

© С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³,
В.В. Прилуков², Ю.Н. Якимчук², 2009

УДК 550. 837.3

¹*Институт прикладных проблем экологии,
геофизики и геохимии, г. Киев*

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

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

ОПЕРАТИВНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ РАЗРУШЕННЫХ МОСТОВ И ДОРОГ

Введение. Геофизические методы широко применяются в последнее время для решения широкого круга экологических, инженерно-геологических и геолого-геофизических задач. Важное место при проведении комплексных геофизических исследований отводится также геоэлектрическим и электромагнитным методам. Возможности этих методов при решении разнообразных задач приповерхностной геофизики, а также перспективы их дальнейшего применения детально анализируются в серии публикаций обзорного характера [5–9].

Для оперативного решения инженерно-геологических задач, связанных с природными и техногенными процессами разрушительного характера, используются экспресс-технологии геофизических исследований, которые позволяют оперативно проводить полевые геофизические измерения и получать необходимую экспериментальную информацию для решения конкретных практических задач своевременно и эффективно (в полном объеме). К такого рода технологиям принадлежит комплекс геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) (технология СКИП–ВЭРЗ), а также сейсмоакустического и георадарного зондирования [1–4]. Эти оперативные методы исследований неоднократно применялись для поисков и картирования водонасыщенных коллекторов и подземных водных потоков [1], изучения инженерно-геологических условий на территориях историко-архитектурных заповедников [3], инженерно-геологических изысканий при реконструкции и строительстве автомобильных дорог [4].

Летом 2008 г. на западе Украины в результате ливневых дождей и паводков были разрушены мосты, участки автомобильных дорог и другие объекты транспортной инфраструктуры. Технология СКИП–ВЭРЗ и метод геора-

дарного зондирования были активно использованы для обследования разрушенных участков. Так, за полтора месяца полевых работ в августе-сентябре с помощью геофизических методов обследовано 15 разрушенных дорожных объектов. Ниже представлены результаты применения комплекса геоэлектрических и георадарного методов для оперативного проведения инженерно-изыскательских работ на участке капитального ремонта моста через р. Стрый. Приводится также краткая информация о характере работ и полученных результатах на других объектах разрушенной дорожной инфраструктуры.

Общие сведения и методика полевых работ. На участке работ в результате летнего паводка мостовой переход через р. Стрый был разрушен. Выше по течению устроен временный мост. Для строительства нового моста выбран участок ниже по течению, на расстоянии 50 м от старого моста. Геофизические изыскания участка строительства автомобильного моста через р. Стрый проведены в сентябре 2008 г. Основной задачей геофизических исследований было определение и картирование кровли плотных (ненарушенных, коренных) пород, которые в этом районе представлены толщей аргиллитов и алевролитов с прослойками песчаника.

Полевые работы проведены с применением геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля (СКИП), вертикального электро-резонансного зондирования (ВЭРЗ), а также георадарного зондирования. Площадная съемка методом СКИП применялась для картирования зон повышенного увлажнения пород и повышенной фильтрации подземных вод. Методы зондирования использовались для определения мощности рыхлых отложений и глубины до кровли коренной, ненарушенной аргиллит-алевролитовой толщи.

Полевые измерения методом СКИП на участке работ проведены по отдельным профилям с шагом 1 м. Координаты начала и конца профиля определяли с помощью *GPS*-приемника. По данным съемки СКИП построена карта зон повышенной увлажненности грунтов и определены пути миграции подземных водных потоков. Зондирование ВЭРЗ проводилось в отдельных пунктах. По данным зондирования определяли глубину залегания увлажненных пород.

Георадарные исследования выполняли используя георадар “ОКО-2” с антенным блоком АБ-250 Мгц. Зондирование проведено по отдельным профилям, шаг измерений по профилю – 0,1 м, глубина исследования – 20 м.

По описанной выше методике выполнены также полевые измерения и на других разрушенных объектах дорожной инфраструктуры.

Результаты геофизических работ. Основной объем полевых геофизических измерений выполнен вдоль центральной оси строительства мостового

