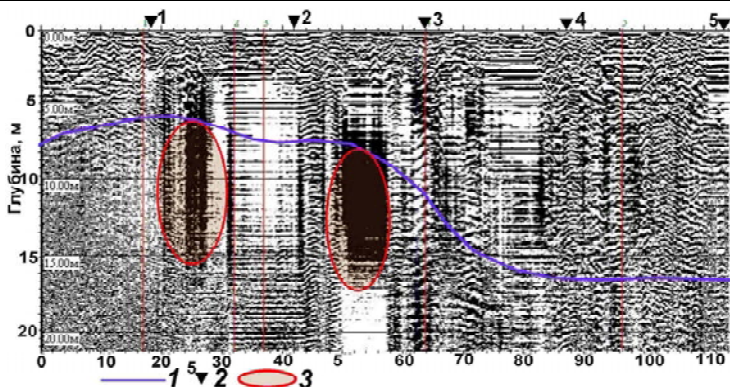


Рис. 5. Вертикальний георадарний розріз вдоволь фасадної частини дому № 17 по ул. Н. Краснова (г. Київ): 1 – рівень ґрунтових вод; 2 – пункт ВЕРЗ; 3 – суффузійно-ослаблена зона

По результатам георадарного зондирования и ВЭРЗ в разрезе вдоволь фасадной части дома установлены зоны ослабленных грунтов. Эти зоны сформировались вследствие подъема УГВ и, частично, суффузійного выноса грунтов из-под фундамента дома. Первая зона расположена между пунктами зондирования v1–v2 (рис. 4). Зона начинается на расстоянии 4 м от угла третьей секции, ее длина – 12 м, мощность – около 8,5 м. Вторая зона определена на расстоянии 30 м от угла третьей секции дома, имеет длину 15 м и вертикальную мощность около 9,5 м. Вертикальный разрез суффузійно-ослабленных зон показан на рис. 5.

Максимальные мощности увлажненного горизонта определены под фундаментами третьей секции дома. Подъем УГВ после завершения строительства дома может быть одним из факторов образования трещин в цокольном этаже.

Выводы и рекомендации. Результаты обследования первого объекта свидетельствуют, что причиной образования трещин в стенах дома № 14 по ул. Доброхотова является частичное проседание фундамента в районе подъездов 3 и 4.

Процессы проседания обусловлены наличием под фундаментом дома техногенного водного потока. Данный поток сформировался вследствие повреждения канализационной сети, которая проходит перед домом № 10 по ул. Семашко. Скорее всего, это повреждение существует уже несколько лет. Приблизительно установлено место истока воды из канализации (на расстоянии 8 м от ближнего люка канализационной сети).

Визуально встановлено, що потужність водного потоку в цьому люку в 2 рази вище, ніж в люку нижче по теченню каналізації. Большая часть канализационной воды вытекает из сети и увлажняет грунты вдоль зоны своей миграции. Данный подземный поток является основной причиной разрушения стен дома.

Результаты проведенных работ позволили сформулировать следующие рекомендации.

1. Провести осмотр канализационной сети вдоль дома № 10 по ул. Семашко.
2. В случае обнаружения повреждений канализации выполнить ее ремонт и ликвидировать истоки воды.
3. Продолжить наблюдения за домом и процессами образования трещин. В случае продолжения формирования трещин и проседания фундамента после ликвидации техногенного потока целесообразно разработать проект и провести работы по закреплению грунтов под фундаментом дома путем нагнетания цементирующих растворов.

Обследование второго проблемного объекта по ул. Н. Краснова № 17 проводила также строительная лаборатория “Киевжилищеспецэксплуатация”. В результате их работ причиной образования трещин в доме были признаны температурно-линейные деформации, которые возникают вследствие суточных и сезонных колебаний температуры. Недочет этих явлений приводит к просчетам при проектировании дома.

По данным геофизических исследований дополнительным фактором образования трещин в цокольном этаже является локальное поднятие УГВ под фундаментами третьей и второй секций дома. В районе этих секций зафиксирована естественная зона повышенной фильтрации грунтовой воды.

Причина локального поднятия УГВ после завершения строительства дома – локальное уменьшение фильтрационных свойств пород, обусловленное увеличением нагрузки на грунты. УГВ, по состоянию на ноябрь месяц 2009 г. под третьей и второй секциями поднялся до глубины 6 м, в то время как за пределами фильтрационного потока УГВ составляет 12–14 м. Поднятие УГВ обусловило возникновение зон суффозионно-ослабленных грунтов под фундаментами дома. Тот факт, что максимальное количество трещин фиксируется в районе третьей и второй секций дома, свидетельствует о наличии дополнительного гидрогеоло-

гического фактора, который способствует деформации конструкции жилого дома.

