

Прилагане на метода на вертикалното електрично сондиране (ВЕС) за проучване на свлачища

Л. Василева

Висш минногеоложки институт, 1156 София

L. Vassileva — Application of the Method of Vertical Electric Sounding (VES) to Landslide Investigations. Based on practical experience in connection with geophysical studies of landslides in road construction works the main moments of the methods for field works and interpretation of VES data are described.

The method may solve the following engineering-geological problems (i) approximate determination of the parameters of the landslide body, necessary for estimation of the volume of sliding masses; (ii) detailed geologic subdivision of the landslide massif with determination of possible present and old shear surfaces; (iii) investigation of the relief of the landslide basement; (iv) determination of tectonic zones in the basement of the landslide area.

To ensure economic and geologic efficiency the methods proposed should be rationally combined with other prospecting methods. The cheap VES method reveals possibilities to reduce the bore hole works by 40-50%. The observations by VES, combined with seismic studies of the stresses in the massif, should be carried on in definite time intervals in order to elucidate the dynamics of the landsliding process.

Свлачищните явления в нашата страна създават много често проблеми при строителството на сгради и съоръжения. Проектирането на укрепителни мероприятия върху неустойчиви терени се предшества от детайлни инженерногеоложки проучвания. Големият обем сондажни работи при тези изследвания оскъпява проучването. Разреждането на мрежата от сондажни изработки води до неопределеност на решаваните проблеми и особено в обем аспект. Освен това често свлачищните склонове са недостъпни или трудно достъпни за сондажна техника. Затрудненията при инженерногеоложките проучвания могат да бъдат преодолени до голяма степен с прилагането на подходящ комплекс от геофизични методи на проучване. Методът на вертикалното електрично сондиране, сеизмичният метод на пречупените вълни (ударна сеизмика), електропрофилирането (симетрично, диполно, комбинирано), методът на естественото поле (Ж и г а л и н и др., 1973; Н о в о с а д, 1976; Н o r s k y e t a l., 1977) са част от възможните за използване методи. Един от най-информативните е методът на вертикалното електрично сондиране (ВЕС).

Опитът от проведените геофизични проучвания на свлачища по обектите на ИПП „Пътпроект“ за периода 1975—1978 г. показва, че в повечето от свлачищата са налице благоприятни физико-геоложки предпоставки¹ за

¹ Налице е достатъчно рязка диференциация на отложенията по специфични електрични съпровивления.

