

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, 2011

*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*

Many years of practical application of non-classical geoelectric methods of forming a short-pulsed field (FSPEF) and vertical electric-resonance sounding (VERS) in the near-surface geophysics problem solving have demonstrated their high efficiency in searching and delineating subsurface water flows and aquifers. The results of our study indicate that the zone of rocks moistening, underground water streams of natural and man-caused origin and aquifers are detected and mapped operatively by areal survey with FSPEF method. The depth of lying and thicknesses of water-saturated horizons are determined with a high accuracy by VERS sounding. Field works of such type are often executed very quickly and easily. The FSPEF and VERS methods make a significant contribution into emergence of a new paradigm of geophysical research, which includes the "direct" searching for a specific physical substance: gas, oil, gas hydrates, water, ore minerals and rocks (gold, platinum, silver, zinc, uranium, diamonds, kimberlites, etc.). The effectiveness of these geophysical methods based on the paradigm principles is much higher than that of traditional ones.

Keywords: geoelectric survey, electric-resonance sounding, deposit type anomaly, zone of moistening, aquifer, water flow, well, landslide zone.

Введение. Неклассические геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ) [1–2, 8–10] уже более 10 лет успешно применяются для оперативного решения широкого класса геолого-геофизических задач, в том числе поисков рудных и горючих полезных ископаемых. На протяжении этого времени технология СКИП–ВЭРЗ в комплексе с методами сейсмоакустического и георадарного зондирования широко используется для оперативного решения разнообразных задач приповерхностной геофизики. В частности, геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ неоднократно применялись при решении следующих задач: а) поисков и картирования водоносных и водонасыщенных горизонтов, залежей минеральных вод [12]; б) выявления и картирования зон повышенного увлажнения грунтов, подземных водных потоков техногенного и естественного происхождения, утечек из подземных водных коммуникаций [1–2, 9–11]; в) обследования инженерно-геологических и гидрогеологических условий и мониторинга их изменения на территориях расположения исторических и архитектурных памятников, зданий и заповедников [2, 10]; г) проведения инженерно-геологических исследований на площадках

строительства мостов, линий метро приповерхностного залегания, промышленных сооружений, жилых зданий и объектов социального и культурного назначения [4–5]; д) картирования зон загрязнения нефтепродуктами и др.

Особого внимания заслуживают результаты применения этого комплекса оперативных геофизических методов для изучения инженерно-геологических условий на участках строительства новых линий метро приповерхностного залегания в г. Киеве, а также над уже построенными и работающими его участками [4]. Большой объем выполненных работ экспериментально-исследовательского характера и полученные результаты рельефно и убедительно показали негативное (разрушающее) воздействие подземных вод на объекты строящейся транспортной инфраструктуры и расположенные вблизи здания и сооружения. Вместе с тем результаты указанных работ дают веские основания для вполне обоснованных выводов о том, что при проведении проектных работ под строительство зданий, промышленных сооружений и объектов транспортной инфраструктуры необходимо в обязательном порядке принимать во внимание и учитывать подземные водные потоки. Недочет подземных потоков приводит к существенным потерям времени и финансовых ресурсов. Кроме того, обнаружение

и картирование водных потоков и участков повышенного увлажнения грунтов можно оперативно осуществлять комплексом геоэлектрических методов СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования. Этот практически апробированный комплекс может использоваться для решения специфических инженерно-геологических задач при строительстве жилищных комплексов, новых линий метрополитена приповерхностного залегания, других объектов культурного и промышленного назначения, а также для регулярного мониторинга инженерно-геологического состояния среды в районах уже построенных и введенных в эксплуатацию объектов.

Авторы статьи окончательно пришли к пониманию того, что классическими геофизическими методами подобного рода задачи в достаточной степени оперативно не могут быть решены. Это обстоятельство заставило нас более основательно и углубленно проанализировать базовые принципы методов СКИП и ВЭРЗ, методику проведения полевых работ, особенности обработки и интерпретации данных полевых измерений, а также отличительные особенности указанных методов в сравнении с классическими геофизическими (геоэлектрическими) технологиями. В настоящей статье впервые вкратце рассматриваются результаты анализа 10-летней практики использования неклассических методов СКИП и ВЭРЗ для оперативного решения задач приповерхностной геофизики (в частности инженерно-геологических). Ниже перечислены характерные особенности геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ. Далее приводятся и анализируются результаты оперативного решения еще одной неотложной практической задачи с помощью экспресс-технологии. В заключительной части рассматривается новая парадигма проведения геофизических исследований, в рамках которой сделан акцент не на выделение в разрезе конкретных структурных элементов и определение физических свойств слагающих их пород, а на обнаружение и картирование в верхней части разреза вполне определенного вещества – нефти, газа, водоносных горизонтов, золота, платины, урана и других рудных полезных ископаемых.

