

© С.П. Левашов<sup>1,2</sup>, Н.А. Якимчук<sup>1,2</sup>, И.Н. Корчагин<sup>3</sup>,  
Д.Н. Божежа<sup>2</sup>, В.В. Прилуков<sup>2</sup>, Ю.Н. Якимчук<sup>2</sup>, 2009

УДК 550. 837.3

*<sup>1</sup>Институт прикладных проблем экологии, геофизики  
и геохимии, г. Киев*

*<sup>2</sup>Центр менеджмента и маркетинга в области наук  
о Земле ИГН НАН Украины, г. Киев,*

*<sup>3</sup>Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
г. Киев*

## **ОПЕРАТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДНЫХ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

**Введение.** Геофизические методы успешно используются для решения различных гидрогеологических задач: гидрогеологической съемки разного масштаба; поисков и разведки грунтовых, пластовых, трещинно-карстовых и артезианских вод; изучения динамики подземных вод; выяснения условий обводнения месторождений полезных ископаемых и объектов строительства или реконструкции; определения минерализации грунтовых и подземных вод; проведения гидромелиоративных и почвенно-мелиоративных исследований.

Основными методами поисков и предварительной разведки месторождений пресных, пластовых и грунтовых подземных вод служат разные виды вертикального электрического зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП) и сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ), а при изучении глубоких артезианских бассейнов – сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ) и электроразведка (ДЗ, ЗСБ, МТЗ). Трещиноватые обводненные зоны выявляют с помощью методов электромагнитного профилирования. Детализацию выявленных зон с трещинно-карстовыми водами осуществляют методами кругового профилирования (КЭП) и кругового вертикального зондирования (КВЗ).

Возможности последних разработок в геофизике и перспективы их применения для решения разных гидрогеологических задач детально проанализированы в специальной статье [4].

На протяжении 2000–2008 гг. авторами проведены масштабные полевые эксперименты по изучению возможностей и эффективности применения нетрадиционных геоэлектрических методов становления короткоим-

пульсного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) для решения экологических, инженерно-геологических и геолого-геофизических задач [1–3]. Эти методы применялись также и для поисков и картирования водонасыщенных коллекторов [3]. Ниже представлены результаты их успешного применения в 2008 г. для оперативного картирования зон распространения участков повышенного водонасыщения пород в Украине.

**Геоэлектрические методы исследований.** Для определения мест оптимального расположения скважин и интервала значений глубины расположения водяных фильтров неоднократно использованы и опробованы методы становления короткоимпульсного поля, вертикального электрорезонансного зондирования [1–2] и естественного электромагнитного поля Земли (ЕЭМПЗ).

Метод СКИП основан на изучении процесса становления поля короткого электрического импульса, возбуждаемого импульсным генератором, в малогабаритных дипольных ферритовых антеннах. Метод ЕЭМПЗ отличается от метода СКИП способом возбуждения первичного сигнала – здесь импульсом возбуждения служит сигнал коммутации антенны, величина которого зависит от поляризационных свойств окружающей среды. В зависимости от напряженности естественного электрического поля Земли на концах обмоток приемной антенны формируется короткий импульс, величина которого определяется внешним электрическим полем Земли. Изучение характера импульса коммутации позволяет сделать выводы о напряженности первичного поля, которое в свою очередь зависит от геоэлектрических параметров среды. Вертикальное электрорезонансное зондирование базируется на изучении процессов естественной поляризации среды и спектральных характеристик естественного электрического поля над геологическими неоднородностями. Для горизонтальнослоистых разрезов эта составляющая технологии предоставляет возможность эффективно разделять разрез в точке зондирования на отдельные стратиграфические подразделы и с высокой точностью определять глубину их залегания.

С помощью методов СКИП и ЕЭМПЗ может осуществляться поиск и оконтуривание зон максимального обводнения грунтов (пород). Метод ВЭРЗ используется обычно для определения глубины расположения зоны обводнения пород или подземных водных потоков.

