

**ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ УЧАСТКОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ**

© С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, 2009

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

The results of practical application of a complex of geoelectric methods for forming a short-pulsed electromagnetic field (FSPEF), and vertical electric-resonance sounding (VERS) and georadar sounding at destroyed and landslide-dangerous areas of roads are given. It is shown, that the existence of zones with raised filtering of ground waters is the main reason for roadway erosion and landslides formation. The finding and mapping of water flows and areas of the raised soil moistening can be effectively realized with a complex of the suggested geophysical methods. This complex can also be used for regular monitoring of the engineering-geological condition of the environment at landslide-dangerous areas of roads.

Введение. В последних публикациях авторов [2, 3] показано разрушающее воздействие подземных водных потоков на формирование и протекание карстовых процессов, а также на объекты и инфраструктуру строящихся и действующих линий метрополитена приповерхностного залегания. В этих же работах демонстрируется эффективность комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП), вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (экспресс-технология СКИП–ВЭРЗ) [6–8] и георадарного зондирования при решении задач оперативного обнаружения и картирования подземных фильтрационных потоков.

Поверхностные и подземные водные фильтрационные потоки существенно влияют также на формирование и развитие оползневых явлений. Нелишнее в этом плане вспомнить разрушение мостов, участков автомобильных дорог и других объектов транспортной инфраструктуры, вызванное ливневыми дождями и паводками летом 2008 г. в Западной Украине. В связи с этим проблема изучения и мониторинга оползнеопасных участков геофизическими методами достаточно актуальна.

Традиционно при обследовании оползней и оползнеопасных участков геофизическими методами решаются задачи:

- а) изучения строения оползневых склонов с определением глубин залегания уровня грунтовых вод, зеркала скольжения и поверхности коренных пород;
- б) оценки изменения физических свойств и состояния оползневых накоплений во времени;
- в) изучения динамики и прогноз оползневого процесса;

г) оценки качества противооползневых мероприятий.

Предпосылкой для применения геофизических методов при изучении оползней служит дифференциация физических свойств залегающих на склонах коренных пород и оползневых накоплений. В теле оползня появляются дополнительные границы, связанные с поверхностью фильтрационного потока.

Оползневые накопления картируют традиционными методами электро- и сейсмопрофилеирования (ЭП, ЕП, МПВ). Детальное расчленение разреза оползневого склона проводят методами зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ–ВП) и МПВ. Для прогноза устойчивости оползней важное значение имеет изучение их обводненности. При определении уровня грунтовых вод, степени увлажнения оползневых тел эффективны методы МПВ, ВЭЗ, ВЭЗ–ВП. Изменение физических свойств и состояния оползневых накоплений во времени изучается путем режимных геофизических наблюдений с использованием тех же полевых, а также скважинных методов.

Для изучения динамики оползневого процесса применяются магнитные реперы. Периодическая микромагнитная съемка над участком заземления таких реперов позволяет оценивать движение оползневого тела по смещению создаваемых реперами локальных магнитных аномалий.

Изучение динамики упругих напряжений в теле оползня вследствие внутренних процессов и внешних нагрузок, сопровождающих смещение оползневых масс, осуществляется с помощью методов акустической (АЭ) и электромагнитной (ЭМЭ) эмиссии. Суть этих методов сводится к



Рис. 1. Карта участка проведения работ: 1 – участок проведения геофизических изысканий

регулярному определению акустических и электромагнитных шумов, т. е. к регистрации естественных упругих и электромагнитных колебаний разных частот. Количество и интенсивность акустических и электромагнитных импульсов изменяются при изменении напряженного состояния массива, что можно использовать для диагностирования движения оползня.

В последнее время для изучения оползней применяются радиоволновой метод исследований [1], импульсные электромагнитные методы [4, 5], а также высокоточная гравиразведка [5].

Технология СКИП–ВЭРЗ и метод георадарного зондирования активно использовались для обследования разрушенных участков дорог и мостов в Западной Украине в августе–сентябре 2008 г. Так, за полтора месяца полевых работ геофизическими методами обследовано около 15 разрушенных дорожных объектов. Ниже представлены результаты применения комплекса геоэлектрических и георадарного методов для оперативного проведения инженерно-изыскательских работ на оползневом участке автомобильной дороги Мукачево – Ивано-Франковск – Рогатин – Львов.

