

Иновационные геоэлектрические методы: многолетний опыт применения для оперативного решения практических задач приповерхностной геофизики

С. П. Левашов¹, Н. А. Якимчук², И. Н. Корчагин³, 2018

¹ Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии,
Киев, Украина

² Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАНУ,
Киев, Украина

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

Поступила 8 мая 2018 г.

Наведено та проаналізовано результати практичного застосування мобільних геофізичних методів для оперативного виявлення і картування підземних водних потоків і водоносних горизонтів на декількох будівельних майданчиках м. Києва. Використано геоелектричні методи становлення короткоімпульсного електромагнітного поля (СКІП) і вертикального електрорезонансного зондування (ВЕРЗ), а також метод георадарного зондування. Мобільні методи СКІП і ВЕРЗ розроблено на принципах "речовинної" 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, кімберлітів тощо). Ефективність геофізичних методів, що базуються на принципах цієї парадигми, істотно вище, ніж традиційних. Згідно з результатами робіт, площинне знімання СКІП дає змогу оперативного виявляти та картувати зони зволоження порід, підземні водні потоки природного і техногенного походження, водоносні горизонти. Зондуванням ВЕРЗ з високою точністю визначають глибини залягання і потужності водонасичених горизонтів у розрізі. Польові роботи такого характеру виконуються досить оперативно і швидко. Конкретні матеріали дослідних робіт досить аргументовано демонструють руйнівний вплив підземних водних потоків на різні об'єкти (в тому числі і на такі, що будуються) сучасного міста. Вони також вказують на об'єктивну необхідність виявлення і картування руйнівних підземних потоків ще на етапах проведення інженерно-геологічних дослідних робіт під будівництво інженерних споруд, будівель і об'єктів різного призначення. Ігнорування цієї необхідності в багатьох випадках призводить до значних часових і матеріальних витрат. Наведено результати, а також матеріали раніше виконаних робіт на різних будівельних майданчиках показують, що використаний мобільний комплекс дає змогу оперативно і ефективно а) виділяти зони підвищеного зволоження ґрунтів; б) визначати напрямки та шляхи міграції фільтраційних водних потоків природного і техногенного походження; в) встановлювати глибини залягання і потужності обводнених горизонтів порід; г) визначати за площею потужності пухких відкладів, покривлі дресви і гранітного фундаменту; д) виділяти і трасувати в межах ділянки робіт тектонічні порушення тощо. Окремі методи комплексу можна також застосовувати для моніторингових спостережень на майданчиках будівництва з метою визначення впливу споруджуваних об'єктів на інженерно-геологічні умови як на ділянках забудови, так і на прилеглих територіях. Практичне застосування мобільної технології при проведенні інженерно-геологічних досліджень під будівництво великих інженерних об'єктів може дати істотний економічний ефект за рахунок значного скорочення тривалості дослідних робіт та істотного зменшення обсягів буріння.

Ключові слова: геоелектричне знімання, електрорезонансне зондування, аномалія типу поклад, зона зволоження, водоносний горизонт, водний потік, свердловина, зсувна зона.

Введение. На протяжении многих лет авторы активно проводят работу над проблемой разработки и внедрения в практику геологоразведочных работ мобильных геофизических методов. С помощью уже разработанных и апробированных модификаций такого рода методов получены интересные и заслуживающие внимания результаты в различных регионах мира, в том числе и в Украине. Однако в силу того, что используемые мобильные методы на настоящий момент не являются общепризнанными, к полученным с их применением результатам отношение специалистов достаточно настороженное — во многих случаях (в том числе и при выборе площадок для бурения скважин) они, к сожалению, не принимаются во внимание.

В настоящей статье продемонстрировать работоспособность (и эффективность) используемых мобильных геоэлектрических методов попытаемся на примерах оперативного решения некоторых неотложных задач приповерхностной геофизики.

Проблеме разработки эффективных методов (технологий) решения разнообразных практических задач приповерхностной геофизики — экологических, гидрологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геолого-геофизических — должно внимание уделяется академическими (научными) учреждениями, производственными организациями и сервисными компаниями геолого-геофизического профиля. Такого рода технологии создаются и предлагаются для использования как на базе отдельных геофизических методов, так и путем комплексирования нескольких методов различной физической природы. В частности, следует отметить достаточно активное использование в практической деятельности различных геоэлектрических (классических и нетрадиционных, электрических и электромагнитных) методов полевых геофизических исследований. Возможности современных геоэлектрических и электромагнитных технологий при решении разнообразных задач приповерхностной гео-

физики, а также перспективы их дальнейшего совершенствования и расширения областей применения всесторонне анализируются в серии зарубежных журнальных публикаций обзорного [Tezkan, 1999; Meju, 2002; Pellerin, 2002; Sheard et al., 2005; Auken et al., 2006] и научно-описательного характера [Задериголова, 1998; Бобачев и др., 2006; Павлов и др., 2007; Слепак, 2007].

В актуальной по этой проблеме монографии [Слепак, 2007] описывается новая методология геофизического изучения негативного влияния активных геологических процессов, протекающих в верхней части разреза, на здания и инженерные сооружения. Ее суть — проведение высокоточных геофизических измерений в режиме мониторинга с целью регистрации не только физических полей, но и их изменений во времени. Отмечается эффективность высокоточных гравиметрических измерений и электромагнитного зондирования становлением поля. Методология прошла апробацию на территории архитектурного ансамбля Казанского Кремля и позволяет решать следующий круг задач: изучать влияние подземных вод на основания строений; устанавливать особенности влияния современных тектонических движений на строения; трассировать подошву антропогенного слоя; прогнозировать сохранившиеся остатки древних строений в антропогенном слое; выявлять зоны разрывных нарушений, участки утечек подземных водных коммуникаций и др.

В книге [Задериголова, 1998] изложены основы теории и методики радиоволнового метода (0,5—10,0 МГц) геоэлектрических исследований применительно к задачам геоинженерного мониторинга и экологии. Приведенные здесь примеры демонстрируют возможности метода при решении актуальных задач изучения источников техногенного воздействия на природную среду (контроль и экологическая оценка загрязненности почв нефтепродуктами на промышленных объектах, термокарст, исследование аварий на подземных

коммуникациях, картирование пустот, природного карста, оползней, изыскания для организации водозаборов, изучение археологических объектов и т. д.).

В статьях [Кузьменко и др., 2016, 2017] демонстрируется эффективность метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в наземно-скважинном варианте с реализацией режимных наблюдений и увязкой полученных результатов с инженерно-геологическими исследованиями оползней на примере территории, расположенной на правом берегу водохранилища Киевской гидроэлектростанции.

Геоэлектрические мобильные методы.

Мобильные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП—ВЭРЗ) [Левашов и др., 2003, 2012; Шуман и др., 2008] уже около двадцати лет активно и успешно применяются для оперативного решения различных геолого-геофизических задач, в том числе и поисков рудных и горючих полезных ископаемых. На протяжении этого времени технология СКИП—ВЭРЗ в комплексе с методами сейсмоакустического и георадарного зондирования широко использовалась при решении разнообразных задач приповерхностной геофизики [Levashov et al., 2005b]. В частности, геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ неоднократно применялись для: а) поисков и картирования водоносных и водонасыщенных горизонтов, залежей минеральных вод [Yakymchuk et al., 2010]; б) выявления и картирования зон повышенного увлажнения грунтов, подземных водных потоков техногенного и естественного происхождения, утечек из подземных водных коммуникаций [Vokovoy et al., 2003; Levashov et al., 2010; Yakymchuk et al., 2012]; в) обследования инженерно-геологических и гидрогеологических условий и мониторинга при их изменении на территориях расположения исторических и архитектурных памятников, зданий и заповедников [Levashov et al., 2004a, 2006];

г) проведения инженерно-геологических исследований на площадках строительства мостов, линий метро приповерхностного залегания, промышленных сооружений, жилых зданий и объектов социального и культурного назначения [Levashov et al., 2005a, 2009, 2011; Левашов и др., 2009a, б; Yakymchuk et al., 2012]; д) картирования зон загрязнения нефтепродуктами [Levashov et al., 2004b] и т. д.

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 ли эта точка контуру аномалии типа “залежь” (АТЗ) соответствующего типа или нет. Эта особенность метода позволяет 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 аэро-СКИП с самолета такая особенность метода предоставляет возможность одновременно (параллельно) выполнять съемку рекогносцировочного и детального характера, что позволяет максимально сократить стоимость и время выполнения полевых измерений.

Метод ВЭРЗ является важной компонентой технологии СКИП—ВЭРЗ. Он предоставляет 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 типа “нефть”, “газ”, “вода”, “соль”, “кристаллический фундамент” и т. д., а также мощности и глубины их залегания определяются не путем решения обратных задач, как это обычно делается практически во всех геофизических методах, а находят в процессе измерений непосредственно по экспериментально обоснован-

ной 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 т. д. (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.

На настоящий момент методы СКИП и ВЭРЗ следует считать, в основном, сугубо экспериментальными, прошедшими лишь начальную стадию становления. Выполненные с помощью геоэлектрических методов СКИП—ВЭРЗ исследования целесообразно классифицировать как научно-исследовательские, экспериментальные.

Некоторые вопросы теоретического обоснования геоэлектрических методов рассматриваются в статьях [Шуман и др., 2008; Якимчук, 2014]. В патенте [Weaver, Warren, 2004] описан принцип электромагнитного зондирования, очень близкий к используемому в методе ВЭРЗ. К сожалению, в настоящее время специалисты-электрогеофизики не обращают должного внимания как на этот принцип, так и на технологию ВЭРЗ.

На сайте <http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/> размещен видеофильм, в котором демонстрируются особенности проведения работ на различных этапах, а также презентация с многочисленными результатами практического применения прямопоисковых методов. Ниже в статье представлены и анализируются результаты геофизических исследований с использованием геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ, а также георадарного зондирования на четырех различных участках строительства в Киеве, проведенных в 2010, 2016 и 2017 гг.

Методика проведения исследований. Геофизические исследования в пределах четырех участков строительства проведены с использованием мобильных гео-

электрических методов СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования разреза антенным блоком АБ 250 МГц.

Площадная съемка методом СКИП применялась на участках исследований для обнаружения и картирования зон повышенного увлажнения почв, установления путей миграции водных потоков. Методы электрорезонансного и георадарного зондирования использовались для определения глубин залегания и мощностей зон повышенного увлажнения грунтов и построения вертикальных разрезов увлажненных горизонтов. Результаты работ представлены в виде карт, схем, геоэлектрических разрезов и колонок вертикального зондирования.

Строительная площадка в Подольском районе г. Киева. На начальной стадии строительства жилого комплекса по ул. Краснопольской в Подольском районе возникли непредвиденные проблемы, связанные с подтоплением вырытого котлована грунтовыми водами. 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 указывало на миграцию грунтовых вод частично и в районе участка строительства, что и привело к заполнению котлована водой после выемки грунта.

Основная задача геофизических исследований состояла в обнаружении зон повышенной фильтрации грунтовых вод, установлении направлений их миграции и интервалов глубин максимального увлажнения грунтов. По данным геофизических изысканий необходимо было сформулировать обоснованные рекомендации по организации отвода подземных водных потоков в сторону от строительной площадки.

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. На рис. 1 представлен инженерно-геологический разрез вдоль

одной из линий, который 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. 1

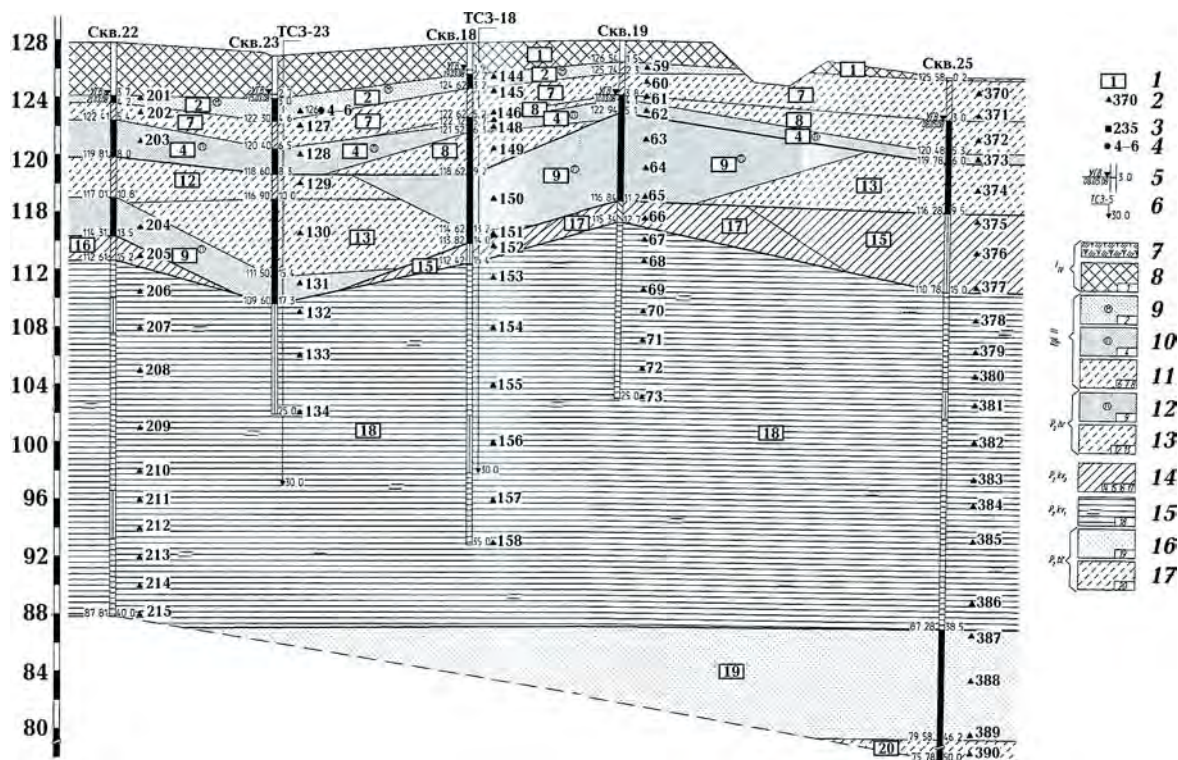


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез по линии III—IIIa, построенный по результатам изысканий под строительство жилищного комплекса (ул. Краснопольская 2г, г. Киев): 1 — номер инженерно-геологического элемента; 2 — место отбора образца грунта нарушенного строения и его номер; 3 — место отбора образца 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): 9б; 8 — насыпные пески пылеватые и мелкие, с прослойками супесей и суглинков, твердых, с включением строительного мусора 20—25 %, слежавшиеся: 26а; 9 — песок мелкий, желто-серый, от маловлажного до насыщенного водой, средней плотности: 10а; 10 — песок пылеватый, серый, желто-серый, насыщенный водой, средней плотности: 10а; 11 — супесь песчанистая, желто-серая, серая, (6 — твердая, 7 — пластичная, 8 — текучая): 10а, б; 12 — песок пылеватый, темно-серый, зеленовато-серый, насыщенный водой, средней плотности: 29а; 13 — супесь песчанистая, темно-серая, зеленовато-серая (12 — пластичная, 13 — текучая): 36а, б; 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): 35а, б, в; 15 — глина легкая пылеватая ("киевский мергель") зеленовато-серая, полутвердая и тугопластичная, очень редко твердая, с тонкими 1—3 см прослойками песка пылеватого 15—20 %: 8б; 16 — песок от мелкой до средней величины, зеленовато-серый, глауконитовый, плотный, насыщенный водой, слабосцементированный: 29б; 17 — супесь песчанистая, зеленовато-серая, глауконитовая, текучая, слабосцементированная: 36б.