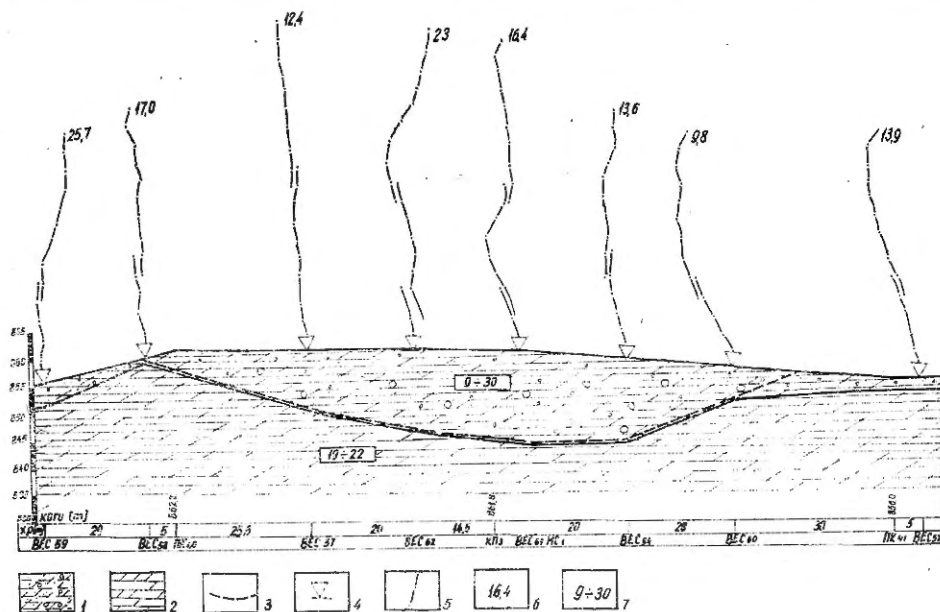
прилагане на метод ВЕС. Обикновено геофизичните проучвания са провеждани паралелно с инженерногеоложките. Получаването на предварителните резултати от геофизичните работи трябва да изпреварва избора на сондажната мрежа, за да бъде оптимизиран обемът на скъпите сондажни работи. Методиката на полевите работи и интерпретацията са съобразявани с принципните положения по прилагане на метод ВЕС (Якубовский и Ляхов, 1974; Хмелевский, 1970), с конкретната геоложка обстановка и със спецификата на инженерногеоложките проучвания на свлачища за целите на пътното проектиране (Василева, 1978). Проучвателната мрежа от точки ВЕС е квадратна или правоъгълна с минимално разстояние между отделните точки или профили 10—50 m, което зависи от размера на свлачището, сложността на геоложката обстановка и предполагаемата дълбочина на интересуващата ни граница. Плътното проучване на свлачища най-често е за фаза на работен проект и изисква задълбочени изследвания. В редки случаи при проучване на свлачищен участък за фаза на предварителни проучвания или ТИД (технико-икономически доклад) във връзка с проектирането на линеен обект изследванията имат линеен характер и се ограничават с изясняване мощността на свлачищата се маси. Полевите наблюдения са извършвани със стандартна четириелектродна симетрична схема. Дължината на максималната токозахранваща линия АВ/2 варира от 30 до 300 m в зависимост от необходимата дълбочинност на проучването. По принцип са предпочитани по-дълбочинни ВЕС за осигуряване на по-надеждна интерпретация на получените криви. Азимутите на наблюденията са насочвани по възможност по хоризонтала за ограничаване на релефните влияния.

Интерпретацията на геофизичните материали е провеждана на няколко етапа в зависимост от сложността на обекта на проучване. Количествената интерпретация на кривите ВЕС е предшествувана от предварителна качествена интерпретация. Тя е извършвана главно в полеви условия и е използвана като база за оптимизиране на обема на полевите геофизични изследвания. Своевременен осъществена качествена интерпретация на данните от метод ВЕС ограничава възможностите за допускане на груби грешки при количествената интерпретация на кривите ВЕС. Последната е извършвана по известните в геофизичната практика палетъчни способности. Количествената интерпретация на кривите ВЕС е съпътствувана от съставянето на надлъжни и напречни геолого-геофизични разрези, на които са нанасяни дълбочините до отделените геоелектрични граници, специфичните електрични съпротивления на съответните слоеве и резултатите от проведеното до момента геоложко сондиране. Геоложката интерпретация на резултатите от метод ВЕС се заключава в уточняването на тези разрези и привързването на отделните геоелектрични слоеве към съответни литолого-стратиграфски граници. Тя е извършвана на базата на разпределението на специфичните електрични съпротивления в хоризонтално и вертикално направление, както и на опорните геоложки данни от сондирането. Най-отговорен момент от количествената и геоложка интерпретация на резултатите е установяването на дълбочината до вероятната хлъзгателна повърхнина.

Методът на вертикалното електрично сондиране (ВЕС) с успех е прилаган при проучване на свлачища за решаване на редица инженерногеоложки задачи, като например: 1) приблизително определяне на параметрите на свлачищно тяло, необходими за оценка на обема на свлачищата се маси; 2) детайлно литоложко разчленяване на проучвания свлачищен масив с установяване на вероятните съвременни и стари хлъзгателни повърхнини;

3) изучаване релефа на скалната подложка в свлачищни масиви; 4) установяване на тектонски зони в подложката на проучвания свлачищен участък.