Общие сведения. Геофизические исследования оползневой зоны на автомобильной дороге Н09 Мукачево – Рогатин – Львов проводились в августе 2008 г. Исследовался участок между пикетами (ПК) 208+00 – ПК 209+00, который расположен перед Яблоникским перевалом в Закарпатской обл. Общий план местности района работ показан на рис. 1. На данном интервале дороги образовалось несколько оползней, частично разрушивших левую полосу дороги.

Полевые геофизические работы проводились геоэлектрическими методами СКИП, ВЭРЗ и георадарного зондирования. С помощью метода СКИП выполнено картирование зон повышенной увлажненности грунтов и повышенной фильтрации подземных вод, установлены пути миграции подземных водных потоков, которые формируются за счет дождевых и талых вод. Методами зондирования установлены глубины увлажнения грунтов, мощность рыхлых отложений и глубины до кровли аргиллит-алевролитовой

толщи. Выделены зоны тектонических нарушений. Георадарное зондирование проводилось георадаром “ОКО-2” с антенным блоком АБ-250 МГц. Шаг зондирования по профилям 10 см, глубина зондирования до 15 м.

Результаты геофизических работ. Геофизическими измерениями вдоль автомобильной дороги выделено пять зон повышенного увлажнения верхнего слоя грунтов (рис. 2). В пределах этих зон мигрируют подземные водные потоки, что обуславливает образование оползней грунтов. На