Отличительные особенности и возможности технологии СКИП–ВЭРЗ. Оригинальные геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ базируются на неклассических принципах электромагнитных зондирований [8]. Они ориентированы изначально на изучение структуры приземного слоя атмосферы, формируемого ионами разных знаков, зон поляризации на границах раздела геологических неоднородностей разреза и естественного электромагнитного фона Земли. Используемый подход позволил создать: а) компактную малогабаритную измерительную аппаратуру, легкую для транспортировки и удобную в обслуживании; б) методику оперативного проведения полевых измерений

(в пешем порядке, с автомобиля, с летательного аппарата); в) эффективную технологию решения широкого класса экологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геолого-геофизических задач. В целом технология СКИП–ВЭРЗ является сверхоперативной по затратам времени на проведение полевых работ и малозатратной по финансовым ресурсам. Она предоставляет возможность получать предварительные результаты исследований непосредственно при проведении полевых работ, что позволяет корректировать априори запланированную систему геоэлектрических измерений в каждом конкретном случае. Целесообразно обратить внимание на следующие особенности отдельных методов СКИП и ВЭРЗ.

1. На настоящий момент геоэлектрические методы СКИП–ВЭРЗ следует считать, в основном, сугубо экспериментальными, прошедшими лишь начальную стадию становления. Выполненные с помощью этих методов исследования можно (и целесообразно) классифицировать как научно-исследовательские, экспериментальные.
2. Результаты съемки СКИП используются и интерпретируются в данное время на качественном (аномальном) уровне. В перспективе построение формализованной математической модели процесса становления поля с учетом приземного атмосферного слоя позволит существенно расширить информативность и разрешающую способность метода. Исключительная особенность метода СКИП – это его оперативность. При поисковых работах на нефть, газ, воду и рудные полезные ископаемые в каждой конкретной точке измерений оператор мгновенно получает информацию о том, принадлежит эта точка контуру аномалии типа “залечь” (АТЗ) соответствующего типа или нет. Эта особенность метода дает возможность в процессе выполнения съемки оптимизировать априори принятую систему наблюдений – сгущать число точек (профилей) на участках АТЗ и выполнять измерения только рекогносцировочного характера на участках их отсутствия. При обследовании больших по площади территорий в режиме аэроСКИП с самолета такая особенность метода позволяет одновременно (параллельно) выполнять съемку рекогносцировочного и детального характера, что максимально сокращает стоимость и время выполнения полевых измерений.
3. Метод ВЭРЗ является уникальной компонентой технологии СКИП–ВЭРЗ. Он дает возможность оперативно выделять в разрезе отдельные стратиграфические элементы и с удовлетворительной точностью определять глубины их залегания. Отличительная особенность метода состоит в том, что выделяемые отдельные аномально поляризованные пласты (АПП)

типа “нефть”, “газ”, “вода”, “соль”, “кристаллический фундамент” и др., а также мощности и глубины их залегания определяются не путем решения обратных задач, как это делается практически во всех геофизических методах, а непосредственно по экспериментально обоснованной технологической схеме измерений вдоль длинных линий. В итоге применение технологии ВЭРЗ в пределах закартированных методом СКИП аномалий типа “залежь” дает возможность оценивать глубины залегания и мощности АПП типа “нефть”, “газ”, вода и др. (причем как отдельных АПП, так и суммарные мощности АПП разреза во всех перспективных интервалах). При этом глубины залегания основных перспективных горизонтов определяются непосредственно в поле, в процессе выполнения зондирований.

Оперативное обнаружение и картирование подземных водных потоков. Общие сведения. На начальной стадии строительства жилого комплекса в г. Киеве по ул. Краснопольская возникли непредвиденные проблемы, связанные с подтоплением вырытого котлована грунтовыми водами (рис. 1). Это обстоятельство обусловило необходимость в оперативном проведении геофизических исследований в районе строительства с целью установления причин подтопления. Полевые геофизические работы на участке проведены в ноябре 2010 г.

Участок строительства расположен на склоне холма. Ниже участка по склону за счет грунтовых вод образовалось небольшое озерцо. Это свидетельствует, что миграция грунтовых вод проходит частично и в районе участка строительства, что привело к заполнению котлована водой после выемки грунта.

Основная задача геофизических исследований состояла в определении зон повышенной фильтрации грунтовых вод, установлении направлений их миграции и интервалов глубин максимального увлажнения грунтов. По данным геофизических



Рис. 1. Истоки грунтовой воды на территории строительной площадки

изысканий необходимо было сформулировать обоснованные рекомендации по организации отвода подземных водных потоков в сторону от строительной площадки.

Геофизические исследования проводились с использованием геоэлектрических методов СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования разреза антенным блоком АБ 250 МГц.

Съемка методом СКИП применялась для картирования зон повышенного увлажнения почв, определения путей миграции водных потоков. Методы ВЭРЗ и георадарного зондирования использовались для установления глубины залегания и мощностей зон повышенного увлажнения грунтов, а также построения вертикальных разрезов увлажненных горизонтов.

Прежде чем перейти к изложению результатов геофизических работ, отметим, что в пределах участка строительства выполнен полный комплекс инженерно-геологических изысканий, предусмотренный существующими нормативными документами при строительстве крупных инженерных сооружений. Инженерно-геологический разрез вдоль одной из линий (рис. 2) дает полное представление о характере изысканий и детальности изучения разреза на участке строительства. Обращаем внимание на то обстоятельство, что многочисленными скважинами в разрезе выделены интервалы повышенного увлажнения пород. На рис. 2 они обозначены на вертикальных линиях скважин черным цветом.