**Исследования в западной Украине.** В октябре 2008 г. полевые работы с применением геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ были выполнены в пгт Щирец (Пустомитовский р-н Львовской обл., 25 км южнее г. Львов). Центральная часть поселка расположена на холме, абсолютное значение высоты которого составляет 280 м. В этой части расположена сква-

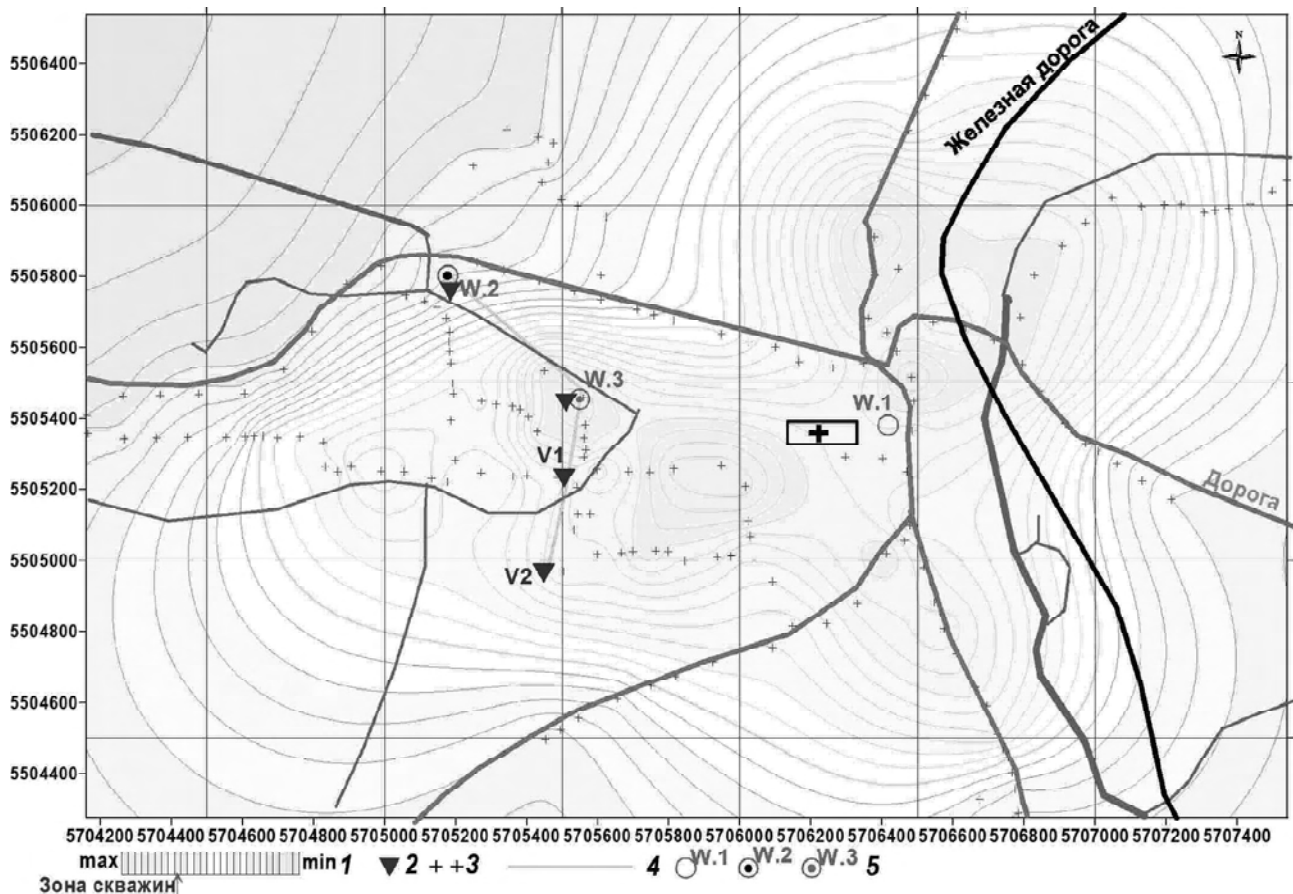


Рис. 1. Карта зоны повышенного увлажнения пород в интервале значений глубины 20–100 м в районе пгт Щирец. 1 – шкала относительного увлажнения; 2 – пункты ВЭРЗ; 3 – точки съемки СКИП; 4 – линия вертикального разреза; 5 – скважины (водоснабжения, пробуренная, рекомендованная)

жина глубиной 80 м для снабжения населенного пункта питьевой водой. Водный горизонт, из которого осуществляется отбор питьевой воды, находится на глубине 43–77 м, в трещиноватых мергелевых отложениях. Скважина пробурена в 1977 г., и не соответствует современным санитарно-экологическим нормам. В новой скважине, пробуренной на северо-западной окраине поселка, качество воды не соответствует современным санитарным нормам для питьевой воды. Возникла необходимость проведения геофизических исследований для определения оптимального места заложения скважины для снабжения населения питьевой водой.