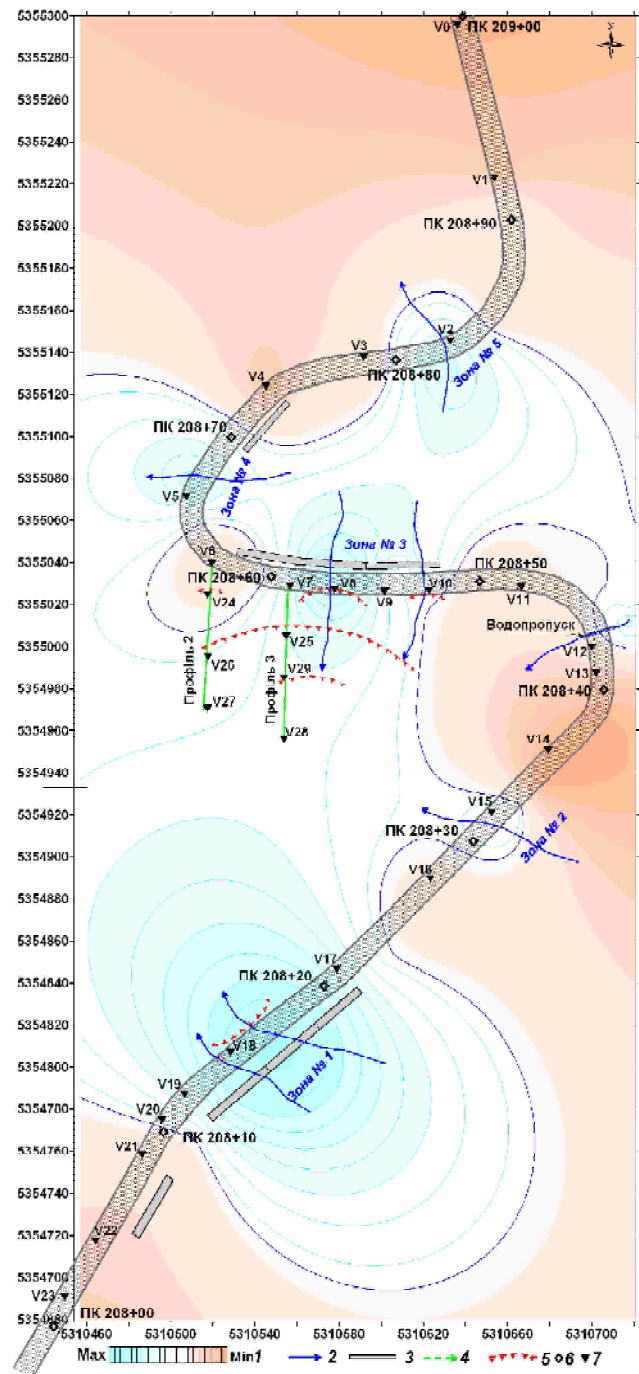


Рис. 2. Карта зон повышенного увлажнения грунтов вдоль автомобильной дороги Н09 Мукачево – Рогатин – Львов на участке ПК 209+00 – ПК 208+00 в Закарпатской обл.: 1 – шкала относительного увлажнения грунтов; 2 – направление миграции подземных вод; 3 – подпорные стены; 4 – профили вертикальных разрезов № 2, 3; 5 – линии сколов оползневых участков; 6 – пикеты; 7 – пункты ВЭРЗ

рис. 3–5 представлены результаты вертикального зондирования вдоль левой полосы дороги, на рис. 6 – по склону оползневой зоны. Характеристика вертикального строения разрезов на оползнеопасных участках зон повышенного увлажнения грунтов приведена в таблице.

Зона № 1. Вдоль дороги эта зона определена в интервале ПК 208+108 – ПК 208+243. Ее длина 135 м. Зона формируется фильтрационным водным потоком, который инфильтруется с холма. За обочиной правой полосы построена подпорная стена. Подземный водный поток проходит под подпорной стеной и формирует оползневую зону вдоль левой полосы. В районе ПК 208+130 отмечаются проседание проездной части и трещины в асфальтовом покрытии.

По данным комплекса геофизических исследований, оползнеопасный участок длиной 98 м определен в интервале ПК 208+135 – ПК 208+233. Вертикальное строение оползневой зоны показано в таблице.

Увлажненные грунты зафиксированы в интервале от 1,8 до 6,0–7,0 м. Плоскость скольжения оползня установлена на глубине 6,0–7,0 м.

Зона № 2. Определена между ПК 208+290 и ПК 208+330, длина 40 м. В пределах зоны в районе дороги оползневых процессов не выявлено. Оползнеопасный участок длиной 25 м установлен в интервале ПК 208+300 – ПК 208+325.

Увлажненные грунты зафиксированы в интервале от 1,8 до 6,0 м. Плоскость скольжения оползня может образоваться под дорогой на глубине 6,0 м.

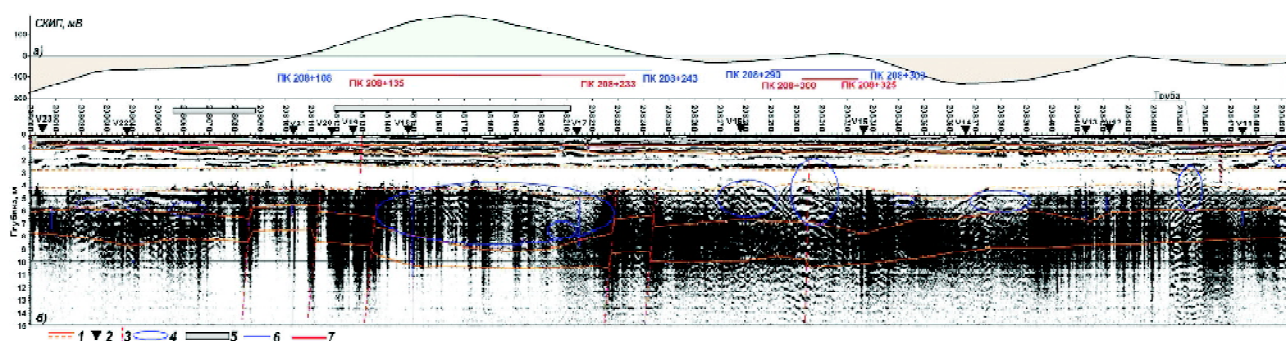


Рис. 3. Вертикальный георадарный разрез вдоль дороги (точки ВЭРЗ 23–11): а – график поля СКИП; б – георадарный разрез; 1 – литологические границы; 2 – пункты зондирования ВЭРЗ; 3 – тектонические нарушения толщи аргиллит-алевролитовой толщи; 4 – зоны повышенной фильтрации грунтовых вод; 5 – подпорные стены; 6 – увлажненные зоны; 7 – оползнеопасные участки

