

ОПЕРАТИВНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

© С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, Д.Н. Божежа, 2008

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

The results of geophysical investigations within zone of intensive development of karst processes are given. The areas of underground water flows and increased soil moistening are effectively mapped by areal survey by method of forming of short-pulsed electromagnetic field (FSPEF). The methods of vertical electric-resonance sounding (VERS) and GPR-sounding allow to determine the depths of bedding of moistening zones, underground water flows, suffusion cavities, karst cavities. These geophysical methods can be used effectively for the operative monitoring for natural and man-caused dangerous phenomenon's and processes, that are connected with karsts, depressions, flashes and suffusion removal of grounds.

Введение. Для решения широкого класса экологических, инженерно-геологических и гидрогеологических задач активно применяются различные методы (технологии) геофизических исследований, которые позволяют оперативно проводить полевые геофизические измерения, а следовательно, получать необходимую экспериментальную информацию для решения конкретных практических задач [1–7]. К таким методам относится экспресс-технология геофизических исследований, которая включает в себя геоэлектрические методы становления короткоимпульсного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (технология геоэлектрических исследований СКИП–ВЭРЗ), а также сейсмоакустического и георадарного зондирования [2–5]. В частности, эта технология неоднократно применялась для поисков и картирования водонасыщенных коллекторов и подземных водных потоков, изучения инженерно-геологических условий на территориях историко-архитектурных заповедников, при инженерно-геологических изысканиях под реконструкцию и строительство автомобильных дорог и др. [2–5]. Ниже представлены результаты успешного применения комплекса геоэлектрических и георадарного методов для изучения участка интенсивного развития карстовых процессов.

Информация о районе работ. 22 февраля 2006 г. в с. Пески Пустомитовского района Львовской области возник карстовый провал в пределах расположения двух жилых домов, которые в дальнейшем были втянуты в воронку и полностью разрушены. Ликвидационные работы и геолого-геофизические исследования проведены специалистами Львовской ГРЭ. По результатам исследований составлен отчет об условиях и факторах

развития карстового провала и даны рекомендации относительно снижения уровня опасности для жителей с. Пески [8].

В соответствии с [8], “карстующимися породами являются гипсоангидриты тирасской свиты раннеэоценового возраста, которые залегают в интервале глубин 18,0–48,0 м. Гипсоангидриты перекрываются нижнеэоценовыми косивскими плотными глинами с прослойками песчаников в подошве мощностью 8,0–20,0 м. На поверхности нижнеэоценовые отложения перекрываются четвертичными эолово-делювиальными водонасыщенными суглинками, супесями с прослойками песков мощностью 7,0–9,0 м. Подстилаются гипсоангидриты органогенными известняками и песками опильской свиты. Подземные воды приурочены к эолово-делювиальным отложениям (грунтовые воды) и к отложениям опильской свиты и, частично, тирасской свиты (основной водоносный горизонт). Опильский водоносный горизонт напорный, уровень подземных вод устанавливается на глубине 17–20 м”.

В середине мая 2008 г. в районе с. Пески проведены полевые геофизические работы с целью исследования процессов карстообразования, выявления и картирования наиболее карстоопасных участков в районах расположения сельских домов.

Методика исследований. Полевые работы проводились методами СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования.

Многолетнее использование геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ для решения инженерно-геологических задач показало, что они дают возможность выявлять и картировать подземные водные потоки естественного и техногенного про-

исхождения, зоны повышенного увлажнения грунтов, насыщенные водой коллекторы. С учетом того что одной из основных причин карстообразования являются подземные водные потоки, полевые геофизические работы проведены в два этапа: а) изучение общего гидрогеологического состояния территории; б) выявление и картирование участков формирования карстовых пустот в пределах расположения домов.