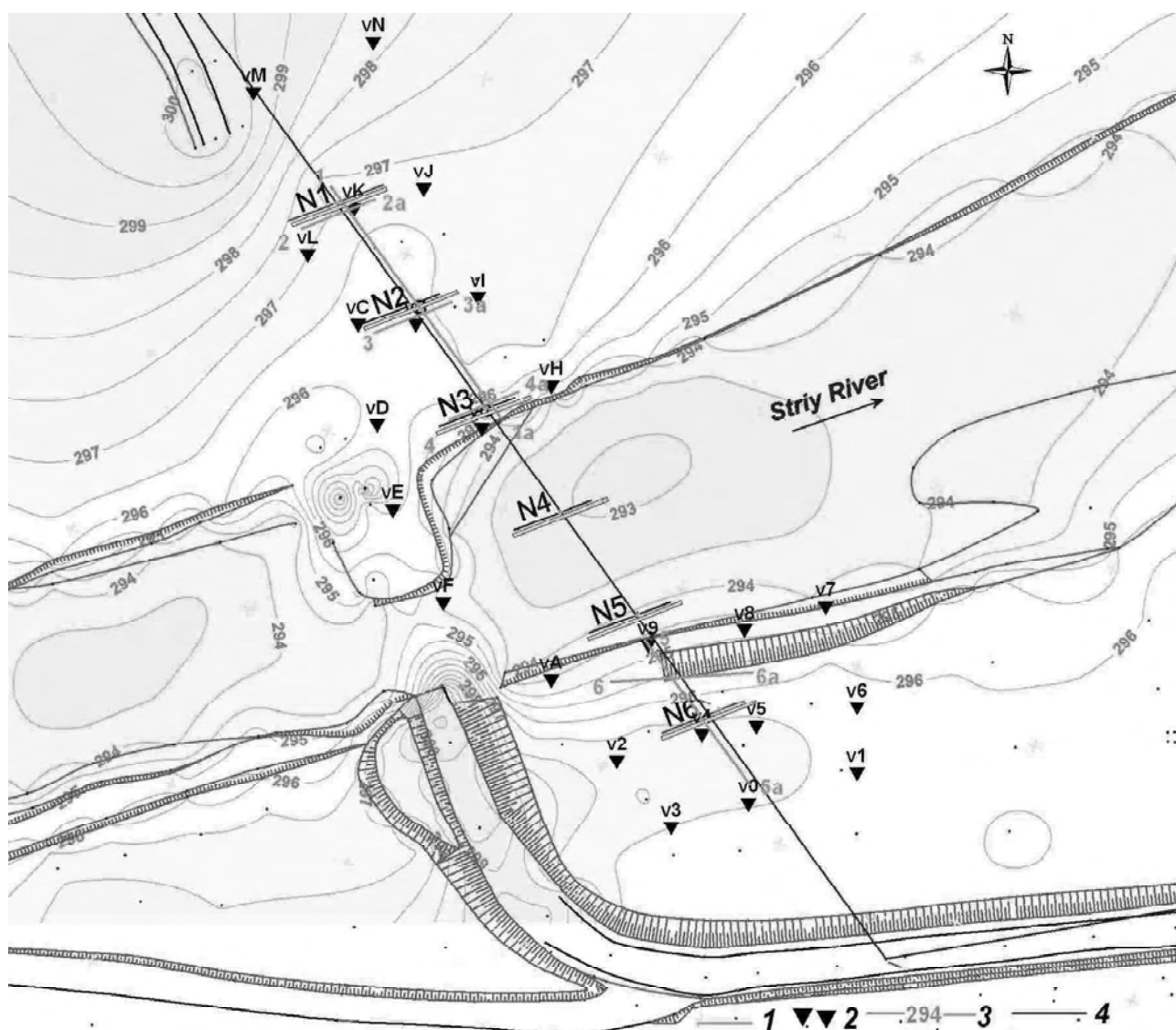


Рис. 1. Топографическая схема участка строительства мостового перехода через р. Стрый. 1 – профили георадарного зондирования N1–6; 2 – пункты ВЭРЗ; 3 – изолинии рельефа (в относительных значениях); 4 – ось трассы

перехода, а также на участках устройства мостовых опор. Положение профилей наблюдений и отдельных пунктов геофизической съемки приведено на рис. 1.

По результатам исследований методом СКИП ниже по течению от оси проектируемого мостового перехода выявлена зона повышенной интенсивности фильтрации подземной воды. Данная зона связана с мелкоамплитудным тектоническим нарушением. Вдоль тектонически ослабленной зоны осуществляется миграция воды в юго-восточном направлении. Частично фильтрационные воды впадают в речку. Глубина фильтрационного водного потока – до 10–12 м. Незначительное тектоническое нарушение выявлено в районе расположения существующего моста. Данное нарушение могло способствовать разрушению мостового перехода при значительном паводке. На рис. 2 приведена карта зон повышенной фильтрации грунтовой воды на участке проведения геофизических изысканий.