они обозначены на вертикальных линиях скважин черным цветом.

Картирование зон повышенной фильтрации грунтовых вод. По данным 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". Эти зоны сформированы подземными водными потоками, которые мигрируют вниз по склону, в район озера. На рис. 2 представлена карта зон увлажнения и контуры подземных потоков, нанесенные на рабочий план строительства.

"Западный" поток прослежен с ул. Краснопольская вниз по склону к участку строительства. Поток проходит под крайней частью дома № 2, далее между домами № 2а и № 2б и выходит в юго-западную часть площадки строительства. В этом месте в котловане наблюдается истоки грунтовой воды. За счет влияния данного подземного потока начала также формироваться небольшая оползневая зона на территории прилегающих к участку гаражей. У дома 2а, в пределах подземного потока наблюдалась просадка грунта. Эта просадка могла образоваться за счет техногенных вод, утечек из теплотрассы. Вынос грунта в данном случае осуществляется 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. Краснопольской, где он зафиксирован под крайней частью дома № 2. Далее поток проходит у дома № 2б на расстоянии 5—8 м от его фундамента и направляется в центральную часть строительной площадки (см. рис. 2). Поток пересекает центральную часть участка строительства. В южной части котлована в рамках данного потока наблюдаются истоки грунтовой воды. Ширина зоны увлажнения грунтов вдоль потока в райо-

не ул. Краснопольская 5—8 м. По направлению к участку строительства ширина потока увеличивается до 25—27 м.

"Восточный" поток обнаружен в юго-восточной части площадки строительства. Он вытекает из лесной зоны склона и только частично пересекает небольшой участок строительной площадки. Ширина потока в районе площадки составляет 15—20 м.

Определение интервалов глубин зон повышенной фильтрации. Глубины залегания и мощности зон увлажненных грунтов определились по данным ВЭРЗ и георадарного зондирования. Результаты зондирования методом ВЭРЗ представлены в табл. 1. По данным георадарного зондирования построено три вертикальных разреза зоны увлажнения грунтов, один из которых показан на рис. 3.

На участке строительства зондированием установлено два основных интервала увлажнения грунтов: № 1 и № 2 (см. рис. 3, табл. 1). Третий интервал увлажнения (№ 3) определен частично в некоторых точках зондирования (см. табл. 1). 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 интервале № 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 осуществляется с данного интервала.

Увлажненный горизонт № 2 залегает в интервале глубин 6,0—10,0 м (отметки 123,0—119,0 м). Средняя мощность интервала 3,5 м. Фильтрация воды осуществляется по горизонту песков, установленного бурением.

Третий горизонт увлажненных грунтов прослеживается только в некоторых точках. Интервал глубин 12,0—13,0 м (отмет-

ки 117,0—116,0 м). Мощность горизонта 1,0 м. Увлажненные грунты данного интервала расположены над горизонтом спондиловых глин (киевский мергель).

Оценивая результаты работ в целом, отметим, что проведенные геофизические

исследования позволили установить причины подтопления котлована на участке строительства. Обнаружены и закартированы зоны повышенной фильтрации грунтовых вод и пути их миграции. Установлено, что фильтрация воды осуществля-

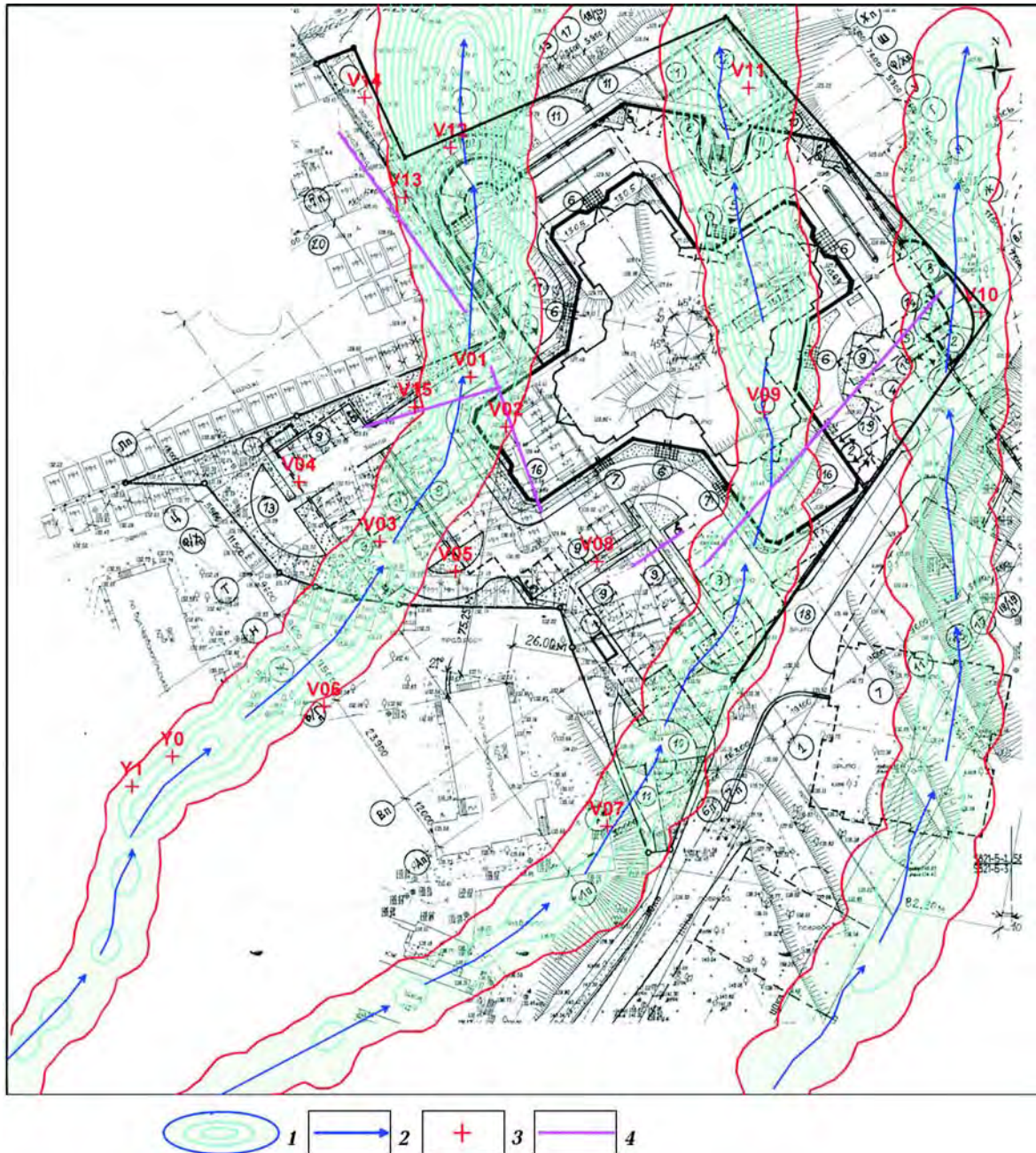


Рис. 2. Карта зон увлажнения почвы и путей миграции подземных водных потоков на участке строительства жилого комплекса (по данным съемки методом СКИП): 1 — зоны увлажнения грунтов; 2 — направления миграции грунтовых вод; 3 — пункты ВЭРЗ; 4 — профили георадарного зондирования.

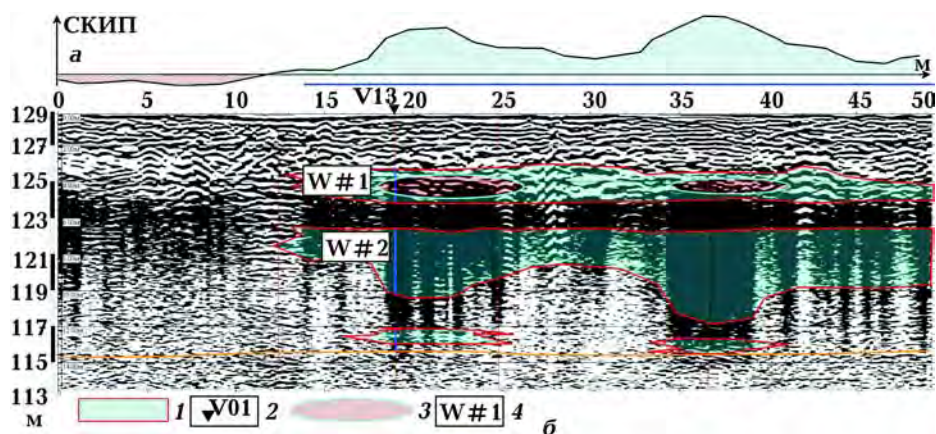


Рис. 3. График поля СКИП (а) и георадарный разрез зоны увлажнения грунтов (б): 1 — зона увлажнения грунтов; 2 — пункты ВЭРЗ; 3 — зона повышенной фильтрации грунтовых вод; 4 — номер водоносного горизонта.

ется вдоль локальных зон, проходящих через строительную площадку. Определены глубины залегания основных водоносных горизонтов.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о необходимости обустройства дренажа с западной и южной частей участка для отвода воды с терри-

Т а б л и ц а 1. Интервалы глубин и мощности водоносных горизонтов по данным ВЭРЗ

Пункт ВЭРЗ	Водоносный горизонт		
	№ 1	№ 2	№ 3
V1	3,2—4,7 Н = 1,5	6,4—10,7 Н = 4,3	12,0—13,1 Н = 1,1
V2	3,1—3,9 Н = 0,8	7,7—10,6 Н = 2,9	—
V3	3,5—4,8 Н = 1,3	6,4—10,7 Н = 4,3	12,8—13,8 Н = 1,0
V4	3,4—4,0 Н = 0,6	7,6—10,2 Н = 2,6	—
V5	3,2—3,8 Н = 0,6	7,8—9,2 Н = 1,4	—
V6	3,6—5,0 Н = 1,5	6,0—10,7 Н = 4,7	10,7—12,5 Н = 1,8
V7	3,2—4,5 Н = 1,3	5,6—8,8 Н = 3,2	—
V8	4,6—5,4 Н = 0,8	8,5—11,0 Н = 2,5	—
V9	3,4—4,7 Н = 1,3	6,2—9,0 Н = 2,8	11,9—13,0 Н = 1,1
V10	2,1—4,0 Н = 1,9	6,4—9,5 Н = 3,1	—
V11	3,1—4,8 Н = 1,7	8,0—11,2 Н = 3,2	13,1—14,0 Н = 0,9
V12	2,9—5,0 Н = 2,1	6,2—10,6 Н = 4,4	12,7—13,5 Н = 1,2
V13	3,3—5,1 Н = 1,8	6,6—10,1 Н = 3,5	12,3—13,3 Н = 1,0
V14	3,4—4,0 Н = 0,6	7,0—9,2 Н = 2,2	12,3—13,5 Н = 1,2
V15	3,5—4,8 Н = 1,3	6,6—9,6 Н = 3,0	11,9—12,9 Н = 1,0

тории строительной площадки. Для ликвидации воды в котловане дренажем необходимо перехватывать воды первого водоносного горизонта, мощность которого составляет в среднем 1,5 м.

На рис. 4 приведены схемы двух предложенных вариантов заложения дренажной сети для отвода грунтовых вод с участка проведения строительных работ.

Строительная площадка в Соломенском районе г. Киева. Участок строительства расположен на пересечении улиц В. Липковского, Механизаторов, Кавказская и Соломенская. На время проведения исследований в центральной части участка был вырыт котлован глубиной 5—6 м. На дне котлована появились истоки подземной воды, которые увлажня-

ли почву и затрудняли проведение строительных работ. Откачка воды положительных результатов не дала, уровень воды в котловане быстро восстанавливался.

Основная задача исследований заключалась в оперативном обнаружении и картировании зон повышенного увлажнения грунтов, сформированных за счет подземных водных потоков. В процессе проведения работ осуществлялось также прослеживание путей миграции подземных водных потоков и выяснялись возможные причины (источники) их формирования.