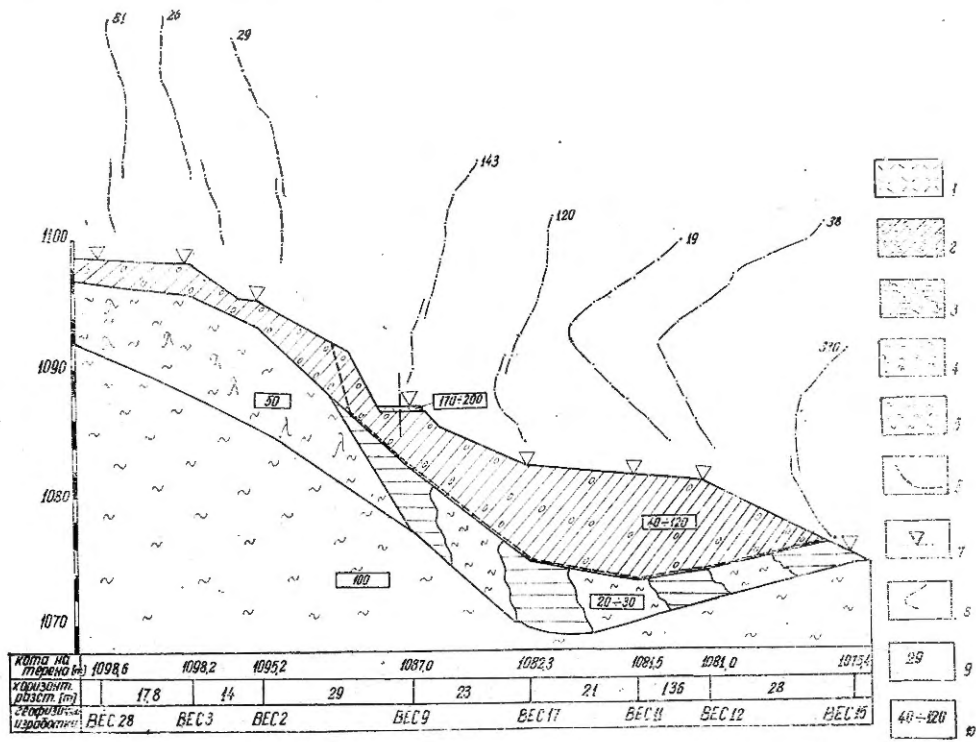
Пример за прилагане на метод ВЕС по оста на проектно пътно трасе, пресичащо голям свлачищен участък край с. Голямо Бучино, Софийско, за



Фиг. 1. Напречен геолого-геофизичен разрез на свлачище при с. Голямо Бучино, Софийско
 1 — делувиялен склонов насип от глинесто-песъчливи материали с късове от хартиени шисти и довлечени от движението по-едри скални материали; 2 — палеогенски глинести мергели; 3 — хлъзгателна повърхнина; 4 — място на точка ВЕС; 5 — крива ВЕС; 6 — привидно електрично съпротивление за най-късия разнос на кривата ВЕС в Ωm ; 7 — специфично електрично съпротивление на съответния геоелектричен слой в Ωm

фаза на ТИД е даден на фиг. 1. Задачата на геофизичното проучване е определяне на дълбочината до хлъзгателната повърхнина по оста на трасето с цел приблизителна оценка на мощността на свличащите се земни маси. В проучвания линеен участък свличането е добре изразено със скъсвания на терена в две отсечки. Към една от тях с дължина 120 m се отнася представеният геолого-геофизичен профил. Прави впечатление голямото разнообразие на кривите ВЕС по тип (ρ_a , Н, НКН), което се дължи на разнородността на свличащите се маси — глинесто-песъчливи материали от делувиялния склонов нанос, всред които се срещат късове от хартиени шисти и довлечени от движението по-едри скални материали. Това литоложко разнообразие, съчетано с различната степен на овлажненост на свлачищното тяло, е причина то да се характеризира в различни участъци и нива със специфично електрично съпротивление в широки граници — 9—30 Ωm . Предполагането, че свличането става върху палеогенските глинести мергели, характеризиращи се с издържано специфично електрично съпротивление 19—22 Ωm , заедно с морфоложките признаци е основен критерий за определяне на хлъзгателната повърхнина. За разлика от свлачищните участъци спокойният терен се отличава с праволинейност на границата между делувия и палеогена и с еднородност на материалите по електрични свойства. Делувиялният нанос, който не е участвувал в свличането, се характеризира