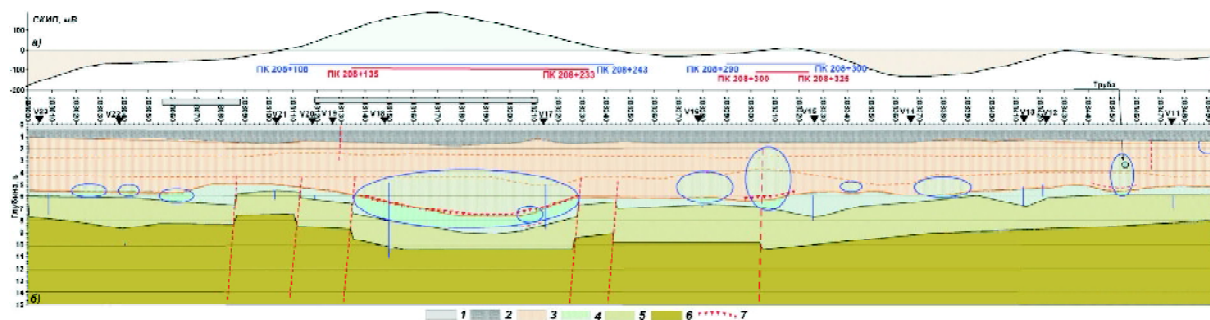


Рис. 4. Вертикальный геолого-геофизический разрез вдоль дороги (точки ВЭРЗ 23–11): а – график поля СКИП; б – геолого-геофизический разрез; 1 – дорожное покрытие; 2 – насыпные и поверхностные грунты с примесью щебня; 3 – оползневые грунты (суглинки, примеси щебня); 4 – глина, щебень; 5 – аргиллиты, алевролиты (трещиноватые); 6 – аргиллиты, алевролиты (плотные); 7 – зона сползания оползня. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 3

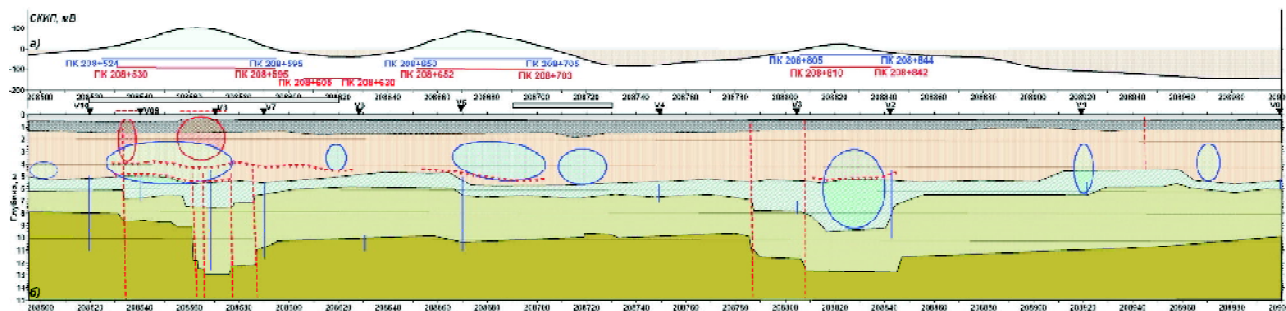


Рис. 5. Вертикальный геолого-геофизический разрез вдоль дороги (точки ВЭРЗ 10–0): а – график поля СКИП; б – геолого-геофизический разрез. Условные обозначения те же, что на рис. 3, 4