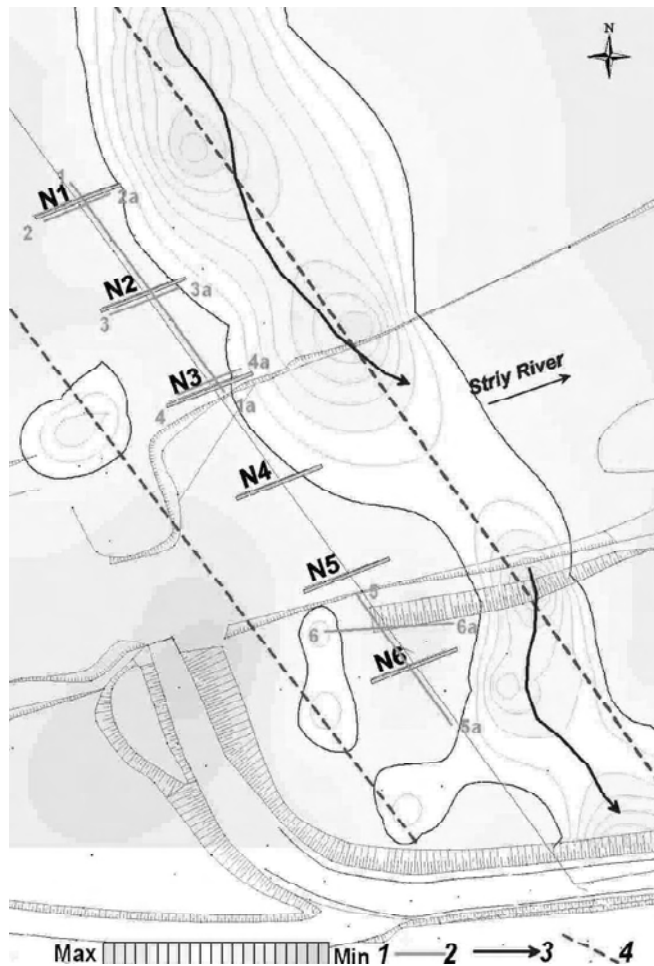


Рис. 2. Карта зон повышенной фильтрации подземных вод на участке строительства мостового перехода через р. Стрый. 1 – шкала относительной скорости фильтрации; 2 – профили георадарного зондирования N1–6; 3 – направление миграции подземных вод; 4 – тектонические нарушения

По данным георадарного зондирования и зондирования ВЭРЗ определена мощность рыхлых отложений, которые в верхней части представлены суглинками, а в нижней – гравийно-галечными отложениями (рис. 3).

Карта кровли коренных пород, представленная на рис. 4, построена с учетом относительных значений высоты местности, представленных на топографической карте (рис. 1).

По данным зондирований построены вертикальные геолого-геофизические разрезы вдоль оси мостового перехода и поперечные разрезы в местах устройства мостовых опор (рис. 5, 6).

С помощью ВЭРЗ определена глубина геологических границ на участках устройства мостовых опор. На геолого-геофизических разрезах комплексы отложений в районе работ обозначены следующим образом: *A* – суглинки с примесями щебня; *B* – гравийно-галечные отложения; *BW* – увлажненные породы; *C* – трещиноватые аргиллиты, алевролиты, прослойки глин; *D* – плотные (ненарушенные) аргиллиты, алевролиты.

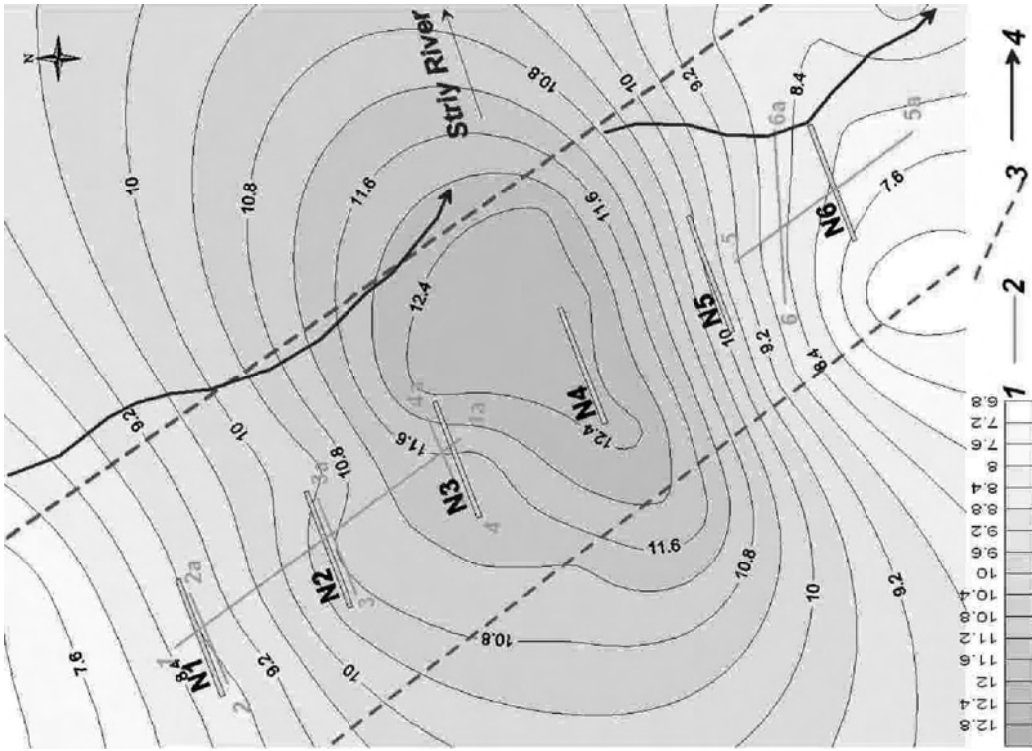


Рис. 3. Карта мощности рыхлых отложений на участке строительства мостового перехода через р. Стрый. 1 – шкала мощности рыхлых отложений (метры); 2 – профили георадарного зондирования; 3 – тектонические нарушения; 4 – направление миграции подземных вод