със специфично електрично съпротивление около $12 \Omega m$. Благоприятна предпоставка за прилагане на метода е относително спокойният в морфоложко отношение терен, като се изключат участъците, в които са настъпили съввания. Налице са и благоприятни съотношения на параметрите на геоелект-

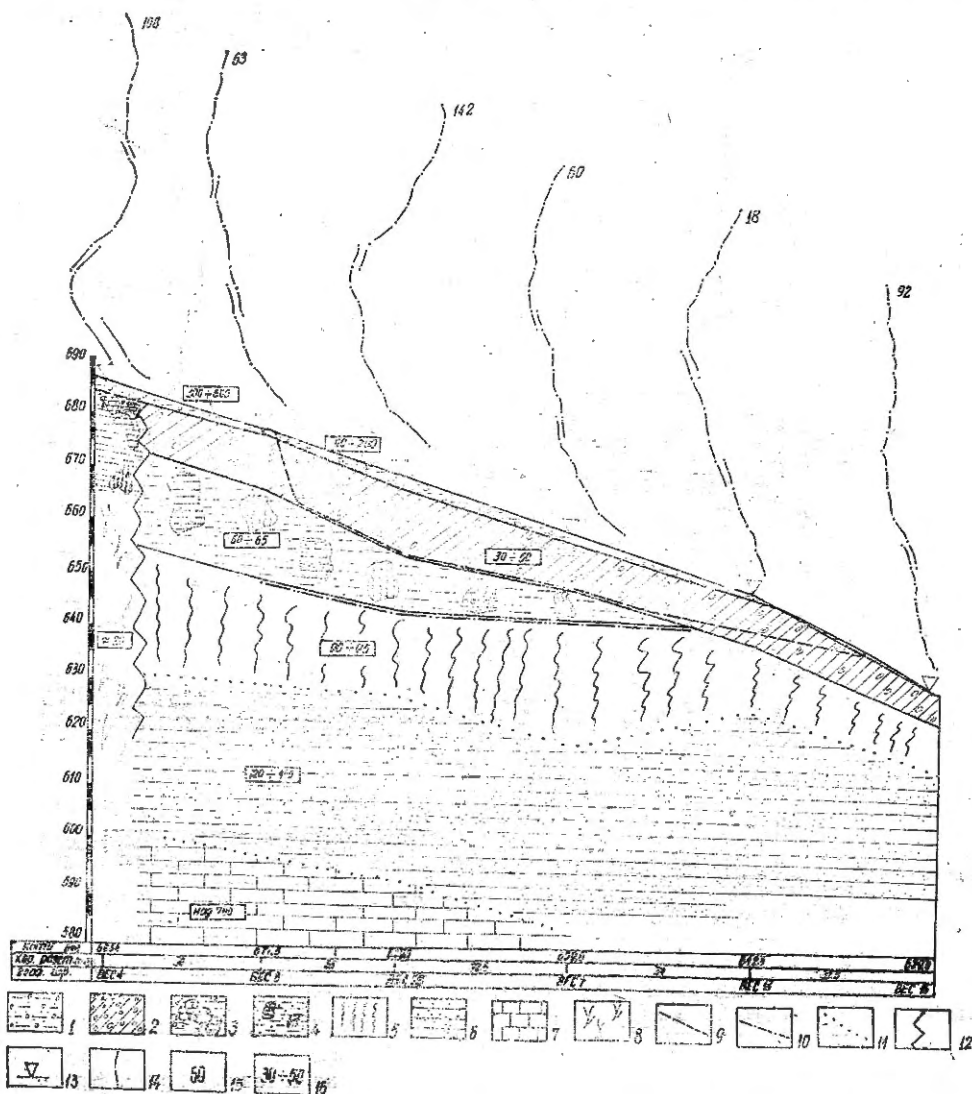


Фиг. 2. Надлъжен геолого-геофизичен разрез на свлачище край с. Бойково, Пловдивско
 1 — изкуствен насип; 2 — глина със скални късове; 3 — силно изветрели гнайси; 4 — изветрели гнайси; 5 — свежи гнайси; 6 — хлъзгатална повърхнина; 7 — място на точка ВЕС; 8 — крива ВЕС; 9 — привидно електрично съпротивление за най-късия разнос на кривата ВЕС в Ωm ; 10 — специфично електрично съпротивление на съответния геоелектричен слой в Ωm

тричния разрез, които осигуряват тесни граници на приложение на принципа на еквивалентност при количествената интерпретация на кривите ВЕС, респ. достатъчно висока точност на интерпретацията без наличие на опорни данни. Получените резултати впоследствие бяха потвърдени от инженерно-геоложкото проучване.