**Картирование зоны повышенного увлажнения пород.** Площадной съемкой методом СКИП закартирована аномальная геоэлектрическая зона, которая соответствует участку повышенного увлажнения пород в районе пгт Щирец (рис. 1).

Вероятно участок водного коллектора сформировался здесь за счет тектонического измельчения мергеля, которое происходило при вертикальных тектонических движениях на данном участке. Часть зоны повышенного увлажнения расположена в нижней части холма, западнее поселка. Как

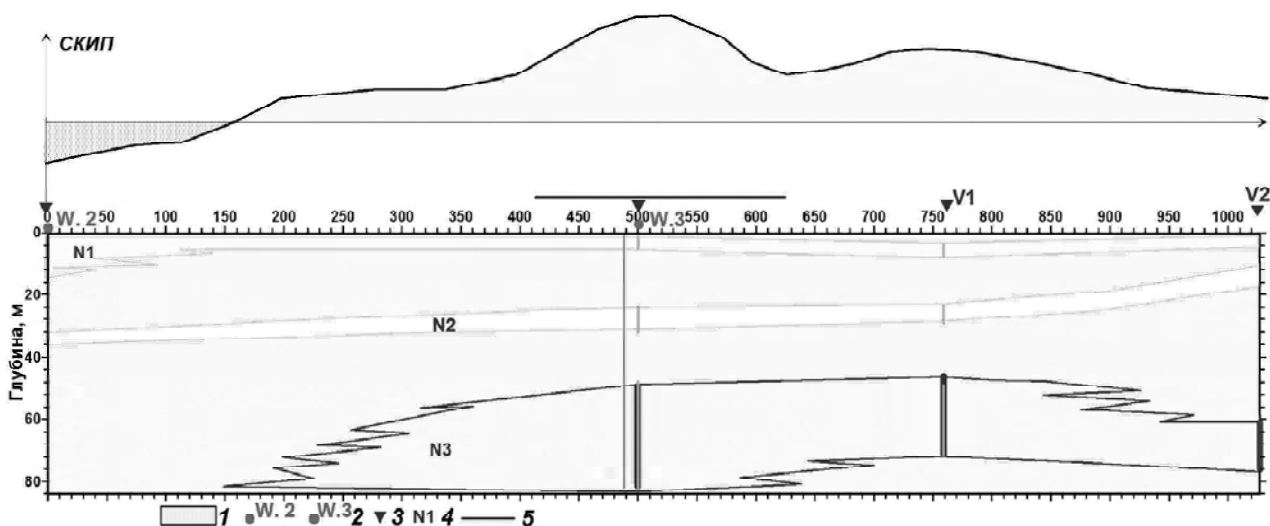
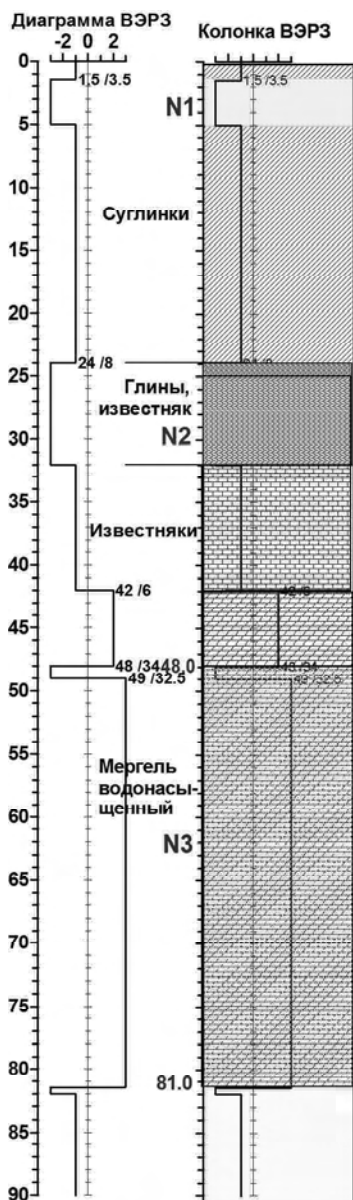


Рис. 2. Вертикальный разрез на западной окраине пгт Ширец. 1 – зона водонасыщенных пород; 2 – скважины; 3 – пункты ВЭРЗ; 4 – номер водоносного горизонта; 4 – участок расположения скважин



раз данная зона и является оптимальной для размещения скважины водоснабжения, она удовлетворяет одному из условий расположения буровой скважины за пределами города.