Характеристика вертикального строения разрезов оползневых зон

Породы	Мощность зон, м				
	1	2	3	4	5
Дорожное покрытие, щебень	0,0 – 0,4–0,5	0,0 – 0,4–0,5	0,0 – 0,4–0,5	0,0 – 0,4 – 0,5	0,0 – 0,4 – 0,5
Насыпные грунты	0,5 – 1,5–1,8	0,5 – 1,5–1,7	0,5 – 1,8	0,5 – 1,8	0,5 – 1,8
Оползневые грунты (“увлажненные суглинки”?)	1,8 – 7,0	1,7 – 6,0	1,8 – 5,0	1,8 – 5,5	1,8 – 5,0
Глинисто-щебенистая зона	7,0 – 9,0	6,0 – 7,0	5,0 – 7,0	5,5 – 6,5	5,0 – 9,0
Трециноватые аргиллиты и песчаники	9,0 – 10,0	7,0 – 10,0	7,0 – 12,0	6,5 – 10,0	9,0 – 12,0
Аргиллиты, алевролиты с прослойками песчаников (плотные)	с 10,0	с 10,0	с 12,0	с 10,0	с 12,0

Зона № 3. На участке исследований данная зона (ПК 208+524 – ПК 208+595, длина 71 м), наиболее мощная и наиболее оползнеопасная. В ее пределах по левой полосе дороги возникло два оползня грунтов, которые частично повредили дорожное полотно.

С правой обочины дороги построена подпорная стена. Подземный водный поток фильтруется под стеной и мигрирует в балку, расположенную ниже по склону.

По геофизическим данным оползнеопасный участок в пределах зоны увлажнения определяется в интервале ПК 208+530 – ПК 208+595 и ПК 208+605 – ПК 208+630. Длина оползнеопасных участков – 65 и 25 м (рис. 6).

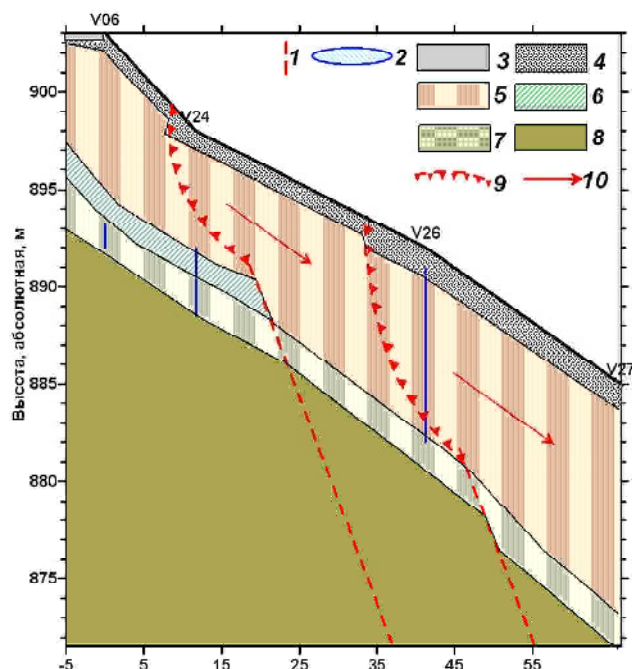


Рис. 6. Вертикальный геолого-геофизический разрез в районе оползневой зоны дороги (поперечный профиль 2): 1 – тектонические нарушения аргиллит-алевролитовой толщи; 2 – зоны повышенной фильтрации грунтовых вод; 3 – дорожное покрытие; 4 – насыпные и поверхностные грунты; 5 – оползневые грунты (суглинки, примеси щебня); 6 – глина, щебень; 7 – аргиллиты, алевролиты (трециноватые); 8 – аргиллиты, алевролиты (плотные); 9 – зона скольжения оползня; 10 – направление скольжения грунта

Увлажненные грунты выявлены в интервале от 2,0 до 5,0 м. Плоскость скольжения оползня может образоваться под дорогой на глубине 4,0 и 6,0 м.

Зона № 4. Определена в пределах ПК 208+650 – ПК 208+705, длина 55 м. Со стороны правой полосы зону частично перекрывает подпорная стена. Подземный водный поток фильтруется под стеной. В районе дороги оползня на данном участке не выявлено. Оползнеопасным является участок длиной 51 м в интервале ПК 208+652 – ПК 208+703.