Результаты геофизических работ. Картирование зон повышенной фильтрации грунтовых вод. По данным геоэлектрической съемки методом СКИП в районе строительства выявлены и закартированы три зоны повышенной фильтрации грунтовых вод, а также увлажнения грунтов: это водные потоки под условными названиями “Западный”, “Центральный” и “Восточный”. Зоны сформированы подземными водными потоками, которые мигрируют вниз по склону, в район озера. На рис. 3 и 4 представлены карты зон увлажнения и контуры подземных потоков, нанесенные на рабочий план строительства и на космический снимок участка проведения работ.

Западный поток прослежен от ул. Краснопольская вниз по склону к участку строительства. Поток течет под крайней частью дома 2, далее между домами 2-а и 2-б и выходит в юго-западную часть площадки строительства. В этом месте в котловане наблюдаются истоки грунтовой воды (см. рис. 1).

Подземный поток вызвал формирование небольшой оползневой зоны на территории прилегающих к участку гаражей (рис. 5).

У дома 2-а в пределах подземного потока наблюдается просадка грунта. Она могла образоваться за счет техногенных вод, утечек из теплотрас-

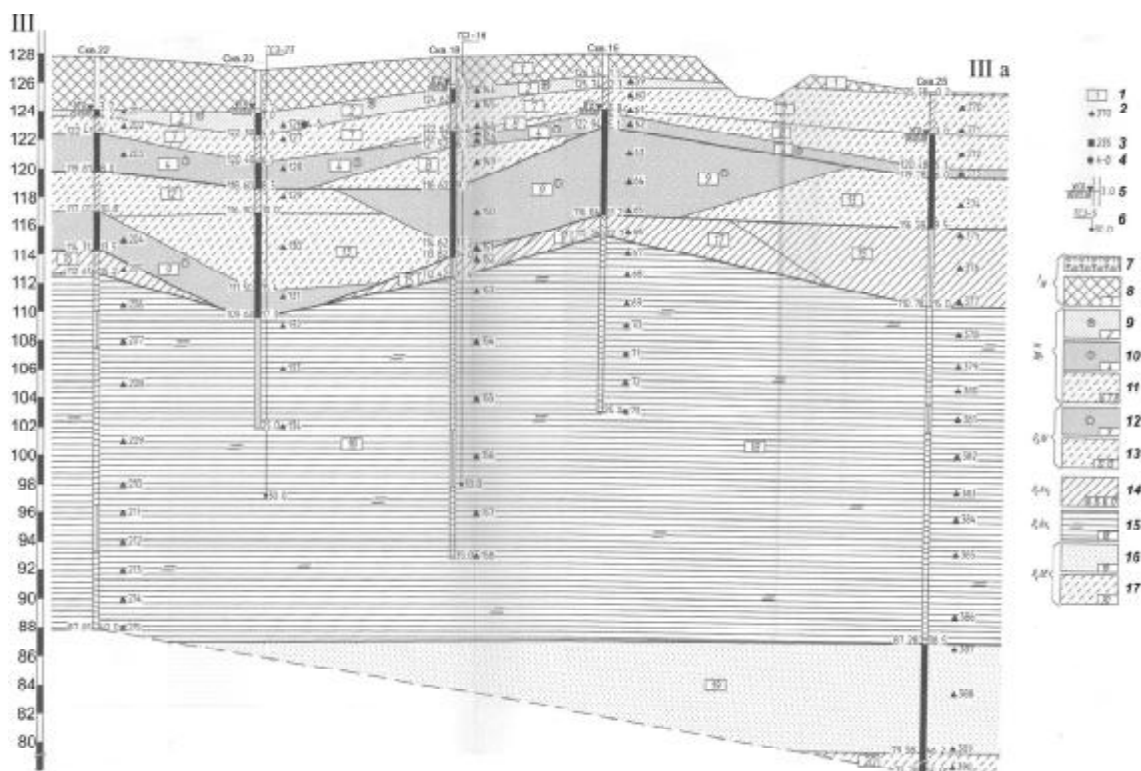


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по линии III–IIIa, построенный по результатам изысканий под строительство жилищного комплекса (ул. Краснопольская, 2-г, г. Киев): 1 – номер инженерно-геологического элемента; 2 – место отбора образца грунта нарушенного строения и его номер; 3 – место отбора образца почвы ненарушенного строения и его номер; 4 – место отбора пробы воды и ее номер; 5 – уровень грунтовых вод / дата измерения (глубина, м); 6 – точка статического зондирования, ее номер (глубина, м); 7 – почвенно-растительный слой с корнями растений (рекультивированный); 8 – насыпные пески пылеватые и мелкие, с прослойками супесей и суглинка, твердых, с включением строительного мусора 20–25 %, слежавшиеся; 9 – песок мелкий, желто-серый, от маловлажного до насыщенного водой, средней плотности; 10 – песок пылеватый, серый, желто-серый, насыщенный водой, средней плотности; 11 – супесь песчанистая, желто-серая, серая (6 – твердая, 7 – пластичная, 8 – текучая); 12 – песок пылеватый, темно-серый, зеленовато-серый, насыщенный водой, средней плотности; 13 – супесь песчанистая, темно-серая, зеленовато-серая (12 – пластичная, 13 – текучая); 14 – суглинок (“наглинок”) зеленовато-серый (14 – тяжелый пылеватый, твердый и полутвердый, 15 – тяжелый песчанистый, тугопластичный, 16 – легкий песчанистый, мягкопластичный, 17 – легкий песчанистый, текучепластичный и текучий); 15 – глина легкая пылеватая (“киевский мергель”) зеленовато-серая, полутвердая и тугопластичная, очень редко твердая, с тонкими, 1–3 см, прослойками песка пылеватого 15–20 %; 16 – песок от мелко- до среднезернистого, зеленовато-серый, глауконитовый, плотный, насыщенный водой, слабосцементированный; 17 – супесь песчанистая, зеленовато-серая, глауконитовая, текучая, слабосцементированная