Исходные материалы. До начала строительных работ на участке строительства проведен весь необходимый комплекс инженерно-геологических изысканий, предусмотренный соответствующими норма-

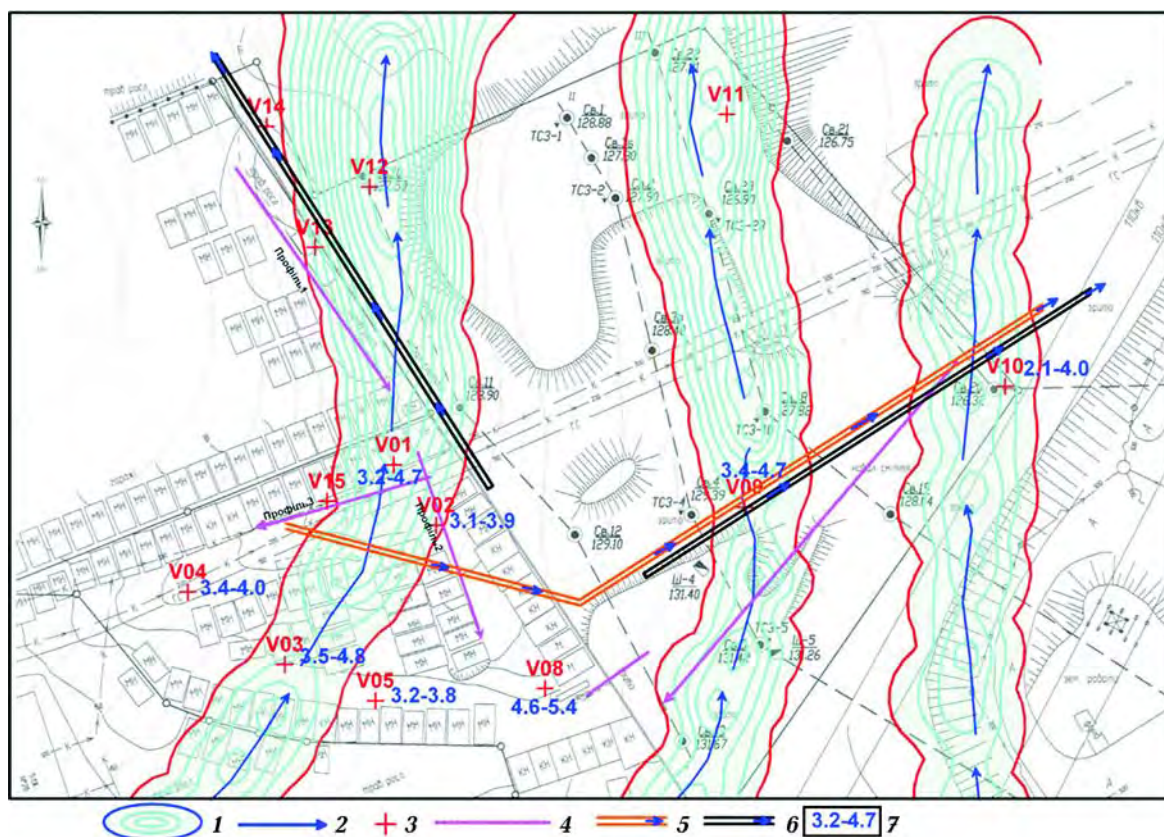


Рис. 4. Возможные варианты строительства дренажа для отвода грунтовых вод со строительной площадки: 1 — зоны увлажнения грунтов; 2 — направления миграции грунтовых вод; 3 — пункты ВЭРЗ; 4 — профили георадарного зондирования; 5 — вариант дренажной системы № 1; 6 — вариант дренажной системы № 2; 7 — глубины кровли и подошвы первого водоносного горизонта.

тивными документами. В процессе проведения изысканий на обследованной строительной площадке выполнены: а) рекогносцировочное обследование территории;

б) механическое ударно-канатное бурение скважин; в) отбор проб почв (нарушенной и ненарушенной структуры) и воды; г) статическое зондирование грунтов;

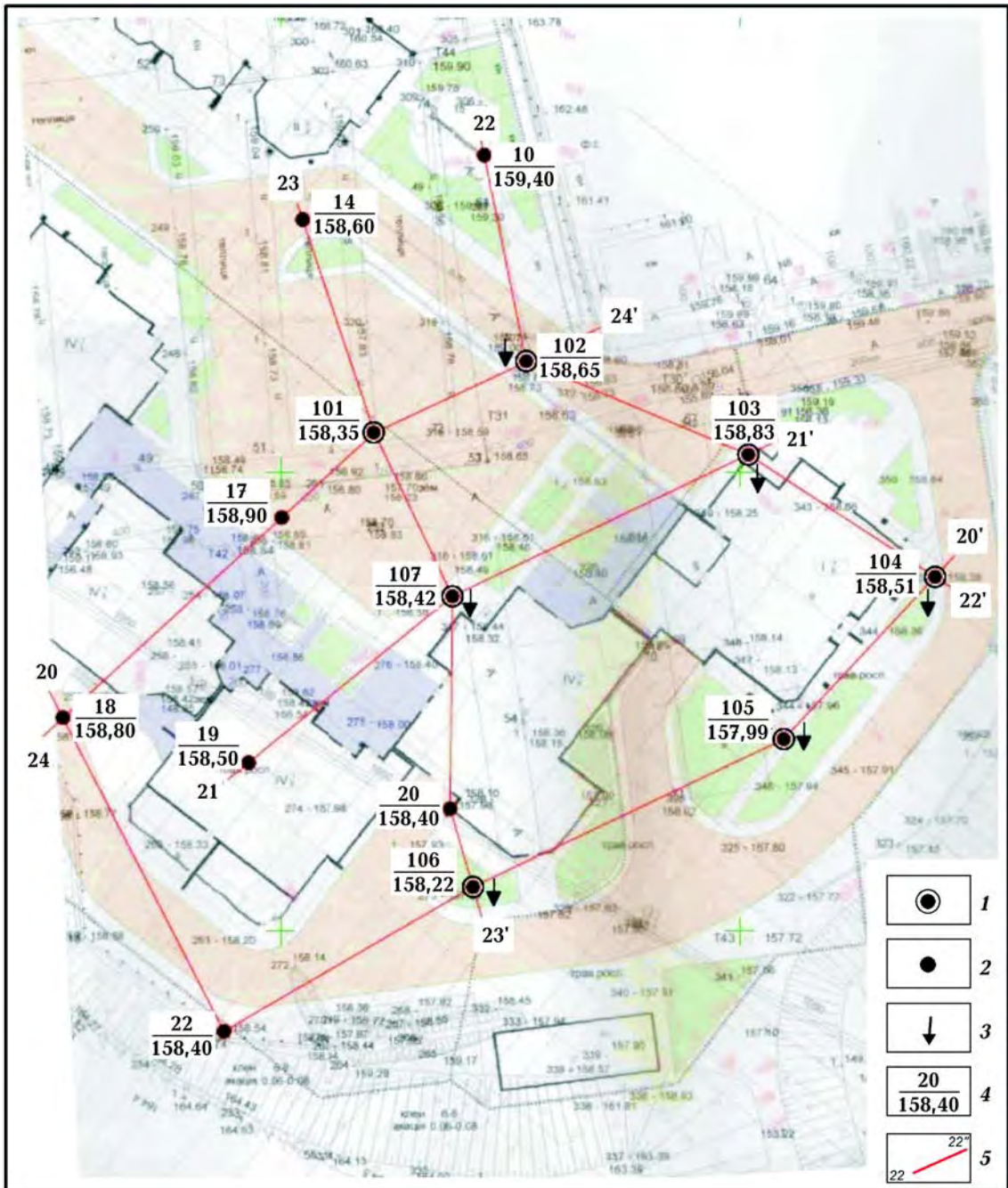


Рис. 5. Схема расположения инженерно-геологических скважин и пунктов статического зондирования грунтов (масштаб 1 : 500): 1 — инженерно-геологическая скважина; 2 — инженерно-геологическая скважина (материалы инженерно-геологических изысканий); 3 — точка статического зондирования грунтов; 4 — номер скважины (точки статического зондирования)/абсолютная отметка устья; 5 — линия инженерно-геологического разреза.

д) лабораторные испытания грунтов; е) стандартный химический анализ воды; з) камеральная обработка полевых и лабораторных данных и т. д. Расположение инженерно-геологических скважин и разрезов, а также пунктов статического зондирования грунтов показано на рис. 5. По материалам проведенных изысканий участок строительства характеризуется следующими особенностями.

В геоморфологическом отношении участок изысканий находится в пределах террасы склона плато к тальвегу одного из отрогов балки "Кучмин яр", начинающейся с перекрестка улиц Соломенской и Механизаторов. Рельеф участка проектного строительства характеризуется перепадом абсолютных отметок в пределах 157,50—169,30 м (в среднем, на большей части участка, изменяется в интервале 158,00—161,00 м).

Геологический разрез участка исследований на разведанную глубину до 35 м представлен четвертичными отложениями, залегающими на сильно размывтой поверхности толщи неогеновых "пестрых" глин, подстилаемых породами полтавской серии миоцена (по архивным данным в юго-западной части участка неогеновые глины и породы полтавской серии полностью размывты и замещены четвертичными отложениями). Нижняя часть геологического разреза представлена породами харьковской серии палеогена. С поверхности верхнечетвертичные отложения перекрыты мощным слоем насыпных грунтов.

В пределах разведанной глубины (35 м) гидрогеологические условия участка изысканий характеризуются наличием двух горизонтов подземных вод. Первый горизонт грунтовых вод приурочен к слоям четвертичных делювиальных отложений. Частичным водоупором является размывтая толща "пестрых" глин. Зеркало горизонта грунтовых вод повторяет рельеф кровли неогеновых глин, поэтому уровень грунтовых характеризуется значительными колебаниями. Установившийся уровень первого водоносного горизонта в пе-

риод изысканий зафиксирован на глубинах 1,6—8,5 м, что соответствует абсолютным отметкам 149,72—157,05 м. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. В связи с этим режим не постоянный, зависит от времени года и количества осадков. Кроме того, возможна техногенная составляющая подпитки водного горизонта в случае потери воды из водоносных коммуникаций. В периоды весеннего снеготаяния, обильных ливней или при значительных постоянных потерях техногенных вод уровень может быть выше на 0,5 м от уровня, зафиксированного во время изысканий.

Второй горизонт подземных вод приурочен к супесям и пескам полтавской серии миоцена и отложениям харьковской серии олигоцена. Водоупор на разведанную глубину не раскрыт. Региональным водоупором являются мергельные глины киевской свиты эоцена, залегающие на глубине примерно 45,0 м. Установившийся уровень второго водоносного горизонта в период изысканий зафиксирован на глубинах 12,1—13,4 м, что соответствует абсолютным отметкам 145,25—146,12 м. Режим водоносного горизонта относительно постоянен. Значительных колебаний уровня не прогнозируется. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных, талых вод и гидравлической связи с первым горизонтом грунтовых вод. Ниже по склону, в юго-западной части участка первый и второй горизонты соединяются из-за отсутствия слоя неогеновых глин. Разгрузка подземных вод происходит по тальвегу отрога балки "Кучмин яр", проходящему на юго-западе (вдоль ул. Механизаторов).

Результаты геофизических работ. По данным геоэлектрических исследований на участке строительства обнаружено и картировано пять зон повышенной фильтрации грунтовых вод, обусловленных подземными водными потоками (рис. 6, 7). Три первые фильтрационные зоны (потоки 1, 2, 3) связаны с миграцией подземных вод с северо-западной и северной сторон от участка строительства. Миг-

рация осуществляется в юго-восточном и южном направлениях. Потоки пересекают ул. Кубанская, направляются в зону строительства и в центральной части участка объединяются, формируя значительную зону увлажненных пород. Ширина потоков колеблется в интервале 5–8 м. Размеры зоны увлажнения 55 × 40 м². В этой зоне на период проведения работ был вырыт котлован, на дне которого наблюдались истоки подземной воды.

На участке обследования определены два подземных потока, которые отводят воду с обнаруженной зоны увлажнения в юго-восточном направлении, в сторону улиц Механизаторов и Кавказская. Отбор воды из котлована уменьшал естественный отток воды, но не уменьшал ее поступления в котлован. Наиболее значительный вклад в отвод воды с участка вносит поток "Исток-1". Ширина данного потока равна примерно 10 м. По зоне

данного потока мигрирует основная масса воды, которая попадает на участок с южного склона балки. Зона "Исток-2" частично отводит воду в сторону ул. Кавказская. В районе дома № 13 по этой улице сформировалась большая (крупная) зона увлажнения почвы (см. рис. 7). Зона формируется тремя подземными потоками. Данные потоки мигрируют с северной и северо-западной сторон.