Както вече беше изтъкнато, геофизичното проучване на свлачище само по един профил не е типично за практиката на инженерногеоложките изследвания. Задачата за детайлна литоложка характеристика на свлачищния участък и определяне на пространствените параметри на свлачищното тяло бе успешно решена с прилагането на метод ВЕС за проучване на свлачище при с. Бойково, Пловдивско, за фаза на работен проект. То е съчетано по време и обем с инженерногеоложкото проучване. Интерпретацията на геофизичните данни, съгласувана с резултатите от геоложкото сондиране, е представена чрез надлъжни и напречни геолого-геофизични разрезни, един от които е показан на фиг. 2. Пространственото разпределение на кривите ВЕС по типове дава ориентировъчна представа за обхвата на свлачищното

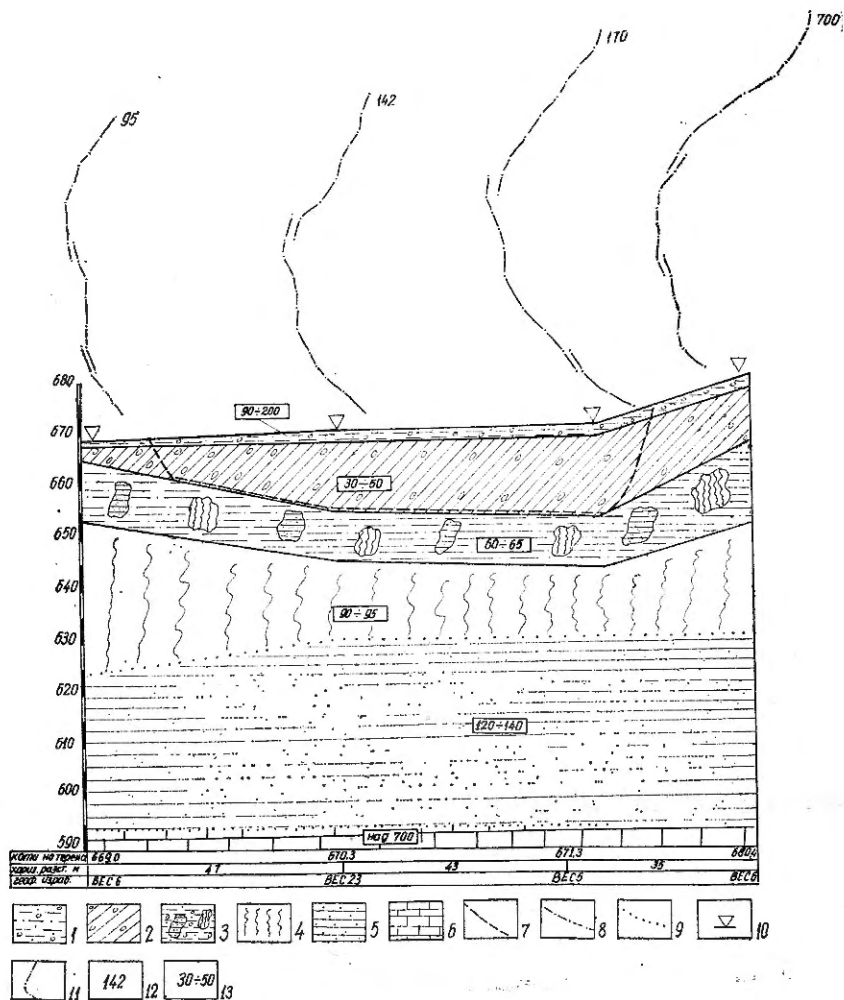
проявление. В началната част на надлъжния профил, т.е. в участъка на неучаствалия в свличането делувий, се наблюдават криви тип К или двуслойни криви, докато самото свлачищно тяло се отделя с криви тип Н. Изключение прави само кривата, получена при измерване върху изкустве-