сы. Вынос грунта в данном случае происходит вдоль зоны подземного потока.

Ширина подземного потока в верхней части, в районе ул. Краснопольская, – 8,0–10,0 м. Вниз по склону ширина потока постепенно увеличивается и в юго-западной части площадки строительства достигает 30,0 м.

Центральный поток прослежен от ул. Краснопольская, где он зафиксирован под крайней частью дома 2. Далее он проходит у дома 2-б на расстоянии 5–8 м от его фундамента, направляется к центру строительной площадки (см. рис. 3, 4) и пересекает его. В южной части котлована в пределах потока наблюдаются истоки грунтовой воды.

Ширина зоны увлажнения грунтов вдоль подземного потока в районе ул. Краснопольская – 5–8 м. По направлению к участку строительства ширина потока увеличивается до 25–27 м.

Восточный поток выявлен на юго-восточной стороне площадки строительства. Он вытекает из

лесной зоны склона и пересекает только небольшую часть площадки. Ширина потока здесь 15–20 м.

Определение интервалов глубин зон повышенной фильтрации. Глубины залегания и мощности зон увлажненных грунтов установлены по данным ВЭРЗ и георадарного зондирования. Результаты зондирования методом ВЭРЗ представлены в таблице. По данным георадарного зондирования построены три вертикальных разреза зоны увлажнения грунтов, один из которых показан на рис. 6.

На участке строительства зондированием установлены два основных интервала увлажнения грунтов (рис. 6, таблица). Третий интервал определен частично в некоторых точках зондирования (см. таблицу). Увлажненный интервал 1 – это “поверхностные” воды. В районе западной и южной частей площадки глубина кровли зоны увлажнения в пределах интервала 1 – около 3,5 м (абсолютная отметка 125,5 м). Мощность фильтрационной зоны 1,3–1,5 м. В южной части площадки мощность увлажненных грунтов в интер-



Рис. 3. Карта зон увлажнения почвы и путей миграции подземных водных потоков на участке строительства жилого комплекса (по данным съемки методом СКИП): 1 – зоны увлажнения грунтов; 2 – направление миграции грунтовых вод; 3 – пункт ВЭРЗ; 4 – профили георадарного зондирования



Рис. 4. Карта зон увлажнения почвы и путей миграции подземных водных потоков на участке строительства жилого комплекса на спутниковом снимке местности: 1 – зоны увлажнения грунтов; 2 – направление миграции грунтовых вод; 3 – пункт ВЭРЗ; 4 – профили георадарного зондирования



Рис. 5. Формирование оползневой зоны в районе Западного подземного водного потока

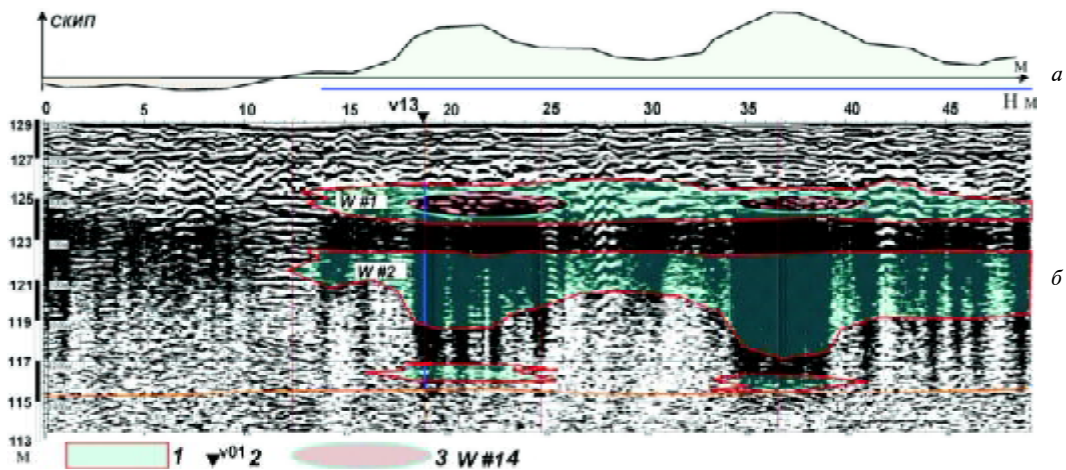


Рис. 6. График поля СКИП (а) и георадарный разрез зоны увлажнения грунтов (б): 1 – зона увлажнения; 2 – пункт ВЭРЗ; 3 – зона повышенной фильтрации грунтовых вод; 4 – номер водоносного горизонта