На участке строительства обследование увлажненных зон проводилось методами георадарного зондирования и ВЭРЗ. Положение георадарных профилей и пунктов вертикального зондирования показано на рис. 6. По данным зондирования построены вертикальные разрезы вдоль трех профилей. Разрезы вдоль двух профилей приведены на рис. 8, 9. Данные определения глубин залегания увлажненных пород представлены также в табл. 2. Методом ВЭРЗ в вертикальном разрезе участ-

Т а б л и ц а 2. Глубины залегания увлажненных пород по данным зондирования ВЭРЗ

Точка	Поверхность, м	Первый горизонт		Второй горизонт	
		Кровля, м	Подошва, м	Кровля, м	Подошва, м
V00	172	6 (166)	8,8 (163,2)	19,7 (152,3)	21,7 (150,3)
V01	175,5	4,8 (170,7)	5,2 (170,3)	21,9 (153,6)	23,6 (151,9)
V02	168,98	—	—	19,5 (149,48)	22,5 (146,48)
V03	166	5,3 (160,7)	11,3 (154,7)	22,1 (143,9)	23,1 (142,9)
V04	163,17	5 (158,17)	5,4 (157,77)	19 (144,17)	21,8 (141,37)
V05	162,2	5,7 (156,5)	10,3 (151,9)	21,1 (141,1)	23 (139,2)
V06	160,5	—	—	15,3 (145,2)	18,3 (142,2)
V07	159,5	5 (154,5)	8,8 (150,7)	20,5 (139)	22,4 (137,1)
V08	159,2	6 (153,2)	6,9 (152,3)	19,2 (140)	20,7 (138,5)
V09	159	6 (153)	9 (150)	19,8 (139,2)	20,8 (138,2)
V10	159	5,7 (153,3)	6,4 (152,6)	19 (140)	20,8 (138,2)
V11	159	5,5 (153,5)	9,1 (149,9)	20 (139)	21 (138)
V12	159,1	6,2 (152,9)	6,7 (152,4)	20 (139,1)	21 (138,1)
V13	158,5	9 (149,5)	11 (147,5)	21 (137,5)	23 (135,5)
V14	158,2	6,1 (152,1)	6,7 (151,5)	20,3 (137,9)	22 (136,2)
V15	158	6 (152)	10,3 (147,7)	20 (138)	22 (136)

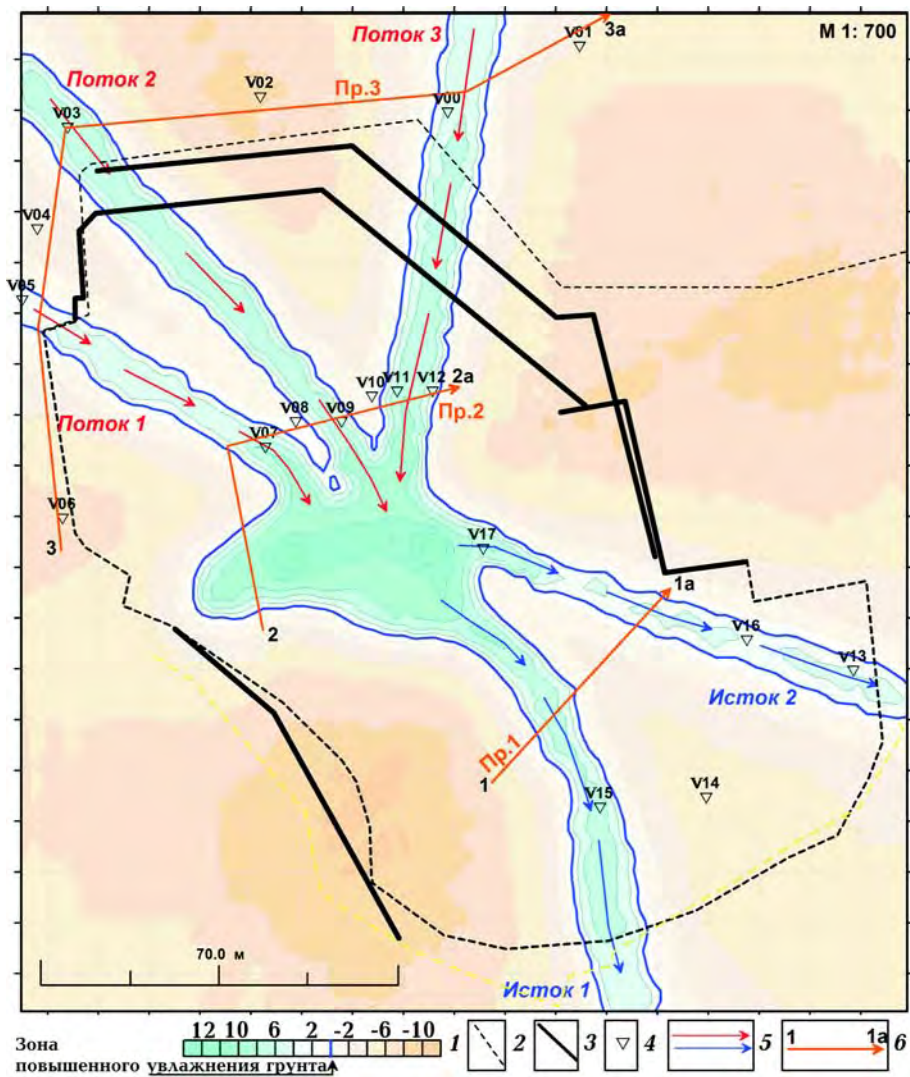


Рис. 6. Карта зон повышенной фильтрации грунтовых вод на участке строительства жилого комплекса по ул. В. Липковского 37г в Соломенском районе г. Киева (по данным геофизических исследований на период 20.02.2016 г.): 1 — условные единицы относительного увлажнения грунтов; 2 — стена в грунте; 3 — ограждение строительного участка; 4 — точки зондирования ВЭРЗ; 5 — направления фильтрации грунтовых вод; 6 — георадарные профили № 1—3.

ка выделено два водоносных горизонта (см. рис. 8, 9). Первый водный горизонт начинается с глубины около 6 м. Мощность горизонта неравномерна. На участке строительства в зонах фильтрационных потоков средняя мощность первого водного горизонта около 3,0 м. Абсолютные отметки кровли составляют 153—154 м, подошвы 150—151 м.

На части площади за пределами водных потоков первый водный горизонт отсутствует либо имеет небольшую мощность

до 0,5 м. Второй водный горизонт расположен на глубине 19—21 м. Средняя мощность второго горизонта около 2,0 м. Основные проблемы при строительстве обусловлены зонами повышенной фильтрации первого водного горизонта. С северной стороны участка строительства фильтрационные потоки прослежены на 50—60 м (см. рис. 7). Далее зоны увлажнения до ул. В. Липковского не регистрируются. Это дает основания предположить, что подземные потоки имеют техноген-



Рис. 7. Схема подземных водных потоков на плане участка строительства жилого комплекса по ул. В. Липковского 37г в Соломенском районе г. Киева: 1 — участки повышенного увлажнения грунтов; 2 — направления миграции грунтовых вод; 3 — места возможных утечек из подземных водных сетей.

ный характер происхождения и сформировались за счет утечек из подземных водных коммуникаций.

Оперативно проведенные исследования показали, что основной причиной увлажнения грунтов на площадке строитель-

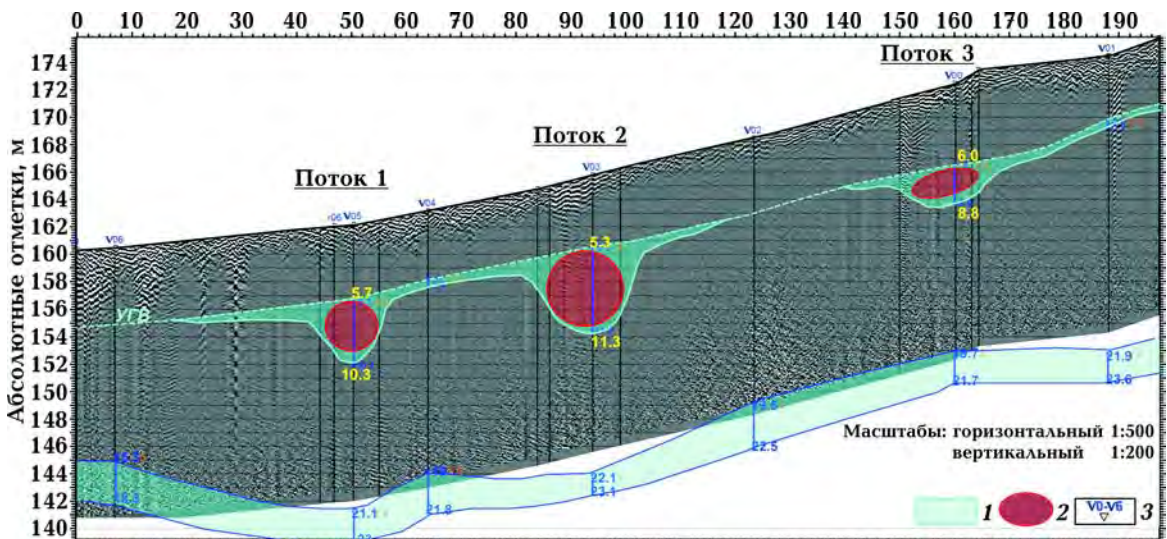


Рис. 8. Вертикальный разрез зоны увлажненных грунтов на строительном участке жилого комплекса по ул. В. Липковского 37г в Соломенском районе г. Киева. Профиль 3: 1 — зона повышенного увлажнения грунтов; 2 — зоны повышенной фильтрации грунтовых вод (техногенные водные потоки); 3 — точки вертикального зондирования.

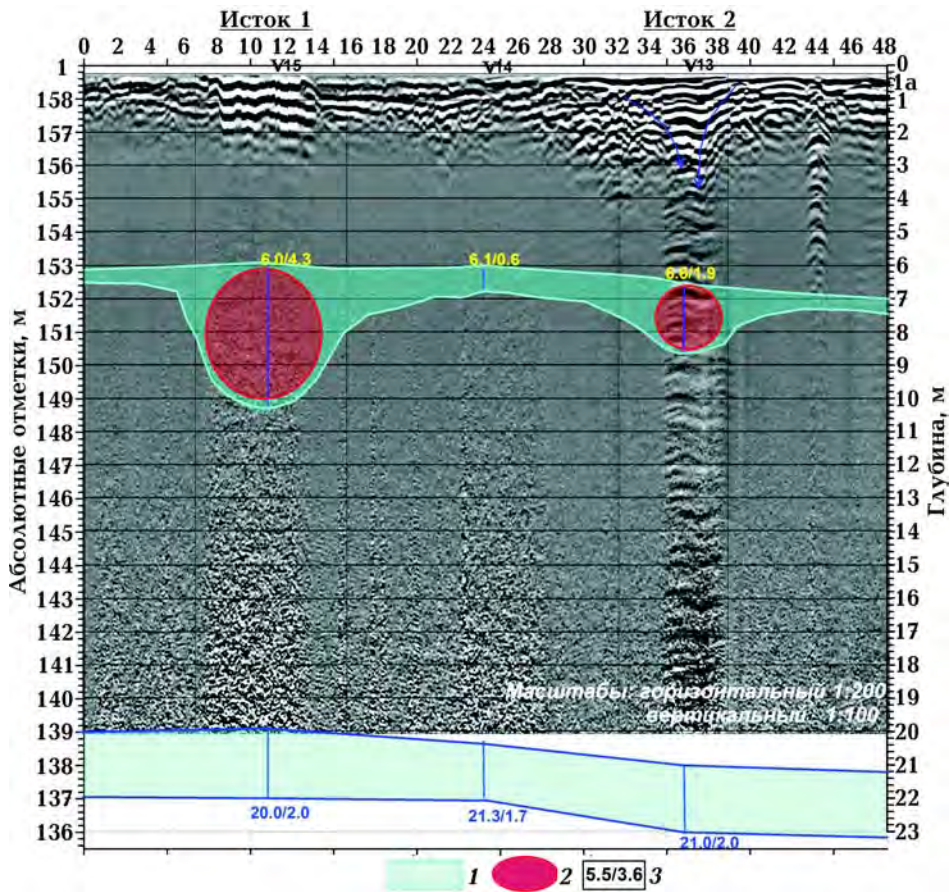


Рис. 9. Вертикальный разрез зоны увлажненных грунтов на строительном участке жилого комплекса по ул. В. Липковского 37г в Соломенском районе г. Киева. Профиль 1: 1 — зона повышенного увлажнения почв; 2 — зоны повышенной фильтрации грунтовых вод (техногенные водные потоки); 3 — 5,5/3,6 — глубина до водного горизонта/мощность.

ства жилого комплекса является наличие трех подземных водных потоков техногенного происхождения. Они формируются за счет утечек из водных коммуникаций севернее и северо-западнее от участка строительства. Миграция воды осуществляется вниз по склону балки в центральную часть строительной площадки, в результате чего происходит увлажнение грунтов в интервале глубин 6—9 м. В пределах подземных водных потоков вполне вероятно развитие суффозионных процессов, что может привести к проседанию почв. Для ликвидации опасных последствий увлажнения грунтов рекомендуется, по возможности, определить и ликвидировать утечки из подземных водных коммуникаций, расположенных в верхней ча-

сти балки. Однако ликвидация утечек не полностью решает проблему увлажнения грунтов. Если вдоль фильтрационных потоков сформировались суффозионные каналы, то они все время будут подпитываться ливневыми и тальными водами. Наиболее оптимальным решением проблемы является строительство дренажной системы, которая позволит отводить грунтовые воды и направлять их в ливневый коллектор, находящийся на территории строительства жилого комплекса.

Строительная площадка в Дарницком районе г. Киева. Участок строительства расположен по ул. Михаила Драгоманова. На территории участка строительства вырыт котлован общей площадью 3100 м². На дне котлована образовался водоем. От-

качка воды из водоема положительных результатов не дала, уровень воды в котловане быстро восстанавливался.

Основная задача выполненных исследований заключалась в оперативном обнаружении и картировании зон повышенного увлажнения грунтов, сформированных за счет подземных водных потоков. В процессе проведения работ осуществлялось также прослеживание путей миграции подземных водных потоков и выяснялись возможные причины (источники) их формирования.

Картирование зон подземных водных потоков. По результатам съемки методом СКИП на участке строительства определены три зоны подземных водных потоков, фильтрация воды из которых формирует водоем на дне строительного котлована. Условно, фильтрационные водные подземные потоки обозначены как № 1, 2, 3 (рис. 10). Обнаруженные потоки № 1 и 2 имеют природное происхождение и пересекают строительную площадку с севера на юг. Фильтрация подземной воды в этих зонах осуществляется в южном направлении.