Результаты съемки методом СКИП свидетельствуют (рис. 1), что пробуренная ранее скважина (скв. 2) на северо-западной окраине поселка находится далеко от зоны повышенного увлажнения пород. В данной скважине не может быть получена питьевая вода – место для ее бурения не является оптимальным.

**Определение глубины залегания водоносных горизонтов.** Для определения глубины залегания водоносных пластов проведено зондирование ВЭРЗ в четырех точках (рис. 1). В зоне повышенного увлажнения выделено три водных горизонта (рис. 2, 3). Первый, мощностью 3,5 м, расположен на глубине 1,5–5 м (верховодка).

Второй, мощностью 7 м, зафиксирован в интервале 25–32 м. Скорее всего здесь расположены увлажненные породы, которые залегают на кровле известняка. Нужной величины дебета воды из этого горизонта можно и не получить.

Рис. 3. Данные ВЭРЗ в точке бурения скважины

Третий, основной, водоносный горизонт мощностью 33 м залегает на глубине 48–81 м.

Наибольшая мощность третьего водоносного горизонта установлена в точке зондирования, которая на рисунках обозначена как скв. 3 (рис. 1–3). В этом месте рекомендуется провести бурение скважины. На рис. 2 приведен вертикальный разрез через эту точку, а на рис. 3 – вертикальная колонка зондирования.

**Исследования в Луганской области.** Геоэлектрические работы по описанной выше методике проведены также зимой 2008 г. в районе с. Зориновка (Меловой р-н, Луганская обл., рис. 4.). Питьевая вода в это село подается по трубопроводу из России. Основные результаты работ представлены на рис. 5, 6: в районе работ выделена зона повышенного увлажнения пород (рис. 5), а также установлена глубина их залегания (рис. 6). В районе пункта ВЭРЗ V2 (рис. 5) пробурена скважина, которая в интервале 55–65 м вскрыла увлажненный горизонт в меловых отложениях. Однако мел сделал эту воду непригодной для употребления в качестве питьевой, в связи с чем было принято решение пробурить скважину до водоносного горизонта на глубине 350 м (рис. 6), который используется для водоснабжения в ряде населенных пунктов этого района.

**Картирование водных потоков.** Геофизические исследования гидрогеологических условий на территории парка Национального Технического Университета Украины “КПИ” (г. Киев), проведены в сентябре 2006 г. Основная задача работ – определение причин повышенного обводнения отдельных участков парковой зоны и, в частности, его центральной и западной лестниц.

Для решения этой задачи был выполнен комплекс геофизических работ с целью: картирования участков повышенного увлажнения грунтов; обнаружения подземных водных потоков и источников их образования; трас-



Рис. 4. Карта-схема района работ. 1 – участок работ; 2 – трубопровод подачи питьевой воды