Таблица. Интервалы глубин и мощности водоносных горизонтов по данным ВЭРЗ

Пункт ВЭРЗ	1		2		3	
	интервал, м	мощность, м	интервал, м	мощность, м	интервал, м	мощность, м
V1	3,2–4,7	1,5	6,4–10,7	4,3	12,0–13,1	1,1
V2	3,1–3,9	0,8	7,7–10,6	2,9	–	–
V3	3,5–4,8	1,3	6,4–10,7	4,3	12,8–13,8	1,0
V4	3,4–4,0	0,6	7,6–10,2	2,6	–	–
V5	3,2–3,8	0,6	7,8–9,2	1,4	–	–
V6	3,6–5,0	1,5	6,0–10,7	4,7	10,7–12,5	1,8
V7	3,2–4,5	1,3	5,6–8,8	3,2	–	–
V8	4,6–5,4	0,8	8,5–11,0	2,5	–	–
V9	3,4–4,7	1,3	6,2–9,0	2,8	11,9–13,0	1,1
V10	2,1–4,0	1,9	6,4–9,5	3,1	–	–
V11	3,1–4,8	1,7	8,0–11,2	3,2	13,1–14,0	0,9
V12	2,9–5,0	2,1	6,2–10,6	4,4	12,7–13,5	1,2
V13	3,3–5,1	1,8	6,6–10,1	3,5	12,3–13,3	1,0
V14	3,4–4,0	0,6	7,0–9,2	2,2	12,3–13,5	1,2
V15	3,5–4,8	1,3	6,6–9,6	3,0	11,9–12,9	1,0

вале 1 достигает 2,1 м. Фильтрация воды осуществляется по горизонту мелкого песка, установленного по данным бурения. В районе выемки котлована грунт снят до кровли водного потока в интервале 1. Исток воды в котлован происходит из данного интервала.

Увлажненный горизонт 2 залегает в интервале глубин 6,0–10,0 м (отметки 123,0–119,0 м). Средняя мощность горизонта 3,5 м. Фильтрация воды осуществляется по горизонту песков, установленных бурением.

Горизонт 3 увлажненных грунтов прослеживается только в некоторых точках. Интервал глубин 12,0–13,0 м (отметки 117,0–116,0 м). Мощность горизонта 1,0 м. Увлажненные грунты расположены над горизонтом спондилитовых глин (киевский мергель).

Рекомендации. В целом проведенные геофизические исследования позволили выяснить причины подтопления котлована на участке строительства. Обнаружены и закартированы зоны повышенной фильтрации грунтовых вод и пути их миграции. Установлено, что фильтрация воды происходит вдоль локальных зон в районе строительной площадки. Определены глубины залегания основных водоносных горизонтов.

Согласно результатам исследований, необходимо обустройство дренажа с западной и южной сторон участка для отвода воды с территории строительной площадки. Для ликвидации воды в котловане дренажем необходимо перехватывать воды первого водоносного горизонта, мощность которого составляет в среднем 1,5 м.

На рис. 7 показаны схемы двух вариантов заложения дренажной сети для отвода грунтовых вод из участка проведения строительных работ.

Обсуждение результатов. Представленные выше материалы полевых работ свидетельствуют, что задача обнаружения и картирования подземных водных потоков в районе участка строительства решена оперативно, эффективно и в полном объеме. Анализ приведенных конкретных результатов, а также многочисленные материалы практического применения неклассических методов СКИП и ВЭРЗ при решении других задач приповерхностной геофизики позволили выделить следующие принципиальные аспекты.

1. Выше отмечалось, что на площадке строительства жилого комплекса в полном объеме выполнены инженерно-геологические изыскания, согласно строительным нормам и требованиям, которые зафиксированы в соответствующих нормативных документах. Детальность этих работ иллюстрирует инженерно-геологический разрез вдоль одного из профилей (см. рис. 2). Следует особо отметить, что в пределах участка выполнен значительный объем буровых работ. Бурением также установлены водонасыщенные горизонты (рис. 2). Однако водные потоки (в частности, их площадное положение, направление фильтрации, мощность) в результате проведения традиционного комплекса инженерно-геологических работ выявлены не были. Но именно подземные потоки являются основной разрушающей силой, недоучет которой уже привел к существенным проблемам на начальном этапе строительства жилого комплекса. К еще большим проблемам эти потоки могут привести в дальнейшем, если не выполнить необходимых технических мероприятий по их перехвату и отводу (нейтрализации).