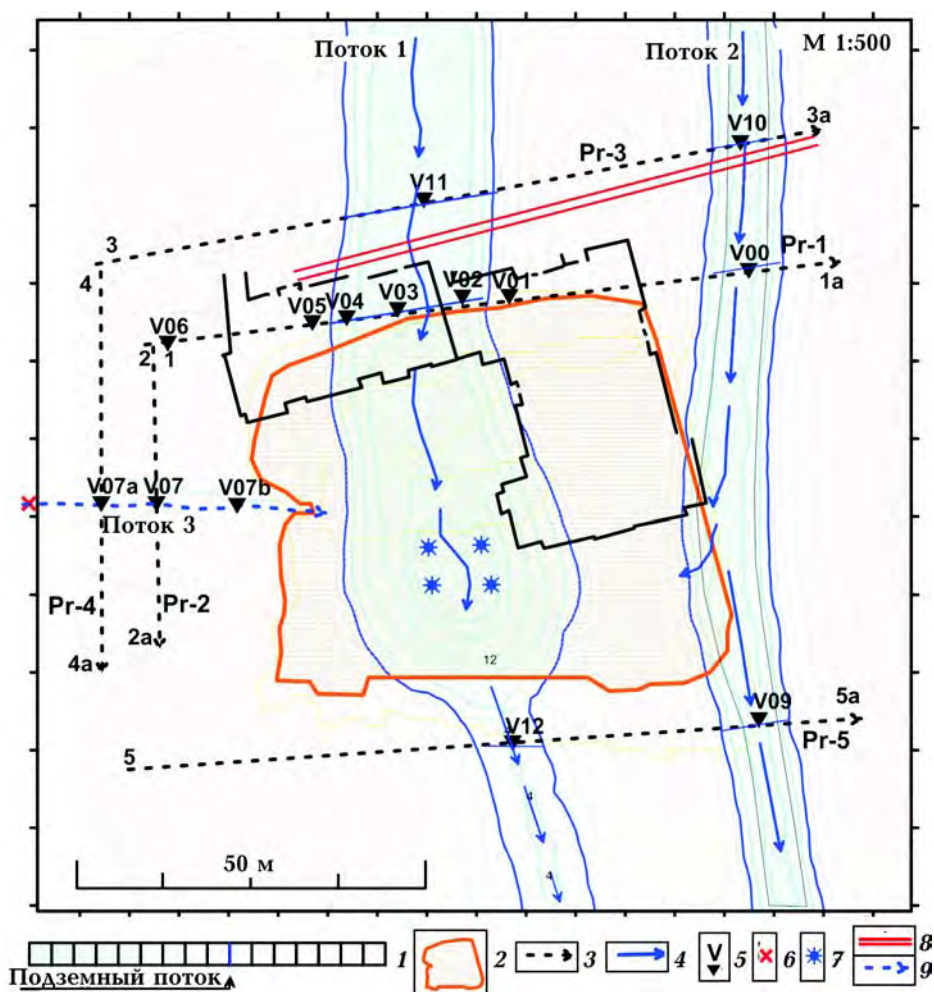


Рис. 10. Карта расположения зон повышенной фильтрации подземных вод на участке строительства жилых домов: 1 — зона подземного водного потока; 2 — зона котлована; 3 — профили георадарного зондирования; 4 — направление миграции подземных вод; 5 — пункты ВЭРЗ; 6 — место повреждения канализационной сети (расположено в 95 м к западу от котлована); 7 — зоны разгрузки подземных вод и образования наземного водоема; 8 — зона строительства дренажной системы для отвода грунтовых вод (рекомендация); 9 — направление миграции утечек воды из канализационной сети.

Поток № 1 полностью "втекает" в зону строительного котлована и является основным водным потоком, который наполняет водоем котлована. Ширина потока по данным съемки СКИП равна приблизительно 21,4 м. Поток почти полностью перехвачен котлованом. С южной стороны котлована определено небольшое продолжение потока № 1, но основная фильтрационная вода перехвачена выемкой грунта в котловане.

Поток № 2 имеет ширину 12,0 м и проходит по восточной стороне участка строительства (см. рис. 10). Он частично захватывает зону котлована и поставляет часть воды в водоем.

Фильтрационные зоны подземных водных потоков № 1 и 2 прослежены в южном направлении, а также на север на протяжении одного километра. Потоки имеют естественное происхождение. Фильтрационная вода мигрирует вдоль ослабленных тектонических зон, которые оперяют основной Днепровский разлом. В зоны потоков дополнительно собираются ливневые, талые воды и воды техногенных утечек из подземных водных сетей.

Поток № 3 определен в западной части участка строительства. Поток прослеживается в западном направлении на протяжении 95 м, где он берет начало в районе канализационной подземной сети. Данный поток имеет техногенное происхождение и сформировался в результате повреждения канализационной сети. Ширина потока от 1,0 до 1,5 м. Данный поток сформировал суффозионный канал вдоль трассы миграции, но он не создает больших зон увлажнения почв. Поток № 3 дает незначительный вклад в формирование водоема в строительном котловане.

Вертикальное зондирование зон подземных водных потоков. Вертикальное зондирование выполнялось с целью определения интервалов глубин зон фильтрационных подземных потоков, которые подают воду в водоем строительного котлована. Зондирования выполнялось методами ВЭРЗ и георадарного просвечивания. По данным зондирования в верхней

части разреза до глубины 50 м определены три водоносных горизонта. Результаты зондирования методом ВЭРЗ в пункте V00 показаны на рис. 11.

Первый верхний горизонт начинается с глубины уровня грунтовых вод. На участке строительства с альтитудой поверхности 98,8 м глубина 5,5 м (alt 93,3 м) (по состоянию на 07.07.2017 г.). Мощность горизонта колеблется от 0,5 м в зонах за пределами потоков и до 3,5 м в зонах фильтрационных потоков (см. рис. 11).

Второй горизонт определен на глубине 20,4 м (alt 78,4 м), его мощность 1 м (см. рис. 11).

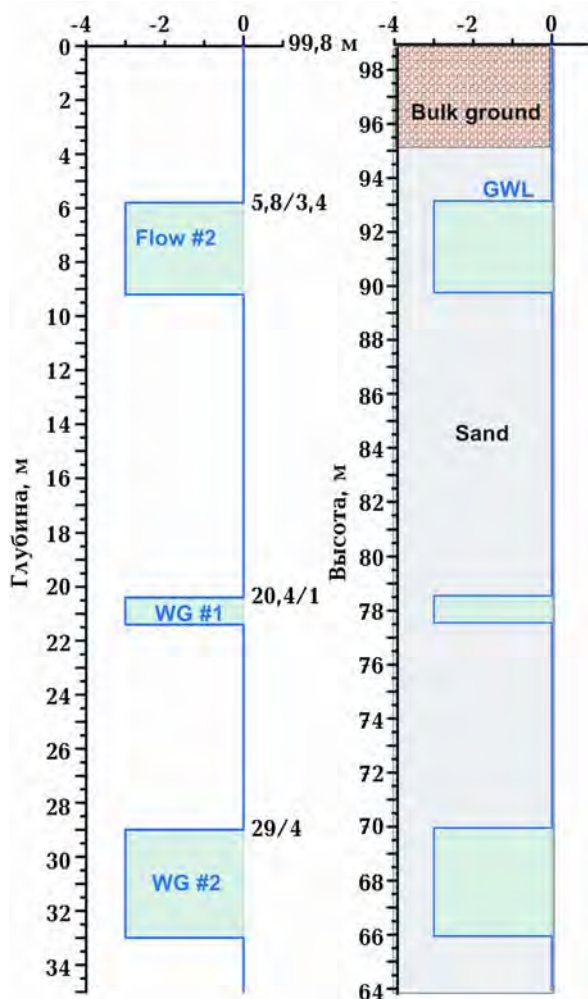


Рис. 11 Результаты вертикального зондирования зоны увлажнения грунтов на участке строительства жилого комплекса. Пункт V00: GWL — уровень грунтовых вод; Flow # 2 — номер водного потока; WG # 1 — номер водного горизонта.

Третий горизонт выделен на глубине 29,0 м (alt 68,4 м). Мощность горизонта 4 м (см. рис. 11).

Детальное исследование на участке строительства проведено для первого водоносного горизонта, который является основным поставщиком воды в водоем котлована.

По состоянию на 07.07.2017 г. интервал глубин расположения фильтрационного потока зафиксирован на отметках 93,3—89,8 м (глубины 5,5—9,0 м). На рис. 12 приведен вертикальный разрез фильтрационных потоков по профилю № 1, который проходит с северной стороны строительной площадки. Площадь вертикального разреза на участке этого потока равна $S = 35,5 \text{ м}^2$. Объем воды, который втекает в котлован за 1 ч, можно рассчитать по формуле $Q = Pr \times V \times S$ ($\text{м}^3/\text{ч}$), где Pr — коэффициент пористости пород (%); V — скорость фильтрации ($\text{м}/\text{ч}$); S — площадь вертикального разреза зоны фильтрации. Коэффициент пористости для мелкозернистого песка равен $Pr = 0,5\%$. Скорость фильтрации "V" — величина непостоянная и может варьировать в зависимости от погодных условий, а также от степени

понижения уровня воды за счет ее откачки. Для данного участка скорость фильтрации может колебаться от 0,5 до 2 $\text{м}/\text{ч}$. При скорости миграции $V = 1 \text{ м}/\text{ч}$ для данного потока $Q = 17,8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С южной стороны котлована поток фиксируется в виде небольшой зоны увлажнения почв в интервале глубин $H = 8,0 \div 9,1 \text{ м}$. Площадь вертикального разреза потока $S = 7,4 \text{ м}^2$. $Q = 3,7 \text{ м}^3/\text{ч}$. На рис. 13 приведен вертикальный разрез фильтрационных потоков по профилю № 5, который проходит с южной стороны строительной площадки. Таким образом, перехват 80 % водного подземного потока № 1 осуществляется в строительном котловане, где и формируется искусственный водоем.

Небольшой поток № 3 (техногенный) сформировался за счет утечек воды из канализационной сети. В районе строительного участка поток фиксируется на глубине 5,5—7,3 м (alt 93,3—91,5 м). Вдоль направления миграции сформировалась суффозионная зона, в пределах которой скорость миграции воды увеличивается. Площадь вертикального разреза потока $S = 2,0 \text{ м}^2$. При $Pr = 0,6\%$ скорость $V = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q = 1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$. Таким образом, ориентиро-

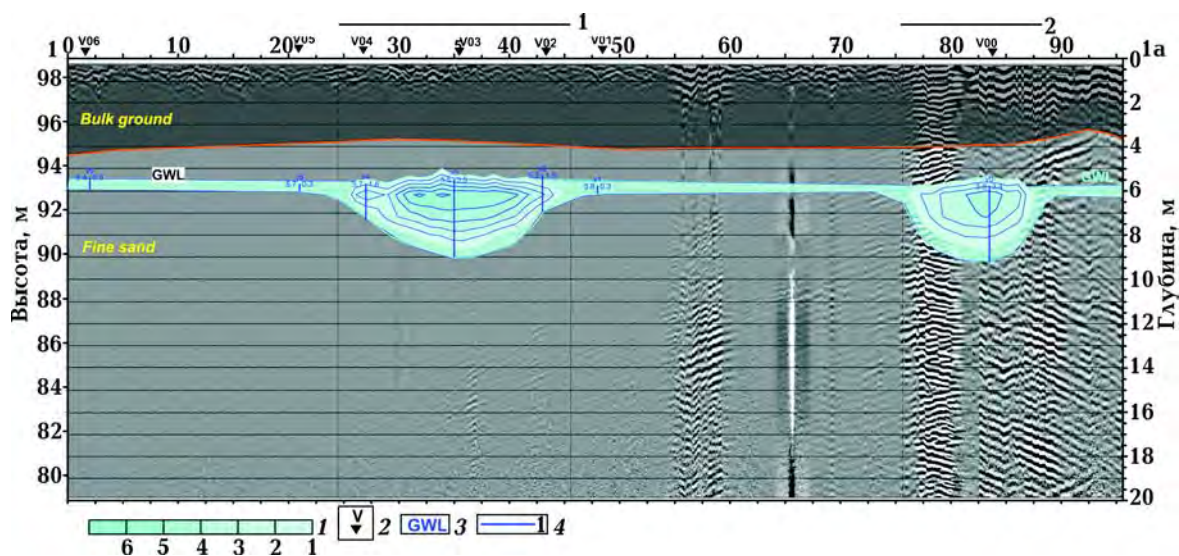


Рис. 12. Вертикальный разрез зоны увлажнения почв по геофизическим данным (по результатам георадарного и вертикального электрорезонансного зондирования). Профиль 1: 1 — шкала относительного увлажнения почв; 2 — пункты ВЭРЗ; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — зона подземного водного потока и ее номер.