На первом этапе съемкой методом СКИП и зондированием ВЭРЗ на территории 2,1×1,0 км² определены зоны повышенного увлажнения грунтов, выявлены места образования и пути миграции подземных водных потоков, которые формируют карстовые провалы. Территория региональных работ в границах с. Пески занимает зону от дома № 63 к дому № 170. На этом этапе работ проводились съемка методом СКИП и зондирование ВЭРЗ. На втором этапе детально исследована зона длиной 500 м вдоль центральной дороги с. Пески от дома № 93 к дому № 120, которая находится в зоне активизации карстовых процессов и связана с участками повышенной скорости миграции подземных водных потоков. На данном этапе работ проводились съемка методом СКИП для определения зон формирования карста, электрорезонансное и георадарное зондирование для установления глубин залегания и мощностей насыщенных водой горизонтов и карстовых пустот.

Всего выполнено: а) измерений поля СКИП в 450 пунктах; б) 427 погонных метров георадар-

ного зондирования; в) 27 пунктов зондирования методом ВЭРЗ.

По данным геофизических измерений построены: а) карты зон повышенной увлажненности грунтов и путей миграции подземных водных потоков в районе с. Пески (рис. 1), карты расположения карстовых пустот в границах жилых домов и глубин до уровня грунтовой воды); б) вертикальные гидрогеологические разрезы – по данным электрорезонансного и георадарного зондирования (рис. 2, 3); в) вертикальные геоэлектрические колонки в зонах формирования водяных истоков и образования карстовых пустот (рис. 4).

Общая характеристика результатов полевых измерений. Карта путей миграции подземных водных потоков и зон повышенной увлажненности грунтов (рис. 1) свидетельствует, что основные водные потоки формируются в северной и северо-восточной частях участка исследований. Во время съемки три точки истоков воды на поверхность зафиксированы визуально в северной части обследованной территории, еще одна – в северо-восточной (в зонах расположения балок). Эти истоки формируют четыре подземных водных потока, которые в центральной части с. Пески сливаются в один, достаточно мощный, юго-западного направления. Вода последнего инфильтрируется в озеро, расположенное на южной окраине села. Озеро также имеет карстовое происхождение, вода из него фильтруется в р. Прерву исключительно поверхностными потоками. Пятый подземный поток небольшой мощ-