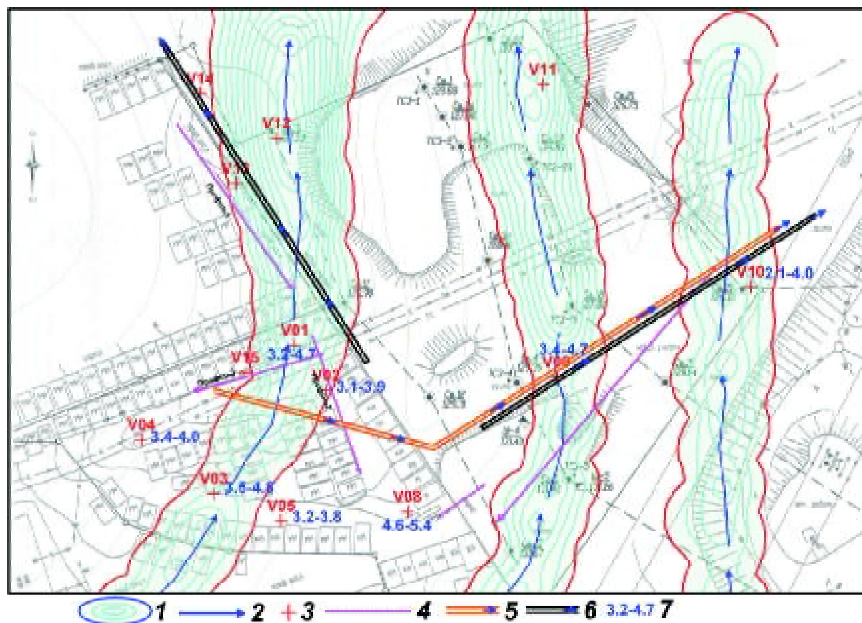


Рис. 7. Возможные варианты строительства дренажа для отвода грунтовых вод в районе строительной площадки: 1 – зоны увлажнения грунтов; 2 – направление миграции грунтовых вод; 3 – пункт ВЭРЗ; 4 – профили георадарного зондирования; 5 – вариант дренажной системы 1; 6 – вариант дренажной системы 2; 7 – глубины кровли и подошвы первого водоносного горизонта, м

2. В принципе проблему определения параметров подземных водных потоков в какой-то степени можно решить традиционными гидрогеологическими методами, путем наблюдений за перемещением грунтовых вод в скважинах. Однако гидрогеологические методы исследований – дорогостоящие, требуют значительных затрат времени на их проведение и не позволяют получить необходимую информацию о водных потоках в полном объеме.
3. Задачи практического обнаружения и картирования подземных водных потоков могут решаться (и решаются) традиционными (классическими) геофизическими методами, в частности электрическими и электромагнитными. Однако решение этих задач в подобных случаях является опосредованным. В электрических (электромагнитных) методах, например, – через выделение в соответствующих частях разреза зон (участков) пониженного сопротивления (повышенной проводимости) горных пород. В большинстве случаев 2D и 3D модели распределения проводимости (сопротивления) в изучаемых фрагментах разреза получают в результате решения обратных задач геоэлектрики. Детальность и точность таких решений зависят от объема и схемы геоэлектрических измерений, выполнение которых в условиях городской застройки и интенсивных помех весьма усложнено. Более того, при использовании классических геоэлектрических технологий этапы выполнения полевых измерений и последующей интерпретации данных разделены во времени, что не всегда позволяет оперативно оптимизировать схему измерений. Все это, в

принципе, значительно снижает эффективность классических геоэлектрических (геофизических) методов при решении задач обнаружения и картирования подземных водных потоков.

4. Согласно приведенным выше результатам, а также материалам исследований на других объектах [8–12, 1], проблема обнаружения и картирования подземных водных потоков и водоносных горизонтов решается неклассическими геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ эффективно, оперативно и в достаточном для принятия конкретных инженерных решений объеме.

Многолетний положительный опыт применения указанных методов для решения широкого класса поисковых геофизических, инженерно-геологических, гидрогеологических задач позволяет авторам этих методов и исследований сделать определенные обобщающие выводы и обосновать их отличительные черты от классических геоэлектрических (и других геофизических) методов.

А. Результатами применения классических геофизических методов являются схемы, модели, разрезы распределения различных физических свойств горных пород – сейсмической скорости, плотности, магнитной восприимчивости (интенсивности намагничивания), сопротивления (проводимости) и др. Такие модели (распределения) обычно строят по результатам решения обратных задач геофизики или компьютерного моделирования в режиме решения прямых задач (ручного подбора). В результате последующей геологической интерпретации полученных распределений физических свойств разрез изучаемых объектов и площадей наполняется со-

ответствующими структурными элементами и горными породами, с которыми могут быть связаны определенные типы рудных и горючих полезных ископаемых, водоносные коллекторы, подземные водные потоки и проч.