Для минимизации температурно-линейных деформаций Строительной лабораторией рекомендована разработка документации на усиление несущей способности внешних стен дома.

По данным геофизических исследований дополнительно рекомендована разработка проекта закрепления суффозионно-ослабленных зон под фундаментами третьей и второй секций дома. Такого рода закрепление осуществляется путем нагнетания цементирующих смесей в грунты через буровые скважины. Проектная документация может быть подготовлена специалистами предприятия “Метротуннельпроект”. Работы по закреплению грунтов могут быть выполнены предприятием СМУ-6 ВАТТ “Киевметрбуд”.

Практический опыт применения комплекса геоэлектрических, сейсмоакустического и георадарного методов при решении разнообразных задач приповерхностной геофизики, а также представленные выше результаты проведения инженерно-геологического обследования на двух объектах в г. Киеве свидетельствуют, что этот комплекс позволяет оперативно и эффективно выделять зоны повышенного увлажнения грунтов; определять направления и пути миграции фильтрационных водных потоков естественного и техногенного происхождения; устанавливать глубины залегания и мощности обводненных горизонтов пород; определять по площади мощности рыхлых отложений, кровли дресвы и гранитного основания; выделять и трассировать в пределах участка работ тектонические нарушения, и др.

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. Такие карты и разрезы дают возможность сформировать целостное и объемное представление о геологическом строении верхней части разреза в пределах участков обследования.

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

Геоэлектрическая технология СКИП–ВЭРЗ, а также методы сейсмоакустического и георадарного зондирования могут применяться для 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 могут проводиться для определения влияния строящихся объектов на инженерно-геологические условия участков застройки и близлежащих территорий.

1. *Владов М.Л.* Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований / Владов М.Л., Золотарев В.П., Старовойтов А.В. М.: Материалы кафедры сейсмометрии и геоакустики геол. фак-та МГУ. – М., 1997. – 68 с.
2. *Задериголова М.М.* Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии / Задериголова М.М. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1998. – 319 с.
3. *Калинин А.В.* Сейсмоакустические исследования на акваториях / Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. – 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. *Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики / Огильви А.А. – М.: Недра, 1990. 501 с.
8. *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.
9. *Слепак З.М.* Геофизика для города / Слепак З.М. – Тверь: ГЕРС, 2007. – 240 с.
10. *Хмелевской В.К.* Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник / Хмелевской В.К. Дубна: Изд-во Междунар. ун-та природы, общества и человека “Дубна”, 1997. – 276 с.
11. *Шуман В.Н.* Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспективы / В.Н. Шуман, С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 22–50.

Досвід застосування мобільних геофізичних методів для встановлення причин деформації будівель С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагин, Ю.М. Піщаний, В.В. Прилуков, Ю.М. Якимчук

Наведено результати застосування комплексу геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, вертикального електрорезонансного та георадарного зондувань для вивчення інженерно-геологічних умов у районі двох житлових будинків у м. Києві. Встановлено, що поява тріщин у стінах проблемних будинків зумовлена техногенним і природним водними потоками. Зроблено висновок, що під час проведення проектних робіт під будівництво будинків, промислових споруд та об'єктів транспортної інфраструктури необхідно в обов'язковому порядку враховувати підземні водні потоки. Неврахування підземних потоків призводить до істотних втрат часу та фінансових збитків. Виявлення та картування водних потоків і ділянок підвищеного зволоження ґрунтів можна оперативнo здійснювати комплексом геофізичних методів, що використовуються. Цей самий комплекс можна також застосовувати для вирішення специфічних інженерно-геологічних завдань під час будівництва нових об'єктів, а також для регулярного моніторингу інженерно-геологічного стану середовища в районах, уже побудованих.

Ключові слова: геоелектричне знімання, електрорезонансне зондування, георадар, будинок, аномалія, зона зволоження, водоносний горизонт, водний потік.

Experience of mobile geophysical method application for establishing the causes of buildings deformation S.P. Levashov, N.A. Yakymchuk, I.N. Korchagin, Yu.M. Pishchaniy, V.V. Prilukov, Yu.M. Yakymchuk

The results of application of the complex of geoelectric methods of forming short-pulsed electromagnetic field (FSPEF), vertical electric-resonance (VERS) and georadar soundings in the areas of two apartment buildings in Kiev are given. It was established by geophysical studies that the appearance of cracks in the walls of problem houses are due to the man-made and natural water flows. The following conclusion is done: it is necessary in obligatory order to take into account the underground water flows when undertaking the design work for the buildings, industrial structures and objects of the transport infrastructure construction. The neglect of underground flow brings to the essential waste of time and financial resources. The finding and mapping of water flow and area of the raised soil moistening can be realized operatively by complex of used geophysical 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, house, anomaly, zone of moistening, aquifer, water flow.