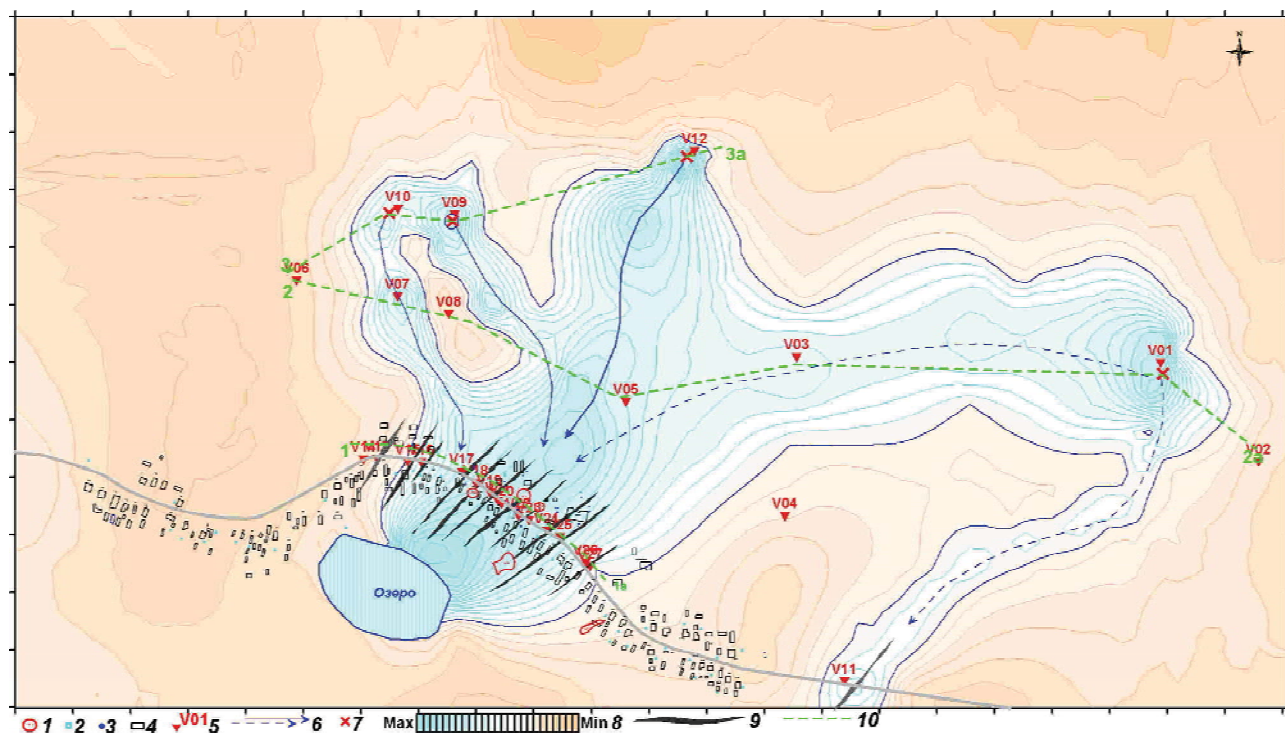


Рис. 1. Карта зон повышенной увлажненности грунтов и путей миграции подземных водных потоков: 1 – зоны карстовых просадок и провалов; 2 – колодцы; 3 – скважины; 4 – схематические контуры домов; 5 – пункты ВЭРЗ; 6 – пути миграции подземных водных потоков; 7 – места истока воды; 8 – шкала относительной увлажненности грунтов; 9 – зоны подземных карстовых пустот; 10 – профили вертикальных разрезов

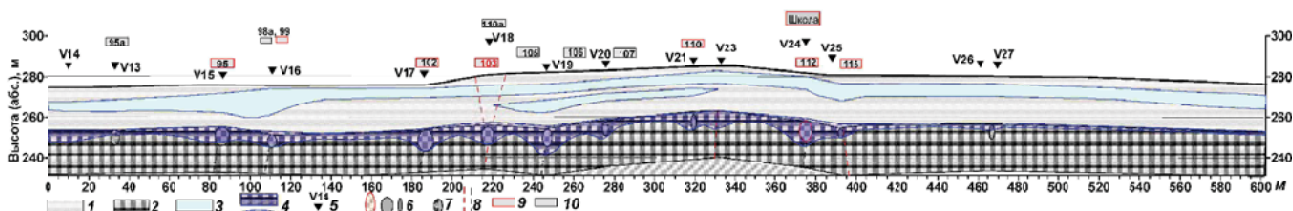


Рис. 2. Вертикальный разрез зоны карстообразования вдоль центральной части с. Пески: 1 – рыхлые отложения (глины, суглинки); 2 – гипсоангидритовая толща с прослоями песчаников, мергелей; 3 – увлажненные зоны; 4 – водный горизонт в верхней части гипсоангидритовой толщи; 5 – пункты ВЭРЗ; 6 – зоны карстовых пустот (каналов), заполненных водой; 7 – карстовые полости, заполненные рыхлыми отложениями (глинами); 8 – зоны субвертикальных трещин; 9 – дома, расположенные в зоне карстообразования (глубина пустот от 25,0 до 35,0 м); 10 – дома, расположенные рядом с зоной карстообразования

ности пересекает дорогу в восточной части с. Пески. *Закартированные подземные водные потоки являются основной причиной формирования карстовых пустот.*

Водные потоки не выявлены южнее озера. Это свидетельствует о том, что потоки, которые формируют карстовые пустоты в районе с. Пески, не связаны с водными потоками в районе добывающего карьера, расположенного на юго-запад от с. Пески.

Карта-схема размещения карстовых пустот (рис. 1) показала, что основные участки формирования карстовых пустот связаны с юго-западным направлением тектонической трещиноватости гипсоангидритового комплекса пород. Все карстовые провалы минувших лет попадают в закартированные зоны размещения карстовых пустот (рис. 1). Детальной съемкой методом СКИП выявлено и закартировано 12 участков карстообразования, 10 из которых обводнены. Две зоны карстообразования (в западной и восточной частях с. Пески) заполнены рыхлыми отложениями – эти зоны выявлены на участках относительно слабой миграции подземных водных потоков. Не исключено, что они могли сформироваться в те временные интервалы, когда интенсивность водных потоков в границах этих участков была намного выше.