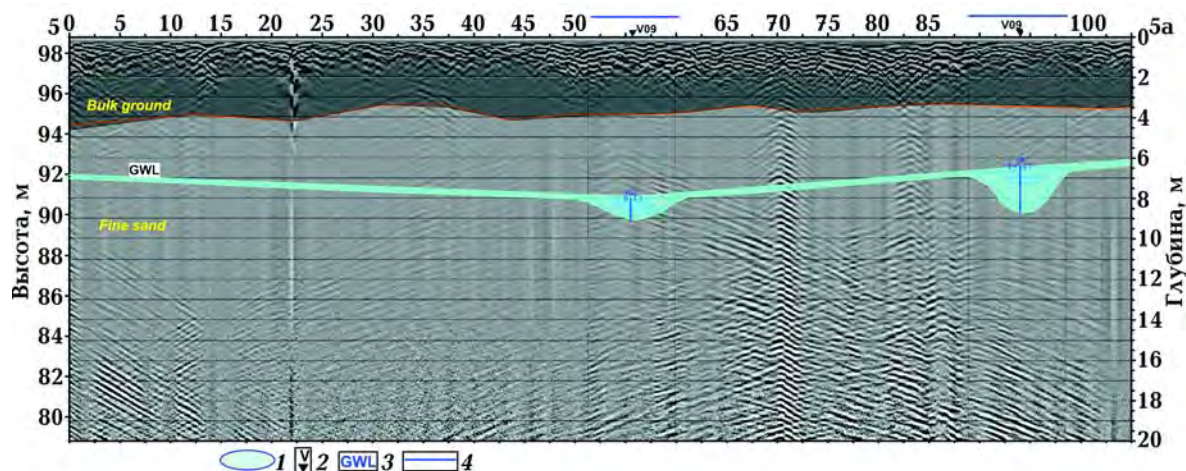


Рис. 13. Вертикальный разрез зоны увлажнения почв по геофизическим данным (по результатам ВЭРЗ и георадарного зондирования). Профиль 5: 1 — зоны увлажнения почв; 2 — пункты ВЭРЗ; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — зона подземного водного потока.

вочно при скорости миграции $V = 1$ м/ч общий объем воды, которая попадает в котлован, равен $Q = (17,8 + 9,4 + 1,2) - (3,7 + 5,6) = 28,4 - 9,3 = 19,1$ м³/ч. Общий объем воды может изменяться во времени и также зависит от климатических условий.

В табл. 3, 4 приведены данные расчетов ориентировочного объема воды, поступающей в водоем из подземных водных потоков.

Основной причиной формирования водоема в строительном котловане является

Т а б л и ц а 3. Параметры зон подземных водных потоков до истоков из котлована

Поток	Ширина, м	Глубина, м	Альtitуда, м	Мощность, м	Площадь разреза, кв. м	Коэффициент фильтрации (пористость)	Объем воды, м ³ /ч
№ 1	21,4	5,5—9,0	93,3—89,8	3,6	35,5	1 м/ч (0,5%)	17,8
№ 2	12,0	5,8—9,2	9,3—89,6	3,4	18,7	1 м/ч (0,5%)	9,4
№ 3	1,2	5,5—7,3	93,3—91,5	1,8	2,0	1 м/ч (0,6%)	1,2

Т а б л и ц а 4. Параметры зон подземных водных потоков после частичной разгрузки в водоем котлована

Поток	Ширина, м	Глубина, м	Альtitуда, м	Мощность, м	Площадь разреза, кв. м	Коэффициент фильтрации	Объем воды за час
№ 1	7,8	8,0—9,1	90,8—89,7	1,1	7,4	1 м/ч (0,5%)	3,7
№ 2	8,0	6,4—8,7	92,4—90,1	2,3	11,5	1 м/ч (0,5%)	5,6

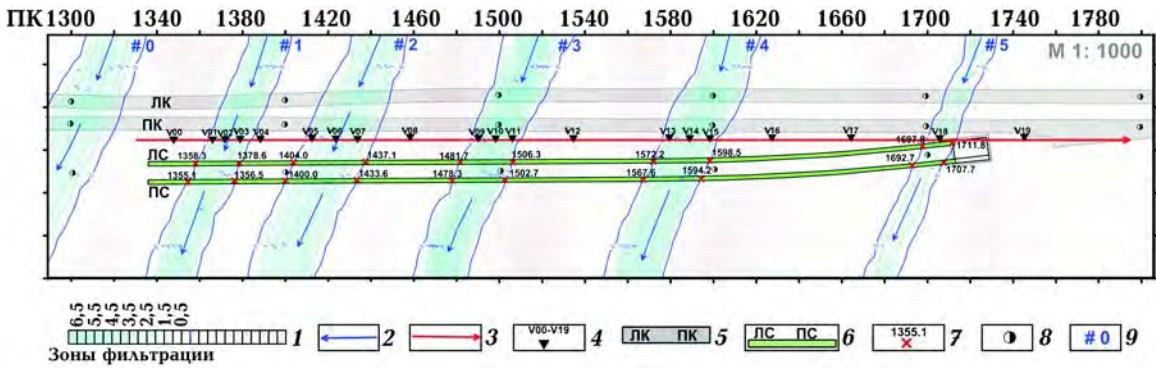


Рис. 14. Карта суммарной мощности зон повышенной фильтрации грунтовых вод на участке строительства ограждающей конструкции углубленных сооружений: 1 — шкала вертикальной мощности подземных водных потоков (метры); 2 — направление фильтрации подземного водного потока; 3 — профиль георадарного зондирования; 4 — пункты ВЭРЗ; 5 — зона подземного тоннеля метро (ЛК — левая колея, ПК — правая); 6 — зона подземного сооружения (ЛС — левое, ПС — правое); 7 — границы потоков на профиле зондирования и их положение в системе координат пикетов; 8 — пикеты; 9 — номер потока. Масштаб горизонтальный — 1 : 500, вертикальный — 1 : 200.

ся наличие трех подземных водных потоков, пересекающих участок строительства. Водоем формируется за счет утечек воды из этих потоков. Первые два потока имеют природное происхождение и аккумулируют инфильтрационные воды и воды техногенных утечек из подземных водных сетей. Зоны потоков сформированы вдоль небольших тектонических нарушений и прослеживаются на большом расстоянии от участка строительства. Миг-

рация воды в пределах выявленных зон повышенного увлажнения почв осуществляется с севера на юг. Первый поток полностью перекрыт выемкой грунта строительного котлована, поток № 2 перекрыт частично с восточной стороны. Поток № 1 является основным поставщиком воды в водоем котлована. Поток № 3 образован за счет утечки воды из канализационной сети, расположенной на расстоянии 95 м от котлована с западной стороны.

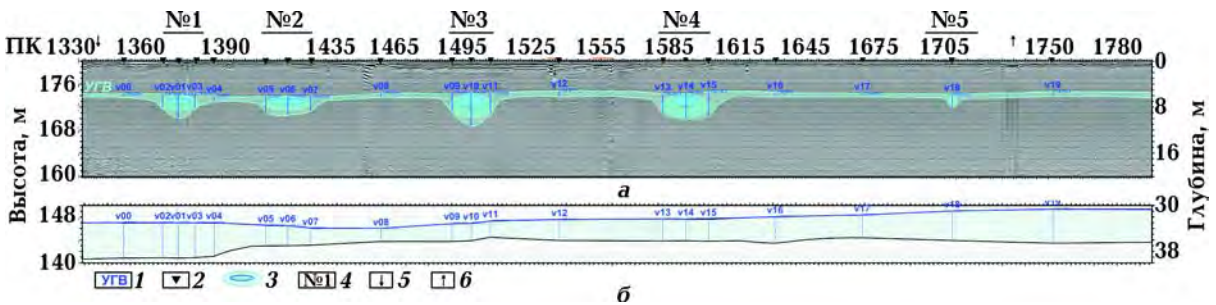


Рис. 15. Вертикальный разрез зон повышенного увлажнения почв на участке строительства, ограждающей конструкции заглубленных сооружений (по геофизическим данным на 27—30 июля 2017 г.): а — вертикальный разрез зон повышенной фильтрации грунтовых вод в верхней части строительства ограждающих конструкций; б — вертикальный разрез зоны увлажнения песков полтавской свиты (нижний водяной горизонт): 1 — уровень грунтовых вод по состоянию на 28.07.2017; 2 — пункты ВЭРЗ (V00—V19); 3 — зоны повышенной фильтрации грунтовых вод ("подземные водяные потоки"); 4 — номер водного потока; 5 — начало зоны закрепления; 6 — угол забора.

По результатам работ определены основные параметры подземных водных потоков. Установлены интервалы глубин зоны фильтрации, примерно определен объем воды, поступающей в котлован с каждого подземного потока. Для ликвидации водоема в котловане можно рекомендовать устройство дренажной системы с северной стороны строительной площадки. Техногенный поток № 3 ликвидируется при ремонте канализационной сети.

Площадка перспективного строительства в Голосеевском районе г. Киева. Геофизические исследования на участке перспективного строительства ограждающей конструкции углубленных сооружений проведены в июле 2017 г. Участок расположен по просп. Академика Глушкова, 9. На участке планируется строительство (реконструкция) спортивно-развлекательно-торгового комплекса. Участок примыкает к линии метрополитена в районе станции "Ипподром" и простирается в направлении станции "Теремки". Пикеты тоннелей метро: ПК 13 + 00—ПК 18 + 00. Предварительно, в интервале пикетов ПК 13 + 35—ПК 17 + 60 участок строительства от линии метрополитена ограждается углубленными конструкциями (стена в грунте) (рис. 14). Планируется строить две ограждающие конструкции, между которыми в дальнейшем намечается строительство подземного тоннеля. Условно подземные ограждающие конструкции обозначены: №1 — "Левое подземное сооружение" (ЛС), №2 — "Правое подземное сооружение" (ПС). Задача геофизических работ на данном участке заключалась в выявлении и исследовании путей миграции подземных водных потоков, которые могут быть частично перекрыты углубленной конструкцией и обусловить "барражный эффект".

Картинирование зон подземных водных потоков. По результатам съемки СКИП на участке строительства выявлено шесть зон подземных водных потоков, пять из которых пересекают зону будущего строительства стены в грунте. Условно эти зоны обозначены: зона (поток) № 1 — № 5

(см. рис. 14). Нумерация зон идет в сторону станции метро "Ипподром". Подземные потоки являются зонами повышенной фильтрации грунтовых вод, образующихся за счет дождевых, талых вод и утечек из подземных водных сетей. Все потоки имеют направление с ул. Академика Глушкова и пересекают зону будущего строительства ограждающей конструкции под углом 67° . При строительстве цельной стены в грунте есть вероятность увеличения зон увлажнения почв над тоннелями метро и под автострадой по ул. Академика Глушкова. Во избежание "барражного эффекта" при строительстве стены в грунте необходимо устройство "фильтрационных окон".

Результаты вертикального зондирования. Вертикальное зондирование проведено по профилю вдоль правой стороны правого тоннеля метро в интервале пикетов ПК13 + 30—ПК17 + 95. Зондирования по профилю проводилось георадарной станцией. В отдельных точках в районе подземных потоков проводилось ВЭРЗ. Данные зондирования приведены в виде вертикального разреза зоны увлажнения почв на рис. 15.

По данным зондирования установлено два водоносных горизонта. Верхний горизонт расположен в интервале глубин 5,1—11,2 м. В пределах этого горизонта образовались зоны повышенной фильтрации грунтовых вод, мощность которых находится в пределах от 2,2 до 5,7 м. Нижний водный горизонт располагается на глубине 31—39 м в песках "полтавской" свиты. В табл. 5 приведены данные ВЭРЗ в точках V00—V19 для верхнего и нижнего водоносных горизонтов.

По результатам геофизических работ на участке строительства ограждающих углубленных сооружений в верхней части разреза обнаружено пять зон повышенной фильтрации грунтовых вод. В пределах данных зон сформировались подземные водные потоки, пересекающие участок строительства углубленных сооружений. Обнаружены интервалы и установлены глубины зон фильтрационных пото-

ков. При проведении строительства углубленных сооружений, в подземной части сооружений необходимо предусмотреть обустройство "фильтрационных окон", для того чтобы избежать возможное образование "барражного эффекта" — подъем уровней грунтовых вод перед преградой по потоку и снижением за ней вследствие перекрытия фильтрационного потока подземных вод.

Обсуждение результатов. В самом начале отметим, что строительство жилых комплексов на трех обследованных в 2010, 2016

и 2017 гг. площадках проводила одна и та же строительная компания. Вполне понятно в этой ситуации, что результаты первых работ в 2010 г. полностью удовлетворили специалистов компании. Поэтому в 2016 и 2017 гг. исполнителям исследований было предложено оперативно провести аналогичные работы на других проблемных участках строительства. Это обстоятельство можно считать "признанием" потенциальными пользователями работоспособности и эффективности мобильных методов СКИП и ВЭРЗ при решении за-

Т а б л и ц а 5. Результаты зондирования ВЭРЗ в точках V00—V19 для верхнего и нижнего водоносных горизонтов

Номер	Верхний водоносный горизонт			Нижний водоносный горизонт		
	Интервал глубин, м	Альtitуда кровли, м	Мощность, м	Интервал глубин, м	Альtitуда кровли, м	Мощность, м
V00	5,7—6,1	174,3	0,4	33—39	147,0	6,0
V01	5,7—10,0	174,3	4,3	33—39	147,0	6,0
V02	5,7—8,0	174,3	2,3	33—39	147,0	6,0
V03	5,6—8,1	174,4	2,5	33—39	147,0	6,0
V04	6,0—6,8	174,0	0,8	33—39	147,0	6,0
V05	6,1—9,1	173,9	3,0	33,5—37,0	146,5	3,5
V06	6,1—9,3	173,9	3,2	33,5—37,0	146,5	3,5
V07	6,2—8,6	173,8	2,4	34—36,9	146,0	2,9
V08	5,5—6,3	174,5	0,8	34,1—36,0	145,9	1,9
V09	5,5—8,7	174,5	3,2	34—37	146,0	3,0
V10	5,5—11,2	174,5	5,7	33,1—36,1	146,9	3,0
V11	5,5—9,1	174,5	3,6	32,7—35,4	147,3	2,7
V12	5,1—6,2	174,9	1,1	32,5—35,9	147,5	3,4
V13	5,7—9,0	174,3	3,3	32,4—36,0	147,6	3,6
V14	5,5—10,0	174,5	4,5	32,4—36,0	147,6	3,6
V15	5,3—9,6	174,7	4,3	32,4—36,0	147,6	3,6
V16	5,4—6,0	174,6	0,6	32,0—36,6	148,0	4,6
V17	5,6—6,0	174,4	0,4	31,7—35,4	148,3	3,7
V18	5,8—8,0	174,2	2,2	31,0—36,0	149,0	5,0
V19	5,3—5,9	174,7	0,6	30,6—36,5	149,4	5,9

дач оперативного обнаружения увлажненных участков и подземных водных потоков естественного и техногенного происхождения.