- Б. В неклассических геоэлектрических методах СКИП и ВЭРЗ основное внимание уделяется не измерению соответствующих компонент геоэлектрических (электромагнитных) полей и определению по измеренным значениям физических свойств разреза (сопротивления, проводимости), а выделению и картированию АТЗ и АПП сугубо определенного типа. Так, площадной съемкой методом СКИП выделяются и картируются АТЗ типа “залежь УВ”, “залежь нефти”, “залежь газа”, “золоторудная залежь”, “водоносный горизонт” и др. Зондированием методом ВЭРЗ в разрезе изучаемых площадей выделяются АПП типа “нефтеносный пласт”, “газоносный пласт”, “водоносный пласт”, “соленосный пласт”, “кристаллический фундамент”, “пласт с золоторудной минерализацией” “пласт с платинорудной минерализацией”, “пласт с урановой минерализацией” и др. Глубины залегания и мощности АПП определяются при этом с достаточно высокой точностью.
- В. При выполнении съемки методом СКИП в каждой точке регистрации оператор мгновенно получает информацию, находится он в пределах АТЗ или нет. Это позволяет оперативно оптимизировать проведение измерений, с одной стороны, а также эффективно и в полном объеме оконтуривать аномалии типа “залежь” — с другой. Более того, выделение АТЗ непосредственно в поле, при проведении съемки СКИП, дает возможность для оптимального размещения пунктов зондирования методом ВЭРЗ в дальнейшем, на следующем этапе полевых работ. Еще одним важным достоинством технологии СКИП–ВЭРЗ является то обстоятельство, что методом ВЭРЗ глубины залегания и мощности АПП конкретного типа также определяются в процессе измерений, непосредственно в поле. Это позволяет оперативно и эффективно, с минимальными затратами времени проследить по площади глубины залегания в разрезе и мощности представляющих практический поисковый интерес горизонтов и пластов, установленных бурением, методом ВЭРЗ в базовых точках или же другими геофизическими методами.
- Г. На данном этапе применения геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ в последовательности этапов полевые наблюдения — обработка данных измерений — интерпретация полученных материалов не используются традиционные алгоритмы, методы и компьютерные технологии решения прямых и обратных задач геоэлектрики

(геофизики). Основной вклад в эффективность и оперативность этих методов *вносят технические средства* — оригинальные аппаратные разработки (комплекс антенн, генераторов, регистраторов), а также программное обеспечение регистрации и обработки данных измерений непосредственно в поле. В перспективе возможности рассматриваемых методов при решении практических геолого-геофизических задач могут быть расширены путем включения в графы проведения исследований данными методами интерпретационных этапов решения прямых и обратных задач геоэлектрики.

- Д. Все отмеченные выше отличия геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ от классических электрических и электромагнитных методов, а также многолетний опыт их успешного практического применения для решения широкого круга геолого-геофизических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач свидетельствуют о том, что авторами статьи внесен значительный вклад *в становление новой парадигмы геофизических исследований*. В ее рамках указанные методы позволяют оперативно и эффективно решать разнообразные практические задачи поискового, изыскательского и экологического характера. При этом характеристическая особенность геофизических исследований заключается в *“прямых” поисках конкретного физического вещества*: газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золото, платина, серебро, цинк, уран, алмазы, кимберлиты и др.). Начальным этапом в становлении парадигмы можно считать первые исследования и разработки по “прямым” методам поисков нефти и газа. Следует также напомнить, что в это же время в геолого-геофизическую терминологию введено известное и широко используемое в настоящее время (в том числе авторами статьи) выражение “аномалия типа залежь” (АТЗ).
- Е. Целесообразно также отметить, что определенный вклад в становление “вещественной парадигмы” геофизических исследований вносит также оригинальный метод обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), практическая апробация которого проводилась авторами в 2009 г. [6, 7]. Метод ДЗЗ также ориентирован на обнаружение и картирование по спутниковым данным аномалий типа “залежь нефти”, “залежь газа”, “водоносный горизонт”, “зона золоторудной минерализации” и др. Совместное использование метода обработки и интерпретации данных ДЗЗ и технологии СКИП–ВЭРЗ на различных этапах геолого-геофизических исследований позволяет оптимизировать и ускорить поисковые и изыскательские этапы геофизических работ.

Выводы. Представленные в статье материалы исследований изыскательского характера еще раз достаточно аргументировано и наглядно демонстрируют разрушающее воздействие подземных водных потоков на различные объекты (в том числе строящиеся) современного города. Они также указывают на объективную необходимость выявления и картирования разрушительных подземных потоков еще на этапах проведения инженерно-геологических изысканий под строительство инженерных сооружений, зданий и объектов различного назначения. Игнорирование этой необходимости в подавляющем большинстве случаев приводит к колоссальным временным и материальным (финансовым) затратам.

Вместе с тем результаты оперативных геофизических исследований, проведенных с использованием оригинальных геоэлектрических методов СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования, свидетельствуют об эффективности этого оперативного геофизического комплекса в решении задач обнаружения и картирования подземных водных потоков. Практическое применение данной технологии при проведении инженерно-геологических исследований под строительство крупных инженерных объектов может принести существенный экономический эффект в результате значительного сокращения длительности изыскательских работ и уменьшения объемов бурения.

Рассматриваемый комплекс позволяет оперативно и эффективно: 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 др. Входящие в комплекс отдельные методы, а также весь комплекс в целом можно использовать для мониторинговых наблюдений на площадках строительства с целью определения влияния строящихся объектов на инженерно-геологические условия как на участках застройки, так и на близлежащих территориях.

Многолетний положительный опыт успешного применения неклассических геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ для решения разнообразных практических задач позволяет констатировать их важный вклад в становление новой парадигмы геофизических исследований, в рамках которой осуществляется **“прямой” поиск конкретного физическое вещества:** газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золота, платины, серебра, цинка, урана, алмазов, кимберлитов и др.). Эффективность геофизических методов, базирующихся на принципах этой парадигмы, значительно выше эффективности традиционных методов.