Схематические карты уровня грунтовых вод и глубин до него, построенные по данным зондирования ВЭРЗ, свидетельствуют, что глубина до уровня грунтовых вод в районе с. Пески уменьшается в целом в юго-восточном направлении.

Через центральную часть с. Пески (вдоль дороги) по данным электрорезонансного и георадарного зондирования построены вертикальные геоэлектрический (рис. 2) и георадарный разрезы зоны карстообразования. Геоэлектрический разрез дает полное представление о характере залегания основных комплексов пород и водонасыщенных горизонтов: гипсоангидритовая толща в целом выдержана по мощности, в центральной части она формирует небольшую антиклинальную складку. Верхняя часть гипсоангидритовых пород обводнена, причем мощность обводненного пласта изменяется вдоль профиля, она как раз и является зоной карстообразования. Обводненная часть

гипсоангидритов – это второй водонасыщенный горизонт разреза; в толще вышележащих пород зондированием выделяется еще один водонасыщенный горизонт. Следует заметить, что в центральной части разреза, в интервале пикетов 220–330 м, этот горизонт разделяется на два отдельных (рис. 2). В связи со значительным обводнением разреза условия для георадарного зондирования были не совсем благоприятными. Однако даже и в этом случае, на радарограмме выделяются темным цветом зоны повышенной увлажненности пород и водных потоков.

В северной части участка работ фиксируется такой же характер залегания основных комплексов пород, как и на предыдущем разрезе. Показан напорный водный горизонт, который выделяется по диаграммам зондирования в отдельных точках. Напорность горизонта подтверждается результатами зондирования в точке V01, где диаграмма зондирования свидетельствует о наличии воды как в толще самых гипсоангидритов, так и в подстилающих породах. На геолого-геоэлектрическом разрезе через северные балки (рис. 3) фиксируются три участка истоков воды из напорного горизонта в точках зондирования V09, V10, V12, где балки раскрывают верхний водный горизонт. Характер залегания основных комплексов пород такой же, как и на предыдущем разрезе.

Результаты зондирования ВЭРЗ в отдельных пунктах представлены диаграммами и колонками ВЭРЗ, на которых условно показаны глубины залегания и мощность зоны образования карстовых пустот, а также максимальная ширина карстоподобного участка. При построении колонок ВЭРЗ за максимальную мощность зоны формирования карстовых пустот принималась общая мощность обводненной части гипсоангидритов. Максимальная ширина зоны карстообразования определялась по данным детальной съемки методом СКИП. Так, в точке ВЭРЗ 18 в районе дома № 103 (рис. 4) первый водный горизонт мощностью 3 м зафиксирован на глубине 1 м, второй, мощностью 4 м – на глубине 7 м. Мощность гипсоангидритовой толщи – 23 м, она залегает на глубине 24 м. Верхние 11 м гипсоангидритов формируют зону карстовых пустот, ширина зоны по данным