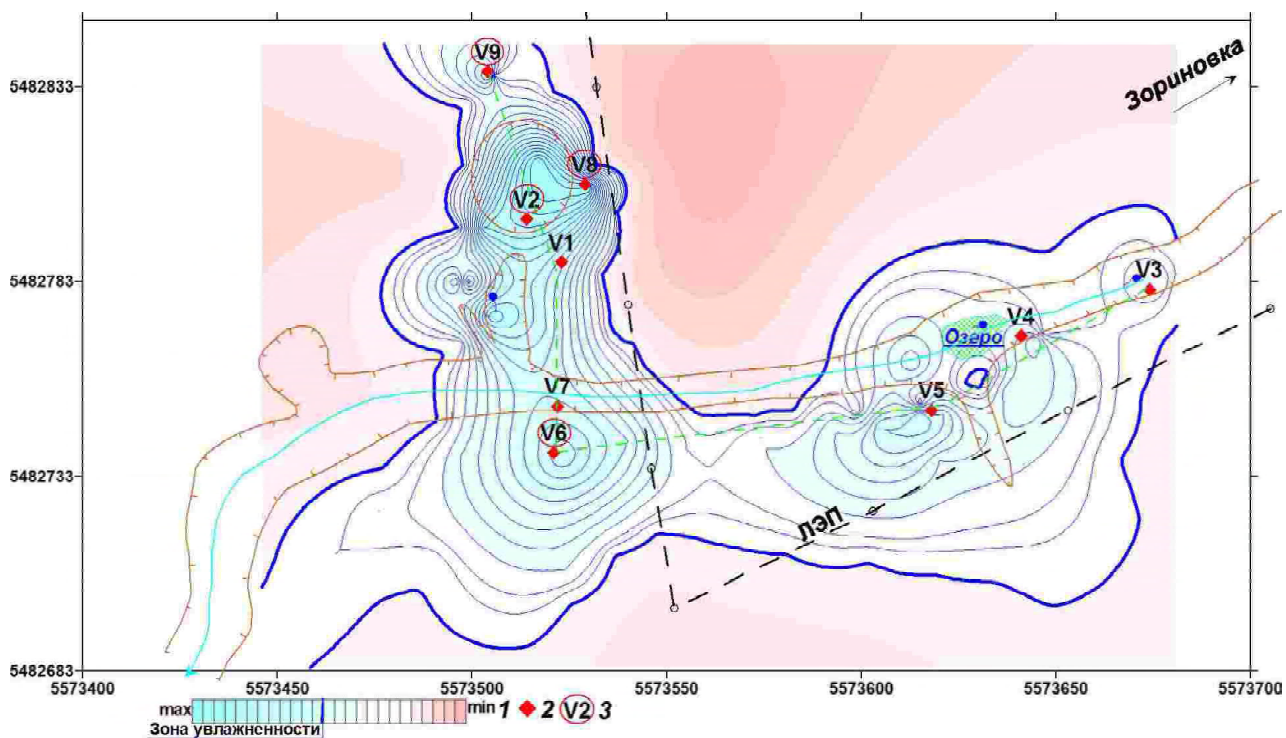


Рис. 5. Карта зон повышенной увлажненности меловых отложений в интервале значений глубины 25–100 м. 1 – шкала относительной увлажненности отложений; 2 – пункты ВЭРЗ; 3 – точки ВЭРЗ, рекомендованные для бурения

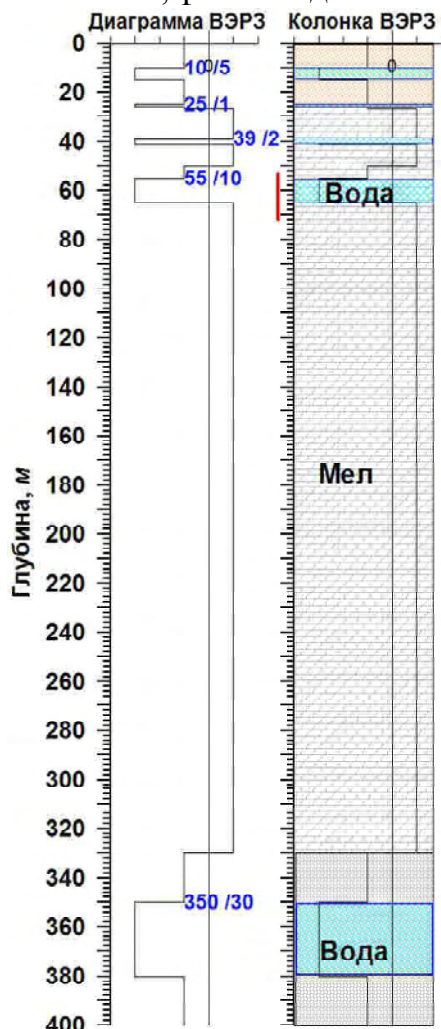


Рис. 6. Данные ВЭРЗ в точке V1



сирования путей миграции подземных водных потоков; определения интервалов значений глубины повышенного увлажнения грунтов с помощью построения вертикальных разрезов.

Геофизические исследования проведены с применением геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ, а также сейсмоакустического зондирования. Геоэлектрические работы методом СКИП проведены по отдельным профилям с шагом 2 м. Профили прокладывали параллельно дороге, проходящей вдоль корпусов НТУУ “КПИ”. После определения расположения зон повышенного увлажнения закладывали отдельные профили сейсмоакустического зондирования – № 1, 2, 3. Шаг точек зондирования по профилю составлял 1 м.