Увлажненные грунты выявлены в интервале от 2,0 до 5,0 м. Плоскость скольжения оползня может образоваться под дорогой на глубине 4,0 м.

Зона № 5. Определена в пределах ПК 208+805 – ПК 208+844, длина 39 м. В районе дороги на период проведения геофизических работ оползня не выявлено. По геофизическим данным оползнеопасный участок длиной 31 м в пределах зоны может быть определен в интервале ПК 208+810 – ПК 208+842.

Увлажненные грунты выявлены в интервале от 3,0 до 9,0 м. Плоскость скольжения оползня может образоваться под дорогой на глубине 5,0 м.

В целом на обследованном участке дороги Н09 Мукачево – Рогатин – Львов между ПК 208+00 – ПК 209+00 закартировано пять зон повышенного увлажнения грунтов длиной 135, 40, 71, 55 и 39 м соответственно вдоль дороги. В пределах этих зон выделены оползнеопасные участки длиной 98, 25, 65, 51 и 31 м. Образование оползней и разрушений дорожного полотна на обследованном участке дороги обусловлено фильтрационными подземными водными потоками, которые формируются за счет поверхностных вод и мигрируют вниз по склону, увлажняя рыхлые грунты.

Краткие сведения об обследовании других дорог. В августе–сентябре 2008 г. полевые измерения методами СКИП–ВЭРЗ и георадарного зондирования на участках разрушения дорожного полотна других дорог проводились по описанной выше методике. По данным съемки методом СКИП построены карты повышенного

увлажнения грунтов вдоль разрушенных участков дорог. По данным электрорезонансного и георадарного зондирования сформированы вертикальные геолого-геофизические разрезы участков оползневых зон, определены глубины расположения плоскостей скольжения рыхлых отложений. Результаты выполненных полевых работ сводятся к следующему.

Участок Ильцы. Геофизические работы на автомобильной дороге Ильцы – Буркут в районе поселка Красник проведены на оползнеопасном участке дороги длиной 305 м. Участок расположен в зоне, где автомобильную дорогу пересекает балка. На данном интервале дороги сформировался оползень, который полностью разрушил проезжую часть автомобильной дороги. На время проведения геофизических работ дорога была частично отремонтирована – зона оползня засыпана гравиевым материалом.

Съемкой методом СКИП здесь закартированы четыре подземных фильтрационных водных потока длиной 16, 60, 33 и 62 м соответственно. Они мигрируют в р. Черемош вдоль балки, а также по ее правому и левому бортам. Эти потоки при значительных осадках способствуют интенсификации оползневых явлений. На участке изысканий выделены четыре оползнеопасные зоны общей длиной 124 м (10, 56, 20 и 38 м).

Участок Ворохта. Обследована зона в интервале ПК 72+68 – ПК 78+75 на автомобильной дороге Татарив – Каменец-Подольский в районе пгт Ворохта (август 2008 г.). На участке работ между ПК 78+20 – ПК 78+43 образовался оползень, который повредил правую проезжую часть дороги – полностью разрушил тротуар. Также разрушена подпорная стена и повреждена дренажная труба, проложенная под дорогой.

Съемкой СКИП на участке между ПК 72+68 – ПК 78+95 выделено пять интервалов повышенного увлажнения грунтов под полотном дороги длиной 16, 21, 42, 48 и 38 м соответственно. В пределах четырех из них выявлены оползнеопасные участки длиной 20, 30, 34 и 20 м. На одном из них образовалась оползневая зона, повредившая правую проезжую часть дороги. На других участках выявлены небольшие повреждения пешеходного тротуара.

В сентябре 2008 г. обследовано также пять участков разрушения дороги Р-62 (Выжница – Сторожинец – Черновцы) в Путивльском районе Черновицкой обл. Все участки расположены на правом берегу р. Черемош.

Выводы. Геофизическими исследованиями установлено, что основной причиной размывов полотна автомобильных дорог и формирования оползней является наличие зон повышенной фильтрации грунтовых вод. Уровни воды фильтрационных потоков существенно зависят от количества

осадков. При сильных и продолжительных дождях уровень воды в фильтрационных потоках поднимается, что приводит к увлажнению грунтов верхней части разреза и, следовательно, формированию и развитию оползневых процессов.