1. *Боковой В.П., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Картирование оползневых участков и зон повышенного обводнения грунтов комплексом геофизических методов на склоне р. Днепр в г. Киев // Докл. НАН Украины. – 2003. – № 11. – С. 96–103.
2. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Электро-резонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии // Геол. журн. – 2003. – № 4. – С. 24–28.
3. *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.
4. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М.* Эффективность оперативных геофизических технологий при изучении инженерно-геологических условий на участках метрополитена приповерхностного залегания // Там же. – 2009. – № 2. – С. 30–47.
5. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М.* Оперативное проведение инженерно-геологических изысканий под застройку мобильными геоэлектрическими методами // Там же. – 2009. – № 4. – С. 33–37.
6. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазосности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков // Там же. – 2010. – № 3. – С. 22–43.
7. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Божжежа Д.Н.* Оперативное решение задач оценки перспектив рудоносности лицензионных участков и территорий в районах действующих промыслов и рудных месторождений // Там же. – 2010. – № 4. – С. 23–30.
8. *Шуман В.Н., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива // Там же. – 2008. – № 2. – С. 22–50.
9. *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 Dniper river in Kyiv. 65nd EAGE conf. & Exhibition. – Stavanger, Norway, 2003. – Extended Abstracts, P208. – 4 p.
10. *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 Abstracts P046. – 4 p.
11. *Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. et al.* Application of mobile geophysical methods for the examination of areas of landslide processes formation and development. Near Surface 2010 – 16th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Zurich, Switzerland, 6–8 Sept. 2010. – Extended Abstracts P70. – 5 p.
12. *Yakymchuk N.A., Levashov S.P., Korchagin I.N. et al.* Prospecting and mapping of aquiferous stratum of different mineralization by geoelectric methods. Near Surface 2010 – 16th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Zurich, Switzerland, 6–8 Sept. 2010. – Extended Abstracts P18. – 6 p.

Поступила в редакцию 13.01.2011 г.

С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин

ОПЕРАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГЕОФИЗИКИ: ОТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДО НОВОЙ ПАРАДИГМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Многолетний опыт практического применения неклассических геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) для решения разнообразных задач приповерхностной геофизики демонстрирует их высокую эффективность при поисках и оконтуривании подземных водных потоков и водоносных горизонтов. Результаты выполненных работ свидетельствуют, что площадной съемкой СКИП оперативно обнаруживаются и картируются зоны увлажнения пород, подземные водные потоки естественного и техногенного происхождения, водоносные горизонты. Методом ВЭРЗ в разрезе с высокой точностью определяются глубины залегания и мощности водонасыщенных горизонтов. Полевые работы такого характера выполняются достаточно оперативно и быстро. Методы СКИП и ВЭРЗ вносят значительный вклад в становление новой парадигмы геофизических исследований, в рамках которой выполняется “прямой” поиск конкретного физического вещества: газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золота, платины, серебра, цинка, урана, алмазов, кимберлитов и др.). Эффективность геофизических методов, базирующихся на принципах этой парадигмы, существенно выше эффективности традиционных методов.

Ключевые слова: геоэлектрическая съемка, электрорезонансное зондирование, аномалия типа “залежь”, зона увлажнения, водоносный горизонт, водный поток, скважина, оползневая зона.

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

ОПЕРАТИВНЕ ВИРШЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ ПРИПОВЕРХНЕВОЇ ГЕОФІЗИКИ: ВІД ЗАСТОСУВАННЯ НЕКЛАСИЧНИХ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДО НОВОЇ ПАРАДИГМИ ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Багаторічний досвід практичного застосування некласичних геоелектричних методів становлення короткоімпульсного поля (СКИП) та вертикального электрорезонансного зондування (ВЕРЗ) для вирішення різноманітних завдань приповерхневої геофізики демонструє їх високу ефективність під час пошуків та оконтурювання підземних водних потоків і водоносних горизонтів. Результати виконаних робіт засвідчують, що площинною зйомкою СКИП оперативно виявляють і картують зони зволоження порід, підземні водні потоки природного і техногенного походження, водоносні горизонти. Методом ВЕРЗ у розрізі з високою точністю визначають глибини залягання і потужність водонасичених горизонтів. Польові роботи такого характеру виконують досить оперативно та швидко. Методи СКИП і ВЕРЗ роблять значний внесок у становлення нової парадигми геофізичних досліджень, у межах якої здійснюється “прямий” пошук конкретної фізичної речовини: газу, нафти, газогідратів, води, рудних мінералів і порід (золота, платини, срібла, цинку, урану, алмазів, кимберлітів тощо). Ефективність геофізичних методів, що ґрунтуються на принципах цієї парадигми, суттєво вища за ефективність традиційних методів.

Ключові слова: геоелектрична зйомка, электрорезонансне зондування, аномалія типу “поклад”, зона зволоження, водоносний горизонт, водний потік, свердловина, зсувна зона.