В результате проведенных исследований получены материалы, представленные в виде карт и разрезов: карты участков повышенного увлажнения грунтов с нанесением путей миграции подземных водных потоков; сейсмоакустические разрезы через зоны повышенного увлажнения грунта.

**Определение участков повышенного увлажнения грунтов.** В результате проведенных геофизических работ методом СКИП построены карты участков повышенного увлажнения грунтов в районе центральной и западной лестницы территории парка НТУУ “КПИ” (рис. 7, 8).

В районе центральной лестницы определены четыре зоны повышенного увлажнения (рис. 7). Все зоны ограничиваются проезжей частью дороги, проходящей вдоль корпусов. Вниз по склону зоны увлажнения прослеживались на 20–40 м.

*Зона увлажнения № 1 (западная).* Начало зоны расположено на краю автомобильной дороги, вдоль линии подземной водной коммуникации. Вниз по склону по территории парка зона прослежена на протяжении 30 м. В 20 м от дороги у тротуара вода выходит на поверхность, образуя зону интенсивного увлажнения почвенного слоя. Вверх от дороги к корпусам НТУУ “КПИ” зона увлажнения не прослеживается, заканчиваясь на середине проезжей части.

По данным сейсмоакустического зондирования (рис. 9), глубина увлажненного грунта – 2–5 м, в одной точке – до 8 м. Максимальная величина зоны увлажнения расположена над подземной водной коммуникацией. По всей вероятности увлажнение образовано в результате утечки из нее.

Водный поток утечки распространяется вниз по склону на расстояние 30 м. Далее частично выходит на поверхность либо по песчаным отложениям фильтруется вниз.

*Зона увлажнения № 2 (район центральной лестницы).* Начало аномальной зоны повышенного увлажнения грунтов определено в районе люка на проезжей части напротив лестницы. В сторону корпуса № 1 зона увлажнения не прослеживается. Вниз по склону вдоль маршей лестницы она про-

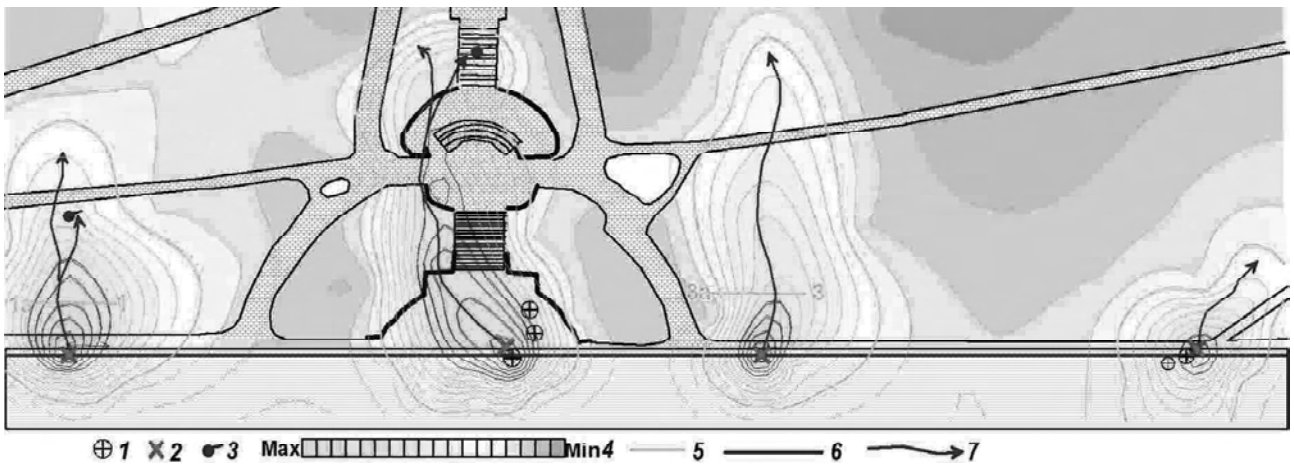


Рис. 7. Карта зон повышенного увлажнения грунтов в районе центральной лестницы парка НТУУ (КПИ). 1 – люки; 2 – места утечек; 3 – участки вытоков воды на поверхность; 4 – шкала относительной влажности грунта; 5 – профили сейсмоакустического зондирования; 6 – линия подземной водной коммуникации (канализация); 7 – направление подземных водных потоков