Фиг. 3. Надлъжен геолого-геофизичен разрез на свлачище при с. Калотинци, Пернишко
 1 — скални късове с глинест запълнител; 2 — преотложени скални късове с глинест запълнител; 3 — скален варовиков блокж; 4 — скални късове от шисти и пясъчници с глинесто-пясъчлив запълнител; 5 — шисти; 6 — пясъчници; 7 — варовици; 8 — тектонска зона; 9 — съвременна хлъзгателна повърхнина; 10 — вероятна стара хлъзгателна повърхнина; 11 — вероятна литоложка граница; 12 — линия на тектонско нарушение; 13 — място на точка VES; 14 — крива VES; 15 — привидно електрично съпротивление за най-късия разнос на кривата VES в Ωm ; 16 — специфично електрично съпротивление на съответния геоелектричен слой в Ωm

ния насип от съществуващото пътно платно — крива тип Q. В движението участват материали от литоложка разновидност 2, представена от глиниски скални късове, чието специфично електрично съпротивление варира в

широки граници (от 40 до 120 Ωm) в зависимост от количеството на скалните късове и от степента на сработване на движения материал. В отделни места в долната част на свлачището тези материали се характеризират със стойности на специфичното електрично съпротивление около 2 Ωm . Това

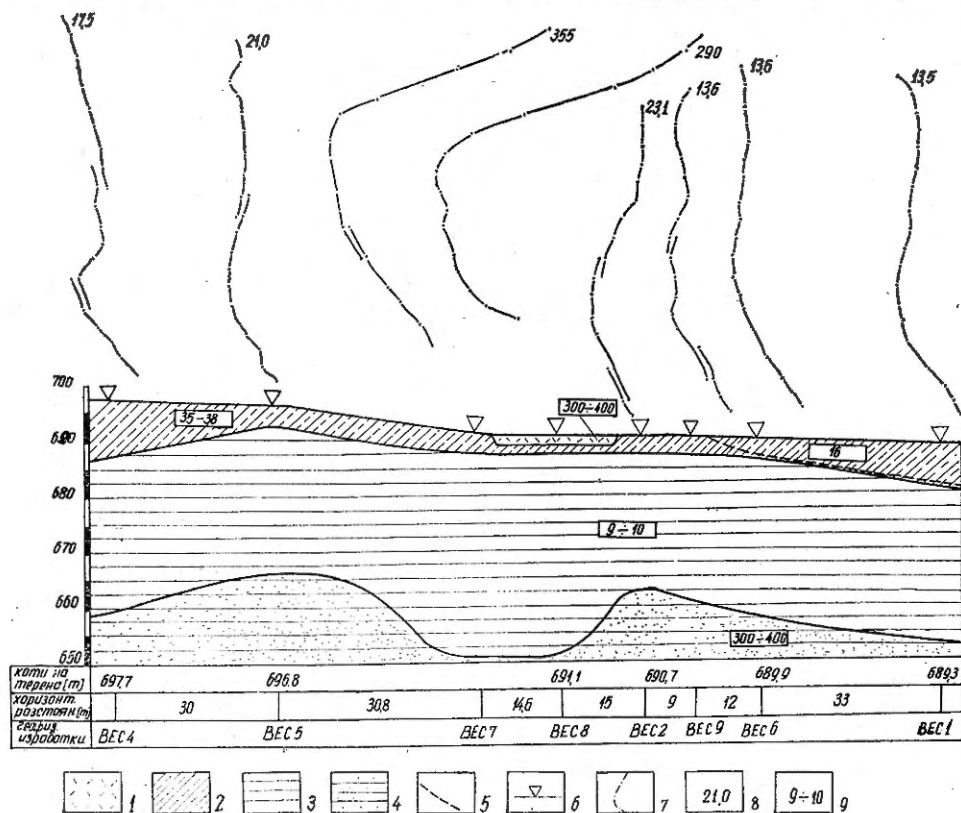


Фиг. 4. Напречен геолого-геофизичен разрез на свлачище при с. Калотинци, Пернишко