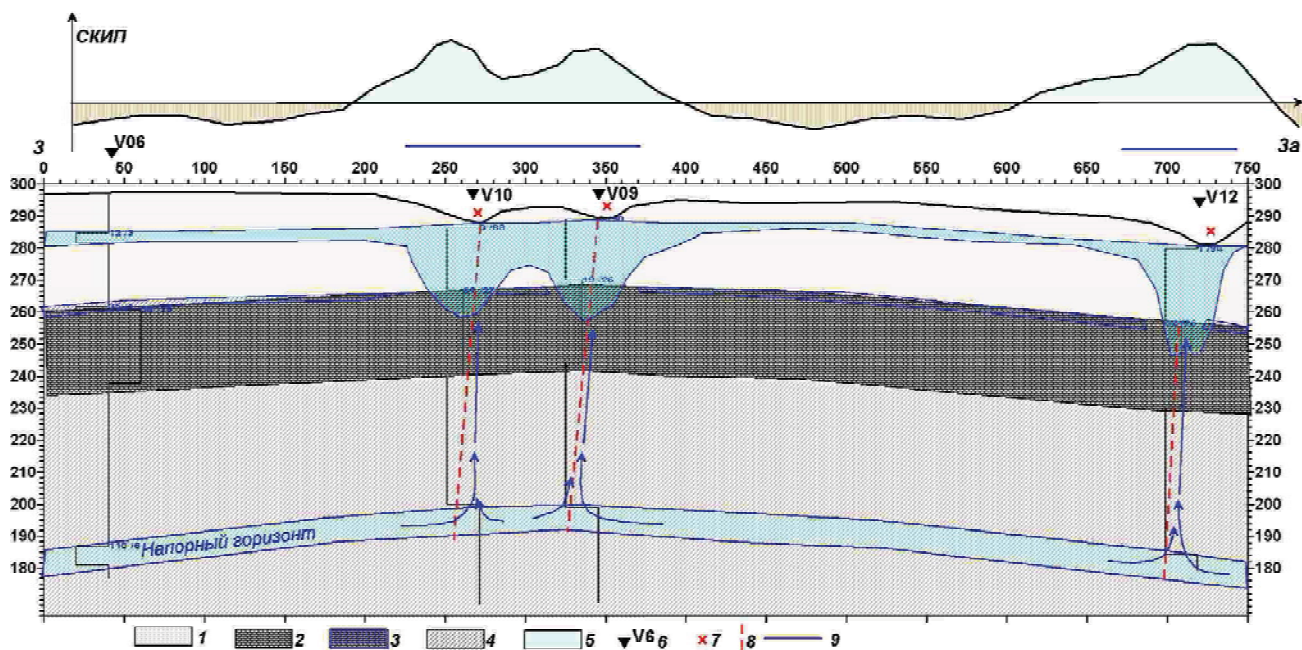


Рис. 3. Геолого-геофизический разрез через северные балки: 1 – рыхлые отложения (глины, суглинки); 2 – гипсоангидритовая толща; 3 – водный горизонт в верхней части гипсоангидритов; 4 – песчаники, аргиллиты, глины; 5 – увлажненные зоны; 6 – пункты ВЭРЗ; 7 – место истока напорных вод; 8 – зоны субвертикальных трещин; 9 – зоны северо-западной и северо-восточной балок

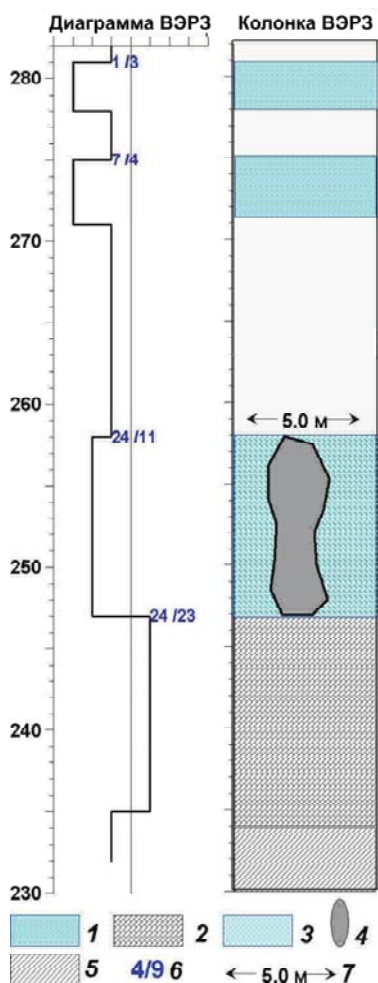


Рис. 4. Результаты ВЭРЗ в районе карстового провала под домом № 103: 1 – водоносные горизонты; 2 – гипсоангидритовая толща; 3 – водонасыщенная верхняя часть гипсоангидритов; 4 – зона карстообразования; 5 – подстилающие породы; 6 – глубина до кровли горизонта/ мощность; 7 – ширина зоны карстообразования

съемки СКИП – 5,0 м. Дом № 103 находится в зоне карстообразования.

Выводы и рекомендации. Анализ результатов комплексных геофизических исследований на территории дает возможность констатировать следующее.