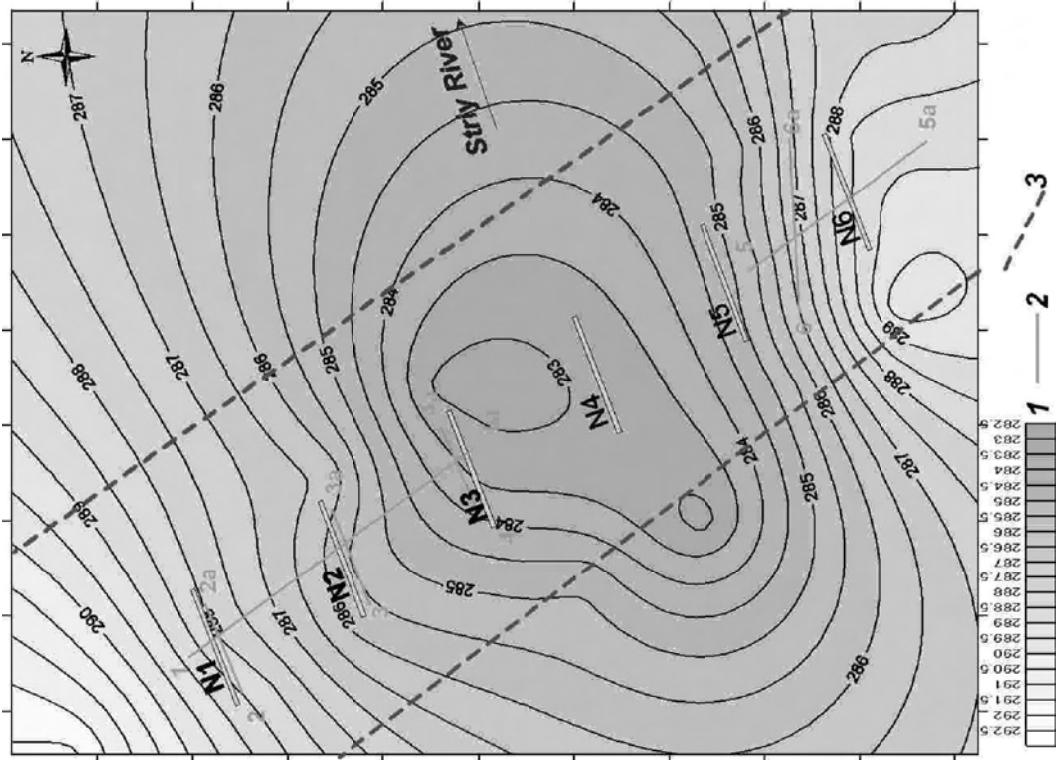


Рис. 4. Карта кровли аргиллит-алевролитовой толщи на участке строительства мостового перехода через р. Стрый. 1 – шкала относительных значений кровли (метры); 2 – профили георадарного зондирования N1–6; 3 – тектонические нарушения