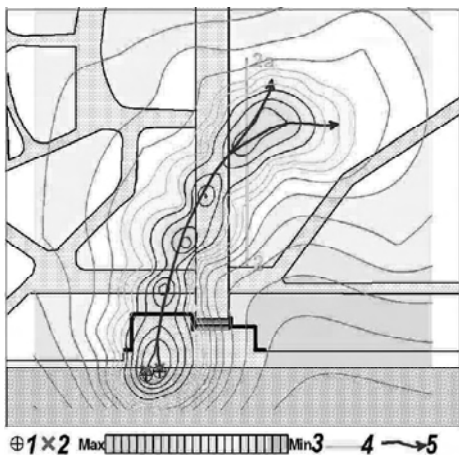
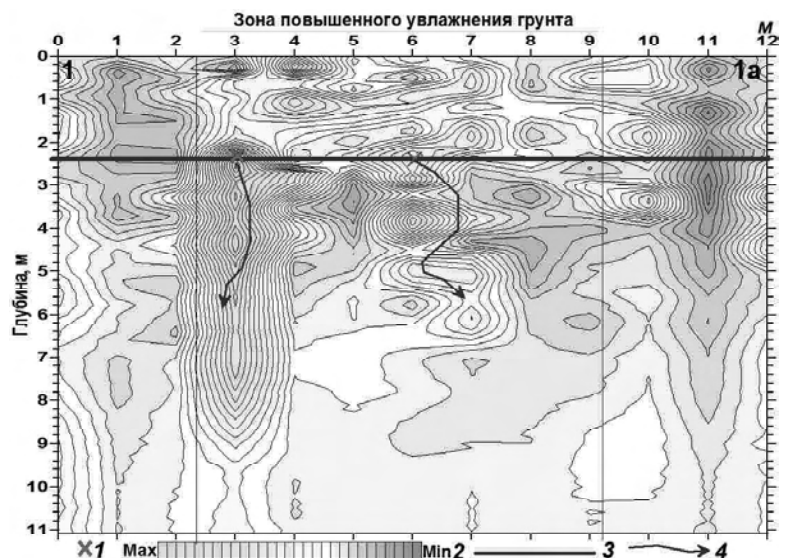


Рис. 8. Карта зон повышенного увлажнения грунтов в районе западной лестницы парка НТУУ (КПИ). 1 – люки; 2 – места утечек; 3 – шкала относительной влажности грунта; 4 – профиль сейсмоакустического зондирования; 5 – направление подземных водных потоков

Рис. 9. Сейсмоакустический разрез по профилю 1–1а через зону повышенного увлажнения грунтов в районе центральной лестницы парка НТУУ (КПИ). 1 – места утечек; 2 – шкала относительной величины увлажнения грунтов; 3 – линия подземной водной коммуникации; 4 – направление подземных водных потоков





должается до 40 м. Здесь, между ступенями лестницы, происходит просачивание воды на поверхность. По данным зондирования ВЭРЗ, глубина области намочения пород под лестницей до 5 м. В колодце под люком по состоянию на 10 сент. 2006 г. стояла вода (1,5 м). В районе люка определены максимальные значения увлажнения грунта в интервале 2–5 м. Водный поток, который ниже выходит на поверхность лестницы, вытекает у этого колодца.

*Зона увлажнения № 3 (восточная 1).* Центральная часть зоны увлажнения расположена на 35 м восточнее центральной лестницы. Вниз по склону зона прослежена на 38 м. Явных выходов воды на поверхность в пределах этой зоны на момент проведения съёмки не обнаружено. По данным сейсмоакустического зондирования, область максимального увлажнения расположена на глубине 2–5 м. Глубже отмечается зона вертикальной миграции водного потока, достигшего кровли песчаной толщи.

Как и в предыдущих случаях, зона повышенного увлажнения сформирована утечкой из подземной водной коммуникации, проходящей вдоль края автомобильной дороги.

*Зона увлажнения № 4 (восточная 2).* Небольшая по площади зона увлажнения определена в районе двух люков на краю дороги восточнее центральной лестницы на расстоянии 85 м. Вниз по склону зона прослеживается на протяжении 15 м. Явных выходов воды на поверхность в пределах зоны не найдено. Зона сформирована незначительными утечками из колодцев, расположенных на проезжей части дороги.