1 — скални късове с глинест запълнител; 2 — преотложени скални късове с глинест запълнител; 3 — скални късове от шисти и пясъчници с глинесто-песъчлив запълнител; 4 — шисти; 5 — пясъчници; 6 — варовици; 7 — съвременна хлъзгателна повърхнина; 8 — вероятна стара хлъзгателна повърхнина; 9 — вероятна литоложка граница; 10 — място на точка ВЕС; 11 — крива ВЕС; 12 — привидно електрично съпротивление в Ωm за най-късия разнос на кривата ВЕС; 13 — специфично електрично съпротивление в Ωm на съответния геоелектричен слой

са вероятно местата на най-силно раздвижване. По сондажни данни на тази разновидност също отговарят неиздържани по профила материали. Те участват в настоящото свличане с обхват, ограничен с прекръсната линия, която приемаме за най-дълбока хлъзгателна повърхнина. Вероятната хлъз-

гателна повърхнина е на границата между делувиялните образувания и изветрелите гнайси. Границата между силно изветрелите гнайси и свежите гнайси може да се приеме за условна, тъй като между тях трябва да има изветрели гнайси, които явно не може да се диференцират по геофизичен



Фиг. 5. Надлъжен геолого-геофизичен разрез на свлачище край с. Нови хан, Софийско
 1 — изкуствен насип; 2 — глина на места с чакъл; 3 — глинести мергели; 4 — кварцитизуван пясъчник; 5 — хлъзгателна повърхнина; 6 — място на точка ВЕС; 7 — крива ВЕС; 8 — привидно електрично съпротивление в Ωm за най-късия разнос на кривата ВЕС; 9 — специфично електрично съпротивление в Ωm на съответния геоелектричен слой

път в участъците, където е развита литоложка разновидност 3. Възможно е последната да представлява материали, подложени на движения при стари свлачищни прояви в проучвания участък.

Подобна задача за детайлно литолошко разчленяване, установяване на съвременни и стари хлъзгателни повърхнини, както и на тектонско нарушение е решена главно по метод ВЕС на свлачището при с. Калотинци, Пернишко, за фаза на работен проект. Характерна особеност на обекта на проучване е трудната достъпност на терена за сондажна техника, поради което основната част от свлачището е проучена по метод ВЕС. Въз основа на добрата диференцируемост на разреза по специфични електрични съпротивления и данните от шестте опорни сондажа, направени по периферните части на свлачището, са съставени десет броя надлъжни и напречни разрези, два от които са представени на фиг. 3 и 4. Те пресичат централната част на свлачището и добре илюстрират геоложкия му строеж. Свлачищното

тяло е ограничено с прекъснатата линия. Изградено е от скални късове с глинест запълнител и е с преобладаваща мощност 10—15 m. Тази мощност е определена само по геофизични данни и може да се приеме с допустимата за метод ВЕС точност $\pm 10-20\%$. Под материалите, обхванати от настоящото движение, са установени издържани по мощност и специфично електрично съпротивление материали, идентифицирани по сондажни данни като скални късове от шисти и пясъчници с глинесто-песъчлив запълнител. Може да се допусне, че това са материали, участвували при старо свличане върху залегащите под тях шисти. С прекъснатата линия с точки е означена предпологаемата стара хлъзгателна повърхнина. В представените разрези може да се приеме като уверено определена и дълбочината до горнището на шистите, които са идентифицирани по сондажни данни, получени в долната част на склона, където шистите са установени на малка дълбочина непосредствено под делувиалните наслаги. Определянето на границите до останалите литоложки разновидности — пясъчници и варовици — не може да претендира за голяма точност, което се дължи на особеностите на интерпретацията на многослойните криви ВЕС. При поставената геоложка задача това е без особено значение, а приблизителните граници са представени условно за допълване на цялостната геоложка картина. В горната част на изучавания склон се разкриват варовици. От тяхното механическо разрушаване и свличане под действие на силата на тежестта в горната част на склона се е оформила с ограничено развитие в напречно направление литоложка разновидност от скален варовиков блокаж, означен като 3 на фиг. 3. В същата вертикална плоскост на дълбочина около и над 10 m се установяват по кривите ВЕС материали с ниски специфични електрични съпротивления (20—30 Ωm), които по сондажни данни представляват напукани шисти и пясъчници с глинест запълнител. Начупената линия на фиг. 3 условно отбелязва тектонско нарушение според данните от геофизичното проучване. Получената детайлна геоложка характеристика на свлачището при с. Калотинци въз основа на метод ВЕС и минимален обем сондажни работи е осъществена благодарение на благоприятната и издържана по простирание диференциация на разреза по електрични свойства.