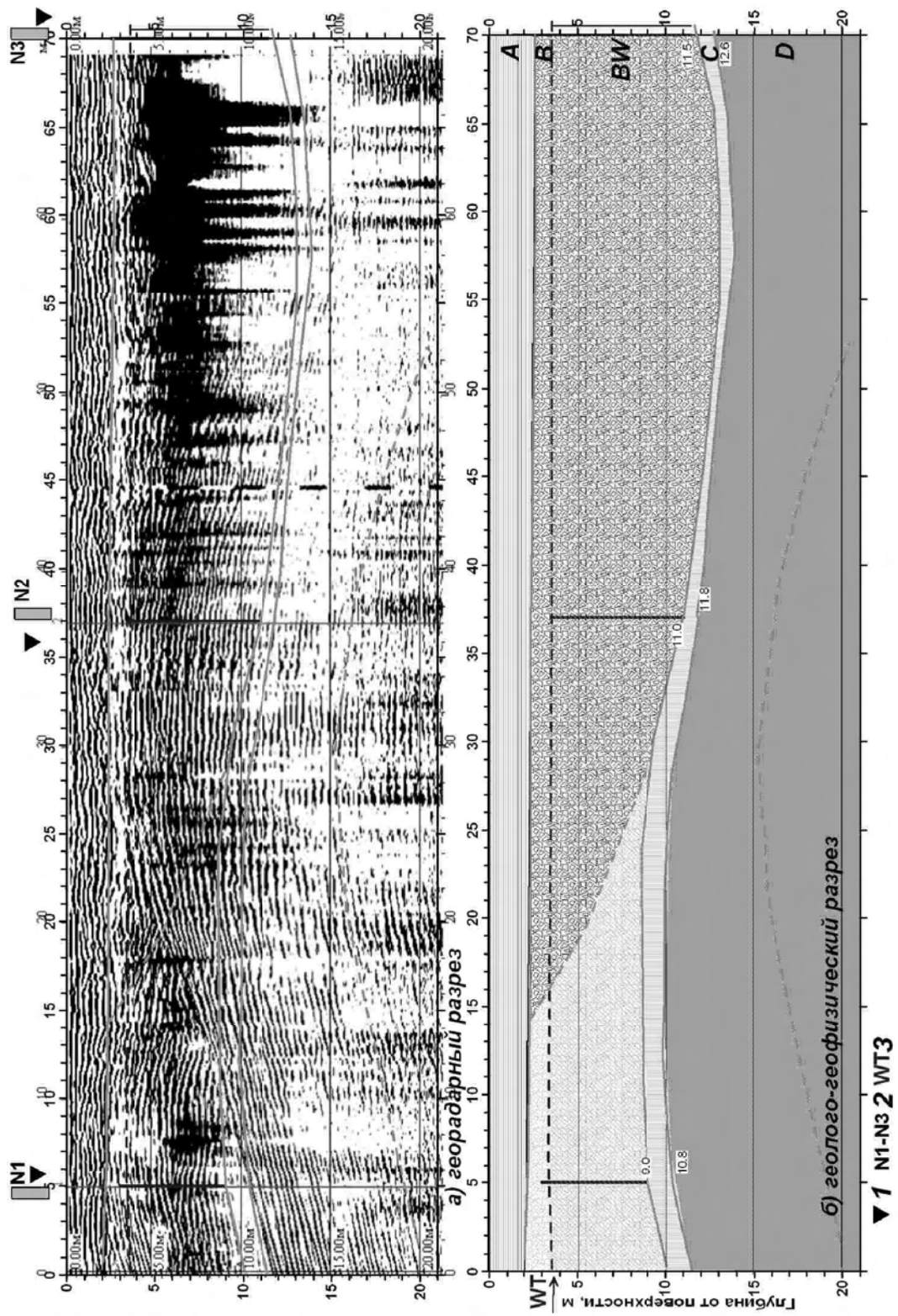


Рис. 5. Геолого-геофизический разрез вдоль профиля 1–1а (левый берег) участка строительства моста через р. Стрый. 1 – пункты ВЭРЗ; 2 – мостовые опоры N1–3; 3 – уровень грунтовых вод. Комплексы пород: А – суглинки с примесью щебня; В – гравийно-галечные отложения; ВВ – увлажненные породы; С – трещиноватые аргиллиты, алевролиты, прослойки глин; D – плотные (ненарушенные) аргиллиты, алевролиты