*Зона увлажнения № 5 (западная лестница).* Результаты геоэлектрической съёмки в районе западной лестницы приведены на рис. 8. Выделенная здесь зона повышенного увлажнения грунта образована подземным водным потоком, который формируется в районе двух колодцев водных коммуникаций, расположенных на краю проезжей части автомобильной дороги. Далее зона трассируется вниз по склону, пересекая вымощенный тротуар. Длина зоны повышенного увлажнения 55 м, ширина ~6–8 м. Явного выхода воды на поверхность на момент проведения съёмки не обнаружено. По данным сейсмоакустического зондирования, интервал зоны максимального увлажнения вдоль западной лестницы 2–5 м. Ниже наблюдается вертикальная миграция водных потоков в толще песка.

Подземный водный поток, формирующий зону увлажнения в районе западной лестницы, сформирован за счет утечек из подземной водной коммуникации и колодцев, расположенных на проезжей части дороги.

**Выводы.** В результате проведения геофизических исследований в районе пгт Щирец выделена локальная зона распространения водного горизонта в отложениях трещиноватого мергеля. Данный горизонт может быть ис-

пользован для снабжения поселка питьевой воды. За пределами поселка, на западной его окраине, выделен участок для бурения скважины, на котором водоносный горизонт размещен на глубине 48–81 м.

В районе с. Зориновка выделена зона повышенного увлажнения пород, установлена глубина их залегания. Пробуренная скважина в интервале 55–65 м вскрыла увлажненный горизонт в меловых отложениях.

В результате геофизических исследований, проведенных на территории парка НТУУ “КПИ”: обнаружены пять зон повышенного увлажнения грунта; установлено, что зоны увлажнения формируются водными потоками техногенного характера (за счёт утечки из подземных коммуникаций); определены протяженность подземных водных потоков – 20–50 м и ширина зоны увлажнения грунтов – 6–10 м, а также глубина зон увлажнения – до 5 м; доказано, что вода, выходящая на поверхность возле лестниц и кирпичных дорожек парка, имеет техногенное происхождение, т.е. она образуется за счёт утечек из подземных водных коммуникаций.

Для ликвидации процессов разрушения построек (лестниц, дорожек и др.) на территории парковой зоны НТУУ “КПИ” рекомендовано: устранить утечку воды; провести детальную диагностику подземных водных коммуникаций; осуществить закрепление грунтов цементирующими растворами в местах утечки; после проведенного комплекса ремонтных работ на протяжении 2–3 месяцев производить визуальный осмотр территории парка; решение о постройке дренажной системы принимать после проведения предложенных мероприятий.

Изложенные результаты демонстрируют практическую возможность использования геоэлектрических исследований СКИП–ВЭРЗ для поисков и оконтуривания водоносных горизонтов в плане и определения глубины их залегания в разрезе. Работы такого характера с помощью этих методов выполняются достаточно оперативно и быстро. Предварительная обработка и интерпретация данных измерений в полевых условиях позволяет непосредственно на месте их проведения указывать точки оптимального расположения скважин.

Результаты многолетнего успешного применения методов СКИП–ВЭРЗ свидетельствуют о целесообразности изучения структуры приповерхностного слоя заряженных частиц и зон поляризации на границах геологических неоднородностей, что может способствовать созданию эффективных и оперативных технологий геофизических исследований.

1. 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 // 65th EAGE Conference & Exhibition, Extended Abstracts. – 2003. – P. 208.

2. Levashov S.P., Yakymchuk M.A. Korchagin I.N. et al. Electric–resonance sounding method and its application for the ecological, geological-geophysical and engineering-geological investigations // 66th EAGE Conference & Exhibition, Extended Abstracts. – 2004. – P. 35.
3. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. et al. The searching and mapping the water-saturated rock by geoelectric methods // 67nd EAGE Conference & Exhibition, Extended Abstracts. – 2005. – P. 335.
4. Robinson D. A., Binley A., Crook N. et al. Advancing process-based watershed hydrological research using near-surface geophysics: a vision for, and review of, electrical and magnetic geophysical methods // Hydrol. Proc. – **22**. – 2008. – P. 3604–3635.