На участках проведенных работ зоны фильтрации подземных потоков и повышенного увлажнения грунтов выявлены и закартированы, определены также глубины их залегания. Результаты работ представлены картами повышенного увлажнения грунтов вдоль дороги и вертикальными геолого-геофизическими разрезами участков оползневых зон. Определены глубины плоскостей скольжения рыхлых отложений. Для предотвращения разрушения дорожного полотна водными потоками на некоторых участках рекомендовано строительство дренажей и водопропусков.

Полученные результаты свидетельствуют, что оперативное обследование разрушенных и оползнеопасных участков дорожной инфраструктуры может осуществляться комплексом геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля, вертикального электрорезонансного зондирования, а также георадарного зондирования. Этот комплекс методов позволяет оперативно выполнять полевые геофизические измерения, что значительно сокращает сроки проведения инженерно-изыскательских работ в целом. Площадной съемкой методом СКИП эффективно выделяются и картируются зоны миграции подземных водных потоков, а также повышенного увлажнения грунтов. Методы электрорезонансного и георадарного зондирования дают возможность определять глубины расположения увлажненных зон, подводных потоков, границ между отдельными комплексами пород, суффозионных полостей, карстовых воронок и провалов.

Геоэлектрические методы СКИП–ВЭРЗ и георадарное зондирование могут также использоваться для оперативного проведения наблюдений мониторингового характера на оползнеопасных участках дорог.

1. *Задериголова М.М.* Радиоволновой метод в инженерной геологии и геоэкологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 319 с.
2. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др.* Оперативное обследование и мониторинг участков развития карстовых процессов геофизическими методами // Геоинформатика. – 2008. – № 4. – С. 63–68.
3. *Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М.* Эффективность оперативных геофизических технологий при изучении инженерно-геологических условий на участках метрополита на приповерхностного залегания // Там же. – 2009. – № 2. – С. 30–47.
4. *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.

5. *Слепак З.М.* Геофизика для города. – Тверь: ГЕРС, 2007. – 240 с.
6. *Шуман В.Н., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 22–50.
7. *Vokovoy V.P., Levashov S.P., Yakymchuk M.A. et al.* Mudslide area and moistening zones mapping with geophysical methods on the slope of the Dniper river in Kyiv. 65nd EAGE conf. & Exhibition. – Stavanger, Norway, 2003. – Extended Abstr., P208. – 4 p.
8. *Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N., Pyschaniy Ju.M.* Express-technology of geoelectric and seismic-acoustic investigations in ecology, geophysics and civil engineering. Near Surface 2005. 11th Eur. Meet. of Environmental and Engineering Geophysics. – Palermo, Italy, 2005. – Extended Abstr. P046. – 4 p.

Поступила в редакцию 03.06.2009 г.

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

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ УЧАСТКОВ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Приведены результаты применения комплекса геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля, вертикального электрорезонансного зондирования и георадарного зондирования на разрушенных и оползневых участках дорог. Показано, что основной причиной размылов полотна автомобильных дорог и формирования оползней является наличие зон повышенной фильтрации грунтовых вод. Обнаружение и картирование водных потоков и участков повышенной фильтрации можно оперативно осуществлять комплексом указанных геофизических методов. Этот комплекс можно использовать и для регулярного мониторинга инженерно-геологического состояния среды на оползнеопасных участках дорог.

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

ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ДІЛЯНОК ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТКУ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ

Наведено результати застосування комплексу геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, вертикального електрорезонансного зондування та георадарного зондування на зруйнованих і зсувонебезпечних ділянках доріг. Показано, що основною причиною розмивання полотна автомобільних доріг та формування зсувів є наявність зон підвищеної фільтрації ґрунтових вод. Виявлення та картування водних потоків і ділянок підвищеної фільтрації можна оперативно здійснювати комплексом зазначених геофізичних методів. Цей самий комплекс можна також застосовувати для регулярного моніторингу інженерно-геологічного стану середовища на зсувонебезпечних ділянках доріг.