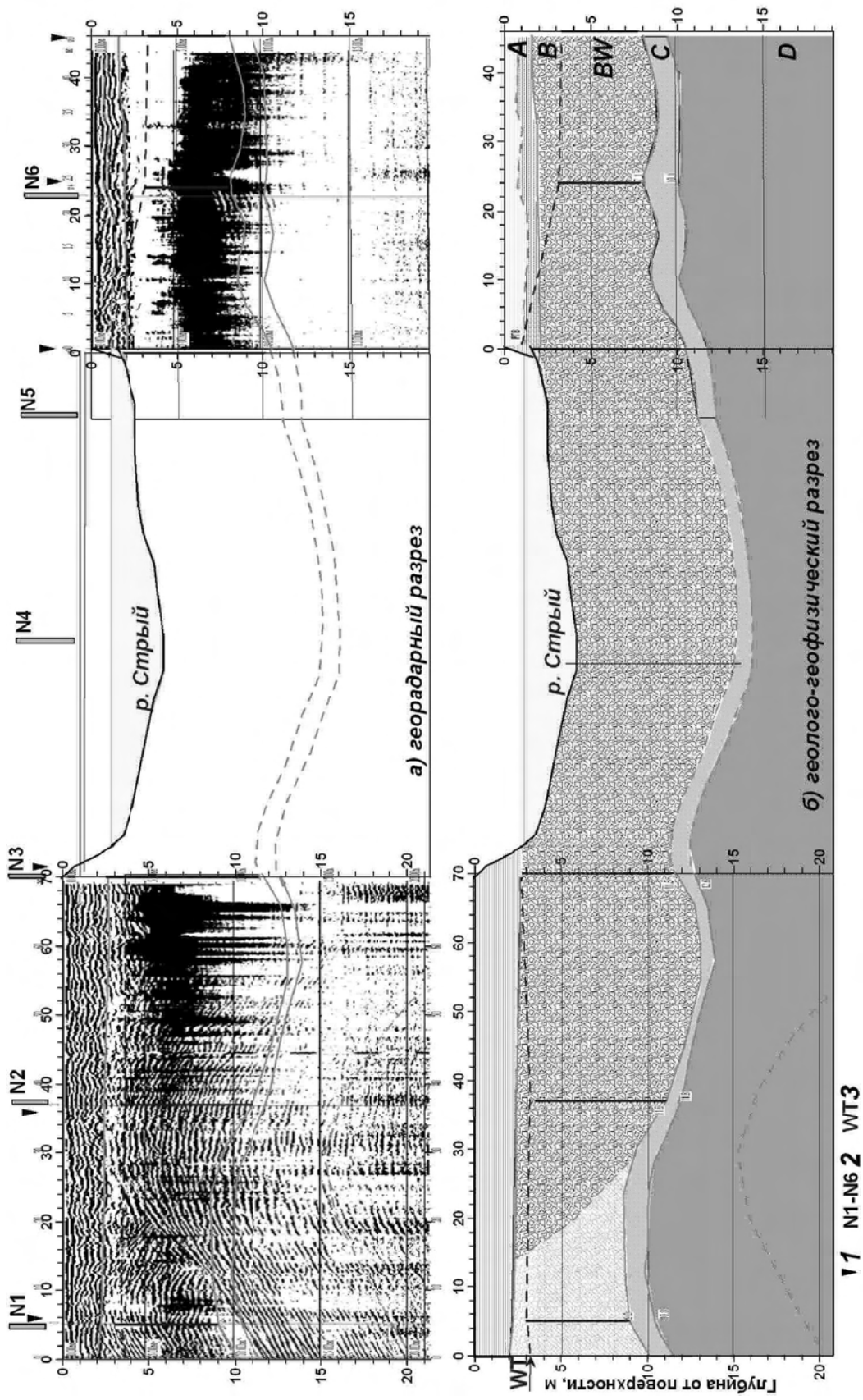


Рис. 6. Геолого-геофизический разрез на участке строительства моста через р. Стрый. 1 – пункты ВЭРЗ; 2 – мостовые опоры N1–6; 3 – уровень грунтовых вод. Комплексы пород: см. на рис. 5

С учетом этих обозначений укажем глубину расположения отложений разреза в районе опор моста:

Опора N1: А – 0,0–2,0 м; В – 2,0–9,0 м; С – 9,01–10,8 м; D – 10,8 м;

Опора N2: А – 0,0–2,0 м; В – 2,0–11,0 м; С – 11,0–11,8 м; D – 11,8 м;

Опора N3: А – 0,0–2,3 м; В – 2,3–11,5 м; С – 11,5–12,6 м; D – 12,6 м;

Опора N4: А – нет; В – 293,5–283,0 м; С – 283,0–282,5 м; D – 282,5 м (относительные);

Опора N5: А – нет; В – 1,0–11,0 м; С – 11,0–12,0 м; D – 12,0 м;

Опора N6: А – 0,0–1,0 м; В – 1,0–7,1 м; С – 7,1–10,1 м; D – 10,1 м.

Значения глубины в районе опор N1–N3, N6 определены по данным электрорезонансного и георадарного зондирования, а для опор N4, N5 – по результатам экстраполяции.

Краткая характеристика результатов обследования разрушенных участков дорог. Геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ и георадарное зондирование использованы также при проведении в августе–сентябре 2008 г. изысканий на участках разрушения дорожного полотна. Полевые измерения проведены согласно 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 значения глубины расположения плоскостей скольжения рыхлых отложений. Краткая характеристика результатов полевых работ, выполненных в это время, сводится к следующему.

Яблунецкий участок. Обследован участок дороги Н09 Мукачево – Рогатин – Львов между пикетами ПК 208+00 – ПК 209+00, расположенный перед Яблунецким перевалом в Закарпатский области. Съемкой СКИП на этом интервале вдоль дороги закартировано пять зон повышенного увлажнения грунтов длиной 135, 40, 71, 55 и 39 м соответственно. В пределах этих увлажненных зон выделены оползнеопасные участки длиной 98, 25, 65 и 25, 51, 31 м.

Образование оползней и разрушений дорожного полотна на обследованном участке обусловлено фильтрационными подземными водными потоками, которые формируются за счет поверхностных вод и мигрируют вниз по склону, увлажняя рыхлые грунты.

Участок Ильцы. Геофизические работы на автомобильной дороге Ильцы – Буркунт 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 до-

роги. Во время проведения геофизических работ дорога была частично отремонтирована – зона оползня засыпана гравиевым материалом.

По результатам съемки методом СКИП здесь закартированы четыре подземных фильтрационных водных потока длиной 16, 60, 33 и 62 м соответственно. Выявленные потоки мигрируют в р. Черемош вдоль балки, а также по ее правому и левому бортам и во время значительных осадков 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 пикетов ПК 72+68 – ПК 78+75 на автомобильной дороге Татарив – Каменец-Подольский в районе пгт Ворохта (август 2008 г.). На участке работ между пикетами ПК 78+20 – ПК 78+43 образовался оползень, который повредил правую часть дороги и полностью разрушил тротуар. Также разрушена подпорная стена и повреждена дренажная труба, проложенная под дорогой.

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

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

Участок № 1. Участок размыва дороги Р-62 расположен южнее с. Подзахаричи. В период выполнения работ проезд по дороге был частично возобновлен за счет насыпи гальки и щебня. Обследована зона дороги в интервале между пикетами ПК 31+310 – ПК 31+780.

Зона насыпных грунтов на участке размыва дорожного полотна находится в интервале ПК 31+360 – ПК 31+718 ($L = 358$ м). В центральной части зоны увлажнения определен участок повышенной интенсивности фильтрации грунтовой воды, которая могла способствовать образованию размыва дорожного полотна. Зона повышенной интенсивности фильтрации по дороге расположена на участке ПК 31+447 – ПК 31+625, длина зоны – $L = 178$ м.

Незначительные по мощности фильтрационные потоки определены за пределами зоны размыва и на ее краевых частях: 1 – ПК 31+325; 2 – ПК 31+355; 3 – ПК 31+395; 4 – ПК 31+695.