1. По данным полевых исследований в пределах с. Пески выделена и закартирована мощная зона повышенной фильтрации подземных вод, которая формируется севернее села в районе двух оврагов. В верхней части балок выявлены поверхностные истоки воды. Установлено, что истоки формируются подземными водами, мигрирующими из нижних водоносных горизонтов. Поверхностные истоки способствуют развитию эрозионной деятельности и образованию оврагов с северной стороны холма. В зоне истоков формируются также мощные подземные водные потоки, мигрирующие в южном направлении, в сторону с. Пески. В районе села водные потоки локализуются и в долине р. Прерва выходят на поверхность, формируя озеро, которое имеет карстовую природу.
2. Подземная миграция выделенных водных потоков за озером съемкой методом СКИП не зафиксирована, а следовательно, территория южнее озера не является карстоопасной. Поэтому подземные водные потоки, пересекающие центральную часть с. Пески, можно считать локальными; в гидрологическом и гидродинамическом плане они не связаны с подземными водами в районе левого берега р. Прерва, где находится карьер добычи гип-

- са. *Итак, истоки воды в северной части с. Пески, подземные водные потоки в верхней части гипсоангидритовой толщи и озеро карстовой природы формируют локальную естественную гидродинамическую систему, которая обуславливает карстовые процессы в центральной части села.*
3. Участок интенсивного подземного водного потока пересекает центральную часть с. Пески на территории между домами № 95–120. В пределах данной территории на глубине от 25 до 35 м выделено и прослежено 12 наиболее благоприятных для формирования карстовых пустот каналов. Закартированные каналы сформировались, в основном, в верхней обводненной части гипсоангидритовой толщи, вдоль юго-западного направления тектонической трещиноватости этих пород. Каналы пересекают зону расположения домов № 95, 95а, 99, 102, 110, 110а, 112, 115, а также центральную часть строения школы. Частично в зоне карстообразования находятся дома № 105, 107. Для каждого канала в точке зондирования определены глубины залегания и мощности зоны карстообразования.
 4. Новые геофизические данные свидетельствуют о том, что все ранее образованные провалы и воронки находятся в границах зон выделенных карстовых каналов.
 5. Карстовые провалы – это поверхностные (видимые) проявления карстовых процессов. Образование провалов (поверхностная активизация карстовых процессов) может обуславливаться увеличением мощности подземных водных потоков, которые на площади проведенных геофизических исследований имеют естественное происхождение. Частично мощность подземных водных потоков может усиливаться при условии перекрытия поверхностных истоков воды из оврагов, расположенных севернее села (таким процессам могут содействовать строительство искусственных озер, планирование и заиление мест поверхностного истока воды). *Целесообразно не проводить инженерно-геологические мероприятия, которые будут препятствовать свободной фильтрации истоков воды в северном направлении через северные балки.*
 6. Заиление и зарастание озера, в которое попадают истоки подземных водных потоков, могут также привести к поднятию уровня подземной воды в зоне сельских домов. Это, в свою очередь, может активизировать суффозионные процессы в песчано-глинистых отложениях поверхностного перекрытия гипсовой толщи, что приведет к нарушению ее целостности и образованию на поверхности воронок и провалов.
 7. Анализируя материалы проведенных геофизических исследований можно констатировать, что *основной причиной карстово-провальных процессов на территории с. Пески является наличие локального естественного подземного водного потока, который формируется в районе северного холма и мигрирует в южном (юго-западном) направлении, где образует озеро в долине р. Прерва.* Активизация карстово-провальной деятельности может обуславливаться прежде всего повышением мощности закартированного фильтрационно-миграционного потока.
 8. Наличие интенсивного подземного водного потока, вызванного естественными геологическими и гидрологическими условиями, приводит к тому, что угроза образования новых провалов становится постоянно действующим фактором.
 9. Для изучения влияния техногенных факторов от деятельности карьера на активизацию (ускорение) провальной деятельности необходимо провести дополнительные геофизические изыскания сейсмологического характера. Такие исследования дадут возможность установить интенсивность сейсмических колебаний от взрывов в карьере на участке выявленных карстовых пустот, характер их затухания вдоль направления карьер–зона карстообразования. Экспериментально полученные характеристики затухания сейсмических колебаний позволят обоснованно ответить на вопрос, могут ли взрывы в карьере быть спусковым механизмом образования провалов. В процессе выполнения таких исследований целесообразно также провести сопоставимый анализ интенсивности этих колебаний с интенсивностью колебаний, вызванных движением автомобильного транспорта по центральной дороге с. Пески.
 10. Результаты проведенных полевых исследований свидетельствуют об эффективности геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ при изучении (картировании) зон и участков развития карстовых процессов, водонасыщенных горизонтов, подземных водных потоков. Указанные методы могут также эффективно использоваться для оперативного мониторинга естественных и техногенных опасных явлений и процессов, связанных с карстами, провалами, проседанием, суффозионным выносом грунтов и др. Площадная съемка методом СКИП позволяет эффективно выделять и картировать зоны миграции подземных водных потоков, а также повышенного увлажнения грунтов. Методы электрорезонансного, сейсмоакустического и георадарного зондирования дают возможность определять глубины расположения увлажненных зон, подводных потоков, суффозионных полостей, карстовых воронок.