Обратим также внимание на то, что четвертый участок обследования расположен возле ветки метрополитена приповерхностного залегания. В связи с этим напомним, что с использованием технологии СКИП—ВЭРЗ на различных участках метрополитена приповерхностного залегания в Киеве выполнен значительный объем инженерно-геологических исследований. В статье [Левашов и др., 2009а] описаны результаты детальных исследований на участке строительства станций метро "Демиевская", "Голосеевская" и "Васильковская", а также вкратце охарактеризованы материалы работ на других участках метрополитена в Киеве. Представленные материалы полевых работ свидетельствуют о том, что задачи обнаружения и картирования подземных водных потоков на участках строительства в различных районах Киева решены оперативно, эффективно и в полном объеме. Анализируя приведенные конкретные результаты, а также многочисленные материалы практического применения мобильных методов СКИП и ВЭРЗ при решении других задач приповерхностной геофизики, акцентируем внимание на следующие принципиальные моменты.

1. Как уже отмечалось, на площадках строительства жилых комплексов в полном объеме выполнены инженерно-геологические изыскания в соответствии с существующими на данный момент строительными нормами и требованиями, которые зафиксированы в соответствующих нормативных документах. О детальности выполненных работ свидетельствуют представленный на рис. 1 инженерно-геологический разрез вдоль одного из профилей, а также схема расположения инженерно-геологических скважин и пунктов статического зондирования грунтов (см. рис. 5). Следует акцентировать особое внимание на то обстоятельство, что в пределах участков выполнен значительный объ-

ем буровых работ. Бурением также выявлены и установлены водонасыщенные горизонты (на рис. 1 водонасыщенные интервалы в скважинах обозначены темным цветом). Однако водные потоки (и, в частности, их площадное положение, направление фильтрации, мощности потоков) в результате выполнения традиционного комплекса инженерно-геологических работ выявлены не были. Но именно подземные потоки являются основной разрушающей силой, недоучет которой уже привел к существенным проблемам на начальных этапах строительства жилых комплексов. К еще большим проблемам эти потоки могут привести в дальнейшем, если не выполнить необходимых технических мероприятий по их перехвату и отводу (нейтрализации).

2. В принципе, в какой-то степени проблему выявления и установления параметров подземных водных потоков 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) в настоящее время также и традиционными (классическими) геофизическими методами, электрическими и электромагнитными в частности. Однако решаются они в этих случаях опосредовано. В электрических (электромагнитных) методах, например, это осуществляется 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 зависит от объ-

ема и схемы геоэлектрических измерений, проводить которые в условиях городской застройки и интенсивных помех очень сложно. 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, существенно снижает эффективность классических геоэлектрических (геофизических) методов при решении задач обнаружения и картирования подземных водных потоков.

4. Приведенные результаты, а также материалы исследований на других объектах [Vokovoy et al., 2003; Levashov et al., 2004a, 2005a, 2006, 2009, 2010, 2011; Yakumchuk et al., 2012], свидетельствуют о том, что проблема обнаружения и картирования подземных водных потоков и водоносных горизонтов решается мобильными геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ эффективно, оперативно и в достаточном для принятия конкретных инженерных решений объеме. Многолетний положительный опыт применения этих методов для решения широкого класса поисковых геофизических, инженерно-геологических, гидрогеологических задач позволяет авторам методов и исследований сделать определенные обобщающие выводы об этих методах, а также более рельефно (обоснованно) охарактеризовать их отличительные черты от классических геоэлектрических (а также других геофизических) методов.

А. Результатами применения классических геофизических методов являются схемы, модели, разрезы распределения различных физических свойств горных пород — скорости, плотности, магнитной восприимчивости (интенсивности намагничивания), сопротивления (проводимости) и т. д. Такие модели (распределения) обычно строятся по результатам решения обратных задач геофизики или же компьютерного моделирования в режиме решения прямых задач

(ручного подбора). В результате последующей геологической интерпретации полученных распределений физических свойств разрез изучаемых объектов и площадей наполняется соответствующими структурными элементами и горными породами, с которыми могут быть связаны определенные типы рудных и горючих полезных ископаемых, водоносные коллекторы, подземные водные потоки и т. д.

Б. В мобильных геоэлектрических методах СКИП и ВЭРЗ акцент делается не на измерение соответствующих компонент геоэлектрических (электромагнитных) полей и определение по измеренным значениям физических свойств разреза (сопротивления, проводимости), а на выделение и картирование аномалий типа "залежь" (АТЗ) и аномально поляризованных пластов (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 т. д. 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 т. д. Глубины залегания и мощности аномально поляризованных пластов определяются при этом с достаточно высокой точностью.

В. В процессе выполнения съемки методом СКИП в каждой точке регистрации оператор мгновенно получает информацию, находится ли он в пределах АТЗ или нет. Это позволяет оперативно оптимизировать проведение измерений, с одной стороны, а также эффективно и в полном объеме оконтурить аномалии типа "залежь", с другой. Более того, выделение АТЗ непосредственно в поле, в процессе проведения съемки СКИП предоставляет возможность для оптималь-

ного размещения пунктов зондирования методом ВЭРЗ в дальнейшем, на следующем этапе полевых работ. Еще одним важным преимуществом технологии СКИП—ВЭРЗ является то обстоятельство, что зондированием ВЭРЗ глубины залегания и мощности АПП конкретного типа также определяются в процессе измерений, непосредственно в поле. В принципе, 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 применяются традиционно используемые алгоритмы, методы и компьютерные технологии решения прямых и обратных задач геоэлектрики (геофизики). Основным вкладом 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 принципе, в перспективе возможности этих методов при решении практических геолого-геофизических задач могут быть расширены за счет включения в графы проведения исследований этими методами интерпретационных этапов решения прямых и обратных задач геоэлектрики.

Д. Все отмеченные 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 позволяет авторам вполне обоснованно

утверждать об их существенном вкладе в становление новой парадигмы геофизических исследований, в рамках которой эти методы и позволяют оперативно и эффективно решать разнообразные практические задачи поискового, изыскательского и экологического характера [Левашов и др., 2012]. Характеристическая особенность геофизических исследований в рамках этой парадигмы — это “прямые” поиски конкретного физического вещества: газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золото, платина, серебро, цинк, уран, алмазы, кимберлиты и т. д.). Начальным этапом в становлении этой 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 было введено известное и широко используемое в настоящее время (в том числе и авторами статьи) выражение — аномалия типа “залежь”.

В целом, учитывая многолетнее успешное применение мобильного геофизического комплекса геоэлектрических, сейсмоакустического и георадарного методов на площадках строительства, участках метрополитена приповерхностного залегания и других проблемных городских объектах, а также принимая во внимание название монографии “Геофизика для города” [Слепак, 2007], можно вполне обоснованно считать этот многократно апробированный комплекс методов и “экспресс-технологией для города” в том числе. А если учесть возможность оперативного применения этого комплекса (и его отдельных компонент) для мониторинга аварийной ситуации на месторождении углеводородов [Levashov et al., 2017a] и изучения инженерно-геологических условий на разрушенных ливневыми дождями участках дорог и мостов [Levashov et al., 2009], то его можно также классифицировать как “геофизическую технологию для чрезвычайных (аварийных) ситуаций”. Именно мобильность и оперативность используемых методов, а также

возможность проведения полевых работ и получения конкретных практических результатов в экстремальных ситуациях сделали эту технологию востребованной при изучении причин и следствий опасных природных явлений геологического характера, обусловленных природными и техногенными процессами.

С 2010 г. началась активная и целенаправленная апробация мобильного метода частотно-резонансной обработки и интерпретации (декодирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (спутниковых снимков) [Левашов и др., 2010, 2011, 2012; Levashov et al., 2017a, b]. Этот метод также "работает" на принципах "вещественной парадигмы" геофизических исследований и ориентирован на обнаружение и картирование по спутниковым данным аномалий типа "залежь нефти", "залежь газа", "водоносный горизонт", "зона золоторудной минерализации" и т. д. Совместное использование метода обработки и интерпретации данных ДЗЗ и технологии СКИП—ВЭРЗ на различных этапах геолого-геофизических исследований позволяет существенно оптимизировать и ускорить поисковые и изыскательские этапы геофизических работ. Методика применения этих методов (в том числе и совместного), а также некоторые полученные результаты представлены в работах [Levashov et al., 2017a, b].

Акцентируем внимание на принципиально важное обстоятельство — технологию частотно-резонансной обработки спутниковых снимков можно считать супероперативной. С ее использованием обработка спутниковых снимков (в том числе, и заимствованных из источников (сайтов) свободного доступа) производится оперативно в лаборатории, без организации и проведения полевых работ. Это позволяет авторам оперативно проводить оценку перспектив нефтегазоносности (рудоносности) крупных поисковых блоков и локальных участков в различных регионах земного шара. Обнаруженные при этом перспективные локальные участки на за-

ключительном этапе применения мобильных методов могут быть детализированы и заверены наземными геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ.

Технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ, а также мобильные геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ на протяжении многих лет активно применяются для поисков промышленных скоплений углеводородов (нефти, газа, газоконденсата, газогидратов) в коллекторах традиционного и нетрадиционного типов на суше и в морских акваториях.

Авторы надеются, что демонстрация в настоящей статье работоспособности и эффективности мобильных геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ на примерах успешного решения разнообразных задач приповерхностной геофизики может содействовать повышению "доверия" к этим методам научных сотрудников и специалистов геолого-геофизических компаний, которые занимаются проблемами поисков и разведки скоплений углеводородов. Более активное и целенаправленное использование этих мобильных методов "прямых" поисков скоплений углеводородов в комплексе с традиционными геофизическими методами (в первую очередь сейсмическим) будет способствовать ускорению и оптимизации геологоразведочного процесса на нефть и газ.

Выводы. Представленные в статье конкретные материалы исследований изыскательского характера еще раз достаточно аргументировано и наглядно демонстрируют разрушающее воздействие подземных водных потоков на различные объекты (в том числе, и 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 во многих случаях приводит к колоссальным временным и материальным (финансовым) затратам.

Кроме того, результаты оперативных геофизических исследований, проведенных с использованием мобильных геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля, а также вертикального электрорезонансного и георадарного зондирования, свидетельствуют об эффективности этого оперативного геофизического комплекса в решении задач обнаружения и картирования подземных водных потоков. Практическое применение этой технологии при проведении инженерно-геологических исследований под строительство крупных инженерных объектов может принести существенный экономический эффект за счет значительного сокращения длительности изыскательских работ и существенного уменьшения объемов бурения.

Представленные результаты и ранее проведенные работы на различных строительных площадках показывают, что этот мобильный 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 мощно-

сти 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. Входящие в этот комплекс отдельные методы, а также весь комплекс в целом могут применяться 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 мобильных геоэлектрических методов СКИИ и ВЭРЗ для решения разнообразных практических задач позволяет констатировать их существенный вклад в становление новой парадигмы геофизических исследований, в рамках которой осуществляется "прямой" поиск конкретного физического вещества: газа, нефти, газогидратов, воды, рудных минералов и пород (золото, платина, серебро, цинк, уран, алмазы, кимберлиты и т. д.). Эффективность геофизических методов, базирующихся на принципах этой парадигмы, существенно выше традиционных.

Список литературы

- Бобачев А. А., Горбунов А. А., Могин И. Н., Шевнин В. А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. *Приборы и системы разведочной геофизики*. 2006. № 2. С. 14—17.
- Задериголова М. М. Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 319 с.
- Кузьменко Э. Д., Кривюк И. В., Кузнецов И. В., Зинченко В. П. Эффективность метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли в задаче мониторинга оползневых процессов на склонах Киевского водохранилища. *Геодинаміка*. 2016. № 2 (21). С. 109—122.
- Кузьменко Э. Д., Никиташ А. П., Яковлев Е. А., Герук Ю. В. Избыточное увлажнение как фактор активизации оползней на склонах Киевского водохранилища. *Геоінформатика*. 2017. № 1. С. 51—62.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Электрорезонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии. *Геол. журн.* 2003. № 4. С. 24—28.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных

- блоков. *Геоінформатика*. 2010. № 3. С. 22—43.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения. *Геоінформатика*. 2011. № 2. С. 19—35.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 4. С. 167—176.
- 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. *Геоінформатика*. 2009 а. № 2. С. 30—47.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Пищаный Ю. М. Оперативное проведение инженерно-геологических изысканий под застройку мобильными геоэлектрическими методами. *Геоінформатика*. 2009 б. № 4. С. 33—37.
- 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.
- Слепак З. М. Геофизика для города. Тверь: ГЕРС, 2007. 240 с.
- Шуман В. Н., Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н. Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспективы. *Геоінформатика*. 2008. № 2. С. 22—50.
- Якимчук М. А. Електричне поле і його роль у житті Землі. *Геоінформатика*. 2014. № 3. С. 10—20.
- Auken E., Pellerin L., Christensen N. B., Sørensen K. I., 2006. A survey of current trends in near-surface electrical and electromagnetic methods. *Geophysics* 71 (5), G249—G260. <https://doi.org/10.1190/1.2335575>.
- Bokovoy V. P., Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Yakymchuk Ju. M., 2003. Mudslide area and moistening zones mapping with geophysical methods on the slope of the Dniپر river in Kyiv. 65nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Stavanger, Norway, 2—5 June 2003. Extended Abstracts P208, 4 p.
- Levashov S., Yakymchuk N., Korchagin I., 2017b. On the Possibility of Using Mobile and Direct-Prospecting Geophysical Technologies to Assess the Prospects of Oil-Gas Content in Deep Horizons. Oil and Gas Exploration: Methods and Application. Said Gaci and Olga Hachay Editors. April 2017, American Geophysical Union. P. 209—236.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Dravert N. G., Prilukov V. V., 2006. Geophysical investigations within the cave field of the Kyiv-Pechersk Lavra. 68nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Vienna, Austria, 12—15 June 2006. Extended Abstracts P223, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=259>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Dravert N. G., Yakymchuk Ju. M., 2005a. Geophysical Investigations of Soil Stabilization Quality on the Metro Unit underground Construction in Kyiv. Near Surface 2005 — 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Palermo, Italy, 5—8 September 2005. Extended Abstracts Book & CD-ROM Abstracts volume. P016, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=790>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Pyschaniy Ju. M., 2005b. Express-technology of geoelectric and seismic-acoustic investigations in ecology, geophysics and civil engineering. Near Surface 2005 — 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Palermo, Italy, 2005b. Extended Abstracts P046, 4 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=750>.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Pischaniy Yu. M., 2011. Mobile geophysical methods application for the operative engineering-geological prospecting conducting on the construction sites. 73nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Vienna, Aust-

- ria, 23—26 May 2011. Extended Abstracts. 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=50763>.
- Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju. M., 2004b. Oil polluted zones mapping by geoelectric methods. Near Surface 2004b — 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht, The Netherlands, 6—9 September 2004. Extended Abstracts P002, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=1774>.
- Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju. M., Bozhezha D. N., 2010. 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 September 2010. Extended Abstracts P70. 5 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=41046>.
- Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju. M., Yakymchuk Ju. M., 2004a. Geophysical investigations on the Sophia Kyivska cathedral territory in Kyiv. Near Surface 2004 — 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht, The Netherlands, 6—9 September 2004. Extended Abstracts P033, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=1805>.
- Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Prilukov V. V., Yakymchuk Ju. N., 2009. Integrated geophysical investigations on the destroyed bridges and roads sites. 71nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Amsterdam, The Netherlands, 8—11 June 2009. Extended Abstracts P044, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=23666>.
- Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhezha D. N., 2017a. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection. *NCGT Journal*, 5(1), 48—91. www.ncgt.org.
- Meju M. A., 2002. Geoelectromagnetic exploration for natural resources: models, case studies and challenges. *Surveys in Geophysics*, 23, 133—205. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015052419222>.
- Pellerin L., 2002. Applications of Electrical and Electromagnetic Methods for Environmental and Geotechnical Investigations. *Surveys in Geophysics*, 23, 101—132. doi: 10.1023/A:1015044200567.
- Sheard S. N., Ritchie T. J., Christopherson K. R., Brand E., 2005. Mining, environmental, petroleum, and engineering industry applications of electromagnetic techniques in geophysics. *Surveys in Geophysics*, 26, 653—669. doi: 10.1007/s10712-005-1760-0.
- Tezkan B., 1999. A review of environmental quasi-stationary electromagnetic techniques. *Surveys in Geophysics*, 20, 279—308. <https://doi.org/10.1023/A:1006669218545>.
- Weaver B. W., Warren R. K., 2004. Electric power grid induced geophysical prospecting method and apparatus. International Patent No WO 2004/106973 A2, Dec. 9.
- Yakymchuk N.A., Levashov S.P., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju. M., Bozhezha D. N., 2010. 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 September 2010. Extended Abstracts P18. 6 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=40996>.
- Yakymchuk M.A., Levashov S.P., Korchagin I.N., Pyschaniy Y.M., Prilukov V. V., Yakymchuk Y.M., 2012. Mobile Geophysical Methods Application for Establishing the Causes of Buildings Deformation. Near Surface Geoscience 2012 — 18th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Paris, France, 3—5 September 2012. Extended Abstracts. 5 p. <http://www.earthdoc.org/detail.php?pubid=61746>.

Innovative geoelectric methods: multi-year experience of application for the practical problems of near-surface geophysics operative solution

S. P. Levashov, N. A. Yakymchuk, I. N. Korchagin, 2018

The results of practical application of mobile geophysical methods for the operational detection and mapping of underground water streams and aquifers at several construction sites in Kiev are presented and analyzed. Geoelectric methods of the forming a short-pulsed electromagnetic field (FSPEF(SCIP)) and vertical electric-resonance sounding (VERS), as well as the method of georadar sounding, were used in the studies. The mobile methods of SCIP and VERS were developed on the principles of a "substance" paradigm of geophysical research, within which a "direct" search for a specific physical substance is carried out: gas, oil, gas hydrates, water, ore minerals and rocks (gold, platinum, silver, zinc, uranium, diamonds, kimberlites, etc.). The effectiveness of geophysical methods, based on the principles of this paradigm, is significantly higher than traditional ones. The results of the performed works showed that the survey by SCIP method within area allows to detect and map quickly the zones of rocks moistening, underground water streams of natural and technogenic origin and aquifers. The VERS sounding with high accuracy determines the depth and thickness of water-saturated horizons in the cross-section. Field work of this nature is carried out quickly and enough operatively. Specific research materials of a survey nature demonstrate sufficiently reasonably the destructive effect of underground water flows on various objects (including those under construction) of a modern city. They also point to the objective need to identify and map destructive underground flows even at the stages of engineering and geological surveys for the construction of engineering structures, buildings and facilities for various purposes. Ignoring this need in many cases leads to significant time and material costs. The presented results, as well as previous work at various construction sites, show that the mobile complex used allows efficiently and effectively a) to allocate zones of increased soil moistening; b) determine the directions and ways of migration of filtration water streams of natural and technogenic origin; c) determine the depths and thickness of the watered rock horizons; d) determine on the area the thickness of loose deposits, the roof of the gruss and the granite basement; e) identify and trace the tectonic fractures within the site of work, etc. The individual methods included in this complex can also be used for monitoring observations at construction sites in order to determine the impact of the facilities under construction on engineering and geological conditions, both in the construction sites and in the surrounding areas. The practical application of mobile technology during the engineering and geological research conducting for the construction of large engineering facilities can bring significant economic benefits due to a significant reduction in the duration of survey work and a significant reduction in volumes of drilling.

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

References

- Bobachev A. A., Gorbunov A. A., Modin I. N., Shevnin V. A., 2006. Electromotography by the method of resistances and induced polarization. *Priboiy i sistemy razvedochnoy geofiziki*, (2), 14—17 (in Russian).
- Zaderigolova M. M., 1998. Radio wave method in engineering geology and geoecology. Moscow: Publ. House of Moscow University, 319 p. (in Russian).
- Kuzmenko E. D., Krivyuk I. V., Kuznetsov I. V., Zinchenko V. P., 2016. Efficiency of the natural impulse electromagnetic field of the

- Earth method for monitoring of landslide processes on the Kiev reservoir slopes. *Geodynamika*, (2), 109—122 (in Russian).
- Kuzmenko E. D., Nikitash A. P., Yakovlev E. A., Geruk Yu. V., 2017. Excessive moistening as a factor of landslide activation on the slopes of the Kiev water reservoir. *Geoinformatika*, (1), 51—62 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., 2003. Electroresonance sounding and its use for solving environmental problems and engineering geology. *Geologicheskii zhurnal*, (4), 24—28 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., 2010. New possibilities for the oil-and-gas prospects operative estimation of exploratory areas, difficult of access and remote territories, license blocks. *Geoinformatika*, (3), 22—43 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., 2011. Assessment of relative values of reservoir pressure of fluids in collectors: results of conducted experiments and prospects of practical application. *Geoinformatika*, (2), 19—35 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., 2012. Frequency-resonance principle, mobile geoelectric technology: a new paradigm of geophysical research. *Geofizicheskii zhurnal*, 34 (4), 167—176 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Pishchaniy Yu. M., 2009a. Efficiency of operative geophysical technology when investigating engineering-geological conditions in the near-surface underground areas. *Geoinformatika*, (2), 30—47 (in Russian).
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Pishchaniy Yu. M., 2009b. Operative conducting of engineering-geological prospecting for a construction site, using mobile geoelectric methods. *Geoinformatika*, (4), 33—37 (in Russian).
- Pavlov A. T., Lepeshkin V. P., Pavlova Yu. N., 2007. Possibilities and specific features of pulsed inductive electromagnetic sounding of shallow sections under complex geological conditions. *Fizika Zemli* (3), 65—73 (in Russian). doi: 10.1134/S106935130703010X.
- Slepak Z. M., 2007. Geophysics for the city. Tver: GERS, 240 p. (in Russian).
- Shuman V. N., Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., 2008. Radio wave probing systems: elements of the theory, state and prospects. *Geoinformatika* (2), 22—50 (in Russian).
- Yakymchuk M. A., 2014. Electric field and its role in the life of the Earth. *Geoinformatika*, (3), 10—20 (in Ukrainian).
- Auken E., Pellerin L., Christensen N. B., Sørensen K. I., 2006. A survey of current trends in near-surface electrical and electromagnetic methods. *Geophysics* 71 (5), G249—G260. <https://doi.org/10.1190/1.2335575>.
- Bokovoy V. P., Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Yakymchuk Ju. M., 2003. Mudslide area and moistening zones mapping with geophysical methods on the slope of the Dniپر river in Kyiv. 65nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Stavanger, Norway, 2—5 June 2003. Extended Abstracts P208, 4 p.
- Levashov S., Yakymchuk N., Korchagin I., 2017b. On the Possibility of Using Mobile and Direct-Prospecting Geophysical Technologies to Assess the Prospects of Oil-Gas Content in Deep Horizons. Oil and Gas Exploration: Methods and Application. Said Gaci and Olga Hachay Editors. April 2017, American Geophysical Union. P. 209—236.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Dravert N. G., Prilukov V. V., 2006. Geophysical investigations within the cave field of the Kyiv-Pechersk Lavra. 68nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Vienna, Austria, 12—15 June 2006. Extended Abstracts P223, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=259>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Dravert N. G., Yakymchuk Ju. M., 2005a. Geophysical Investigations of Soil Stabilization Quality on the Metro Unit underground Construction in Kyiv. Near Surface 2005 — 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Palermo, Italy, 5—8 September 2005. Extended Abstracts Book & CD-ROM Abstracts volume. P016, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=790>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Pyschaniy Ju. M., 2005b. Express-technology of geoelectric and seismic-acoustic investigations in ecology, geophysics and civil engineering. Near Surface 2005 — 11th European

- Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Palermo, Italy, 2005b. Extended Abstracts P046, 4 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=750>.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Pischaniy Yu. M., 2011. Mobile geophysical methods application for the operative engineering-geological prospecting conducting on the construction sites. 73nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Vienna, Austria, 23—26 May 2011. Extended Abstracts. 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=50763>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Pyschaniy Ju. M., 2004b. Oil polluted zones mapping by geoelectric methods. Near Surface 2004b — 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht, The Netherlands, 6—9 September 2004. Extended Abstracts P002, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=1774>.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Pischaniy Ju. M., Bozhezha D. N., 2010. 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 September 2010. Extended Abstracts P70. 5 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=41046>.
- Levashov S. P., Yakymchuk M. A., Korchagin I. N., Pyschaniy Ju. M., Yakymchuk Ju. M., 2004a. Geophysical investigations on the Sophia Kyivska cathedral territory in Kyiv. Near Surface 2004 — 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Utrecht, The Netherlands, 6—9 September 2004. Extended Abstracts P033, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=1805>.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Prilukov V. V., Yakymchuk Ju. N., 2009. Integrated geophysical investigations on the destroyed bridges and roads sites. 71nd EAGE Conference and Technical Exhibition. Amsterdam, The Netherlands, 8—11 June 2009. Extended Abstracts P044, 4 p. <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=23666>.
- Levashov S. P., Yakymchuk N. A., Korchagin I. N., Bozhezha D. N., 2017a. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection. *NCGT Journal*, 5(1), 48—91. www.ncgt.org.
- Meju M. A., 2002. Geoelectromagnetic exploration for natural resources: models, case studies and challenges. *Surveys in Geophysics*, 23, 133—205. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015052419222>.
- Pellerin L., 2002. Applications of Electrical and Electromagnetic Methods for Environmental and Geotechnical Investigations. *Surveys in Geophysics*, 23, 101—132. doi: 10.1023/A:1015044200567.
- Sheard S. N., Ritchie T. J., Christopherson K. R., Brand E., 2005. Mining, environmental, petroleum, and engineering industry applications of electromagnetic techniques in geophysics. *Surveys in Geophysics*, 26, 653—669. doi: 10.1007/s10712-005-1760-0.
- Tezkan B., 1999. A review of environmental quasi-stationary electromagnetic techniques. *Surveys in Geophysics*, 20, 279—308. <https://doi.org/10.1023/A:1006669218545>.
- Weaver B. W., Warren R. K., 2004. Electric power grid induced geophysical prospecting method and apparatus. International Patent No WO 2004/106973 A2, Dec. 9.
- Yakymchuk N. A., Levashov S. P., Korchagin I. N., Pischaniy Ju. M., Bozhezha D. N., 2010. 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 September 2010. Extended Abstracts P18. 6 p. <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=40996>.
- Yakymchuk M. A., Levashov S. P., Korchagin I. N., Pischaniy Y. M., Prilukov V. V., Yakymchuk Y. M., 2012. Mobile Geophysical Methods Application for Establishing the Causes of Buildings Deformation. Near Surface Geoscience 2012 — 18th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Paris, France, 3—5 September 2012. Extended Abstracts. 5 p. <http://www.earthdoc.org/detail.php?pubid=61746>.