Общий вертикальный разрез зоны размыва следующий: 1) 0,0–2,5 м – насыпные грунты; 2) 2,5–7,0 м – речные гравийно-галечные отложения; 3) 7,0 – 7,5–8,5 м – трещиноватые аргиллит-алевролитовые отложения с про-

слоями глины. Глубина залегания коренных пород (аргиллиты и алевролиты с прослойками песчаника) вдоль дороги изменяется от 6,0 до 9,0 м. В интервале глубины 3,0–7,0 м установлена зона повышенной фильтрации грунтовых вод, которые мигрируют в р. Черемош.

Участок № 2. Разрушенный участок дороги Р-62 расположен на правом берегу р. Черемош между пикетами ПК 28+800 – ПК 29+070. В период выполнения работ проезд по дороге был возобновлен за счет насыпи галечно-щебенистых грунтов. При выполнении геофизических работ исследована зона дороги в интервале ПК 29+530 – ПК 30+100. Зона размыва дорожного полотна на участке исследования находится в интервале ПК 29+642 – ПК 29+990 (L = 348 м).

На участке исследования установлены две зоны повышенной фильтрации грунтовой воды, которые могли способствовать образованию размыва дорожного полотна. Зоны повышенной фильтрации по дороге расположены на участках ПК 29+690 – ПК 29+850 (L = 160 м), ПК 29+910 – ПК 29+940 (L = 30 м).

Вертикальный разрез зоны размыва: 1) 0,0 – 3,0–4,0 м – суглинки со щебнем, в зонах нарушения дорожного полотна насыпные грунты; 2) 3,0 – 11,0 м – речные гравийно-галечные отложения, валуны; 3) 4,0–5,0 – 10,0 м – зона увлажнения; 4) 11,0–12,5 м – трещиноватые аргиллит-алевролитовые отложения с прослойками глины.

Глубина залегания коренных пород (аргиллиты и алевролиты с прослойками песчаника) изменяется от 10,0 до 12,5 м. В интервале 5,0–10,0 м установлены зоны повышенной фильтрации грунтовых вод.

Участок № 3. Участок размыва дороги Р-62 расположен в интервале ПК 19+350 – ПК 19+950. На период проведения работ дорожное полотно было полностью смыто на участке ПК 19+320 – ПК 19+770. Исследована зона дороги между пикетами ПК 19+190 – ПК 19+880.

Зона размыва дорожного полотна на участке работ расположена в интервале ПК 19+320 – ПК 19+770 (L = 450 м). Выделены две зоны повышенной интенсивности фильтрации грунтовой воды между пикетами ПК 19+270 – ПК 19+626 (L = 356 м), ПК 19+686 – ПК 19+760 (L = 74 м). В районе размыва, паводком смыты рыхлые отложения (суглинки, галька, щебень). Частично нарушены валунно-глыбовые отложения алевролитов и аргиллитов.

Участок размыва находится в тектонически активной зоне, которая сформировала мощный слой трещиноватых пород с отдельными глыбами и валунами. От поверхности дорожного полотна зона нарушения прослежена до глубины 17,0 м.

Участок № 4. Участок работ расположен севернее с. Мариничи в интервале ПК 16+760 – ПК 17+060. Ко времени выполнения работ участок

размыва дорожного полотна засыпан гравийно-галечными отложениями и проезд по дороге возобновлен. Обследована зона дороги между пикетами ПК 16+730 – ПК 17+110.

Зона размыва дорожного полотна находится в пределах дорожных отметок ПК 16+780 – ПК 17+026, длина зоны размыва – 246 м. На участке исследования выделены две зоны повышенной фильтрации грунтовой воды между пикетами ПК 16+746 – ПК 16+784, ($L = 38$ м), ПК 16+884 – ПК 17+026 ($L = 142$ м).

Глубина залегания аргиллит-алевролитовой толщи на участке размыва согласно геофизическим данным изменяется от 7,5 до 15,0 м.

Участок № 5. Разрушенный участок в интервале пикетов ПК 13+850 – ПК 14+000 расположен севернее с. Усть-Путил. В зоне размыва частично повреждена левая полоса дороги, проезд осуществляется по правой. Обследована зона дороги в интервале ПК 14+126 – ПК 14+396 ($L = 270$ м).

Зона размыва дорожного полотна на участке исследования находится в пределах дорожных отметок ПК 14+180 – ПК 14+290. Длина зоны размыва – 110 м. В центральной части зоны размыва выделен участок повышенной фильтрации грунтовой воды. Отметки зоны – ПК 14+200 – ПК 14+270 ($L = 70$ м).

Увлажненные грунты определены начиная с глубины 10,0 м. Глубина залегания аргиллит-алевролитовой толщи на участке размыва, согласно геофизическим данным, изменяется от 12,0 до 20,0 м.

Выводы. В результате проведенных геофизических работ в районе строительства нового мостового перехода через р. Стрый определена глубина залегания коренных пород и мощность речных гравийно-галечных отложений.

Построены геолого-геофизические продольные и поперечные разрезы по оси моста и в зоне строительства мостовых опор.

Выявлена и закартирована зона тектонического нарушения пород ниже по течению от участка строительства мостового перехода, вдоль которой наблюдается повышенная миграция подземных водных потоков.

На обследованных разрушенных паводками участках дорог определена глубина залегания коренных пород и мощности речных гравийно-галечных отложений.