1. *Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.* Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы развед. геофизики. – 2006. – № 2. – С. 14–17.
2. *Боковой В.П., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Картирование оползневых участков и зон повышенного обводнения грунтов комплексом геофизических методов на склоне р. Днепр в г. Киев // Докл. НАН Украины. – 2003. – № 11. – С. 96–103.
3. *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.
4. *Левашов С.П., Яковенко Н.П., Якимчук Н.А. и др.* Использование современных георадарных технологий при инженерно-геологических изысканиях под реконструкцию и строительство дорог // Геоинформатика. – 2005. – № 1. – С. 80–85.
5. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др.* Комплексные геофизические исследования при строительстве автомобильных дорог // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2008. – С. 330–335.
6. *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.
7. *Слепак З.М.* Геофизика для города. – Тверь: ГЕРС, 2007. – 240 с.
8. *Козак П.І., Чалий П.П., Стахів Т.М., Кур'янович П.О.* Звіт “Проведення спеціалізованих інженерно-геологічних досліджень карстонебезпечної території в зоні стійкого лиха в с. Піски Пустомитівського району Львівської області, 2006 р.”/ Фонди ДГП “Захід-укргеологія”.

Поступила в редакцію 30.09.2008 г.

С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаний, Д.Н. Божжежа

ОПЕРАТИВНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Представлены результаты геофизических исследований в пределах зоны интенсивного развития карстовых процессов. Площадная съемка методом становления короткоимпульсного поля позволяет эффективно выделять и картировать зоны миграции подземных водных потоков, а также повышенного увлажнения грунтов. Методы вертикального электрорезонансного и георадарного зондирований дают возможность определять глубины расположения увлажненных зон, подземных водных потоков, суффозионных полостей, карстовых пустот. Эти геофизические методы могут эффективно использоваться для оперативного мониторинга естественных и техногенных опасных явлений и процессов, связанных с карстами, провалами, проседанием, суффозионным выносом грунтов и др.

С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін, Ю.М. Пищаний, Д.М. Божжежа

ОПЕРАТИВНЕ ОБСТЕЖЕННЯ І МОНИТОРИНГ ДІЛЯНОК РОЗВИТКУ КАРСТОВИХ ПРОЦЕСІВ ГЕОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Наведено результати геофізичних досліджень у межах зони інтенсивного розвитку карстових процесів. Площинна зйомка методом становлення короткоімпульсного поля дає змогу ефективно виділяти та картувати зони міграції підземних водних потоків, а також підвищеного зволоження ґрунтів. Методи вертикального електро-резонансного та георадарного зондувань дають можливість визначати глибини розміщення зволжених зон, підземних водних потоків, суфозійних порожнин, карстових пустот. Зазначені геофізичні методи можна ефективно використовувати для оперативного моніторингу природних і техногенних небезпечних явищ та процесів, пов'язаних з карстами, провалами, просіданням, суфозійним винесенням ґрунтів тощо.