Установлено, что одной из основных причин возникновения размывов полотна автомобильных дорог служит наличие зон повышенной интенсивности фильтрации грунтовых вод. Уровень воды фильтрационных потоков, которые на большинстве участков работ мигрируют в р. Черемош, зависит от количества осадков. При значительном количестве дождевых осадках уровень воды в фильтрационных потоках поднимается, что приводит к ув-

лажнению грунтов верхней части разреза. Это способствует развитию оползневых процессов.

На участках проведенных работ зоны фильтрации подводных потоков и повышенного увлажнения грунтов выявлены и закартированы, определена также глубина их залегания. По результатам работ построены карты участков повышенного увлажнения грунтов вдоль дороги и вертикальные геолого-геофизические разрезы участков оползневых зон. Определена глубина плоскостей скольжения рыхлых отложений. Для предотвращения разрушения дорожного полотна водными потоками на некоторых участках рекомендовано строительство дренажей и водопропусков.

Проведенные исследования свидетельствуют о высокой результативности геоэлектрических и георадарных измерений при изучении негативного воздействия подземных вод на дорожное полотно.

Проведенные геофизические исследования показали, что для оперативного обследования разрушенных участков дорожной инфраструктуры может быть эффективно использован комплекс геоэлектрических методов становления короткоимпульсного поля, вертикального электрорезонансного зондирования, а также георадарного зондирования. Этот комплекс методов позволяет выполнять полевые геофизические измерения оперативно, в сжатые сроки, что в свою очередь приводит к существенному сокращению сроков проведения инженерно-изыскательских работ на разрушенных и аварийных участках дорог.

Площадная съемка методом СКИП позволяет эффективно выделять и картировать зоны миграции подземных водных потоков, а также повышенного увлажнения грунтов. Методы электрорезонансного и георадарного зондирования дают возможность определять глубину расположения увлажненных зон, подводных потоков, границ между отдельными комплексами пород, суффозионных полостей, карстовых воронок и провалов.

В заключение еще раз акцентируем внимание на исключительно важной особенности технологии СКИП–ВЭРЗ – оперативности (!) решения конкретных практических задач. Для описанных выше ситуаций на разрушенных дорогах оперативность технологии имеет решающее значение. Исходная ориентация на создание эффективной экспресс-технологии оперативного решения инженерно-геологических и геолого-геофизических задач оказалась в полной мере оправданной. Именно высокая оперативность сделала эту технологию востребованной (а может даже и незаменимой) при изучении причин и явлений природного и техногенного характера, влияющих на возникновение и прохождение опасных геологических процессов: оползней, провалов, разрушения фундаментов зданий и промышленных сооружений, карстовых процессов и т. д.

То обстоятельство, что эта технология позволяет практически во всех случаях давать конкретные практические рекомендации непосредственно в поле, в процессе проведения полевых работ (т. е. без традиционного для подавляющего большинства методов этапа количественной интерпретации данных полевых измерений с использованием компьютерных технологий моделирования или решения обратных задач) служит, с одной стороны, важным и определяющим преимуществом и, с другой, делает ее конкурентоспособной на бурно развивающемся рынке геофизических услуг.

Оперативность технологии в целом и практический опыт повторных измерений свидетельствует о возможности использования методов СКИП–ВЭРЗ для оперативного проведения наблюдений мониторингового характера.

1. Боковой В.П., Левашов С.П., Якимчук М.А., Корчагин І.М. Технологія картування зсувних ділянок та зон підвищеного обводнення ґрунтів комплексом геофізичних методів // Геоінформатика. – 2002. – № 4. – С. 31–34.
2. Левашов С.П., Якимчук М.А., Корчагин І.М., Піщаний Ю.М. Метод електрорезонансного зондування та його можливості при проведенні комплексних геолого-геофізичних досліджень // Геоінформатика. – 2003. – № 1. – С. 15–20.
3. Левашов С.П. Геофізичні дослідження інженерно-геологічних та гідрологічних умов на території Софійського собору в Києві // Геоінформатика. – 2004. – № 1. – С. 32–35.
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 // Геоінформатика. – 2005. – № 1. – С. 80–85.
5. Auken E., Pellerin L., Christensen N.B., Sørensen K.I. A survey of current trends in near-surface electrical and electromagnetic methods // *Geophysics*. – 2006. – **71**. – P. 249–260.
6. Meju M. A. Geoelectromagnetic exploration for natural resources: models, case studies and challenges // *Surveys in Geophysics*. – 2002. – **23**. – P. 133–205.
7. Pellerin L. Applications of Electrical and Electromagnetic Methods for Environmental and Geotechnical Investigations // *Surveys in Geophysics*. – 2002. – **23**. – P. 101–132.
8. Sheard S.N., Ritchie T.J., Christopherson Karen R., Brand E. Mining, environmental, petroleum, and engineering industry applications of electromagnetic techniques in geophysics // *Surveys in Geophysics*. – 2005. – **26**. – P. 653–669.
9. Tezkan B. A review of environmental quasi-stationary electromagnetic techniques // *Surveys in Geophysics*. – 1999. – **20**. – P. 279–308.