Задачата по изучаване релефа на скалната подложка с метод ВЕС е успешно решена например при проучването на свлачището по автомагистрала „Тракия“ край с. Нови хан, Софийско, за стадий на работен проект. Един от съставените по геофизични данни разрези е показан на фиг. 5. Профилът минава през централния участък на свлачищния склон в надлъжно направление, но не обхваща цялото свлачище, а само ограничени участъци около пътното платно съгласно поставената задача. В горната част на разреза се срещат различни неиздържани литоложки разновидности, които са детайлно разчленени от проведеното на неголяма дълбочина инженерногеолошко сондиране. Диференциацията на същите е невъзможна по метод ВЕС. Същият метод обаче се оказва резултативен за определяне на най-дълбоката хлъзгателна повърхнина, дадена на фиг. 5 с прекъсната линия, идентифицирана по сондажни данни. Само по данни на метод ВЕС бе установена мощността на отложенията до скалната подложка от кварцитизувани пясъчници, която бе идентифицирана литоложки след извършването на допълнителни сондажни работи до съответната дълбочина. Наличието на мощен и издържан в геоелектрично отношение слой от глинести мергели (литоложка разновидност 3) със специфично електрично съпротивление 9—10 Ωm позволи осъществяването на точна количествена интерпретация на кривите ВЕС. Получените данни дават основание да се приеме, че подложката от кварцитизувани пясъчници заляга под и над съществуващата маги-

страла на по-малка дълбочина. От съставените осем броя надлъжни и напречни геолого-геофизични разрези се установява негативна структурна форма на релефа на скалната подложка в областта около пътя и малко косо на него. Ограниченият обем от точки ВЕС попречи на съставянето на структурна карта на релефа на скалната подложка.

Всички представени примери, както и много други известни от практиката у нас и в чужбина, недвусмислено доказват големите възможности на метод ВЕС за получаване на ценна обемна и дълбочинна информация при проучване на свлачищни масиви, както и за решаването на широк кръг инженерногеоложки задачи във връзка с хидроенергийното, пътното, гражданското и пр. строителство. Необходимо е обаче да се изтъкне като главен недостатък на метода невъзможността за получаване на точни количествени данни относно физико-механичните параметри на установените литоложки разновидности. Ето защо от голямо значение за постигане на икономическа и геоложка ефективност на прилаганата методика е рационалното ѝ съчетаване с останалите методи в общия комплекс инженерногеоложки и геофизични изследвания. Чрез прилагане на сравнително евтиния метод ВЕС в подходяща проучвателна мрежа сондажните работи биха могли да се намалят с 40—50%. Икономическият ефект от прилагането на метода е очевиден.

Целесъобразно е провеждането на наблюдения по метод ВЕС върху дадено свлачище през определен интервал от време, например сезон или година, за получаване на данни за динамиката на свлачищния процес (Ж и г а л и н и др., 1973; М ü l l e r et al., 1976). За целта е необходимо стриктно топографско ориентиране на точките ВЕС. За разширяване възможностите на метода е целесъобразно провеждането на кръгово вертикално електрично сондиране (КВЕС) за по-уверено установяване на вероятните хлъзгателни повърхнини (особено при липса на сондажни данни). В подходящи в литоложко отношение разрези би могло да се опита определянето на водни нива с прилагането на метод ВЕС по предизвикани потенциали (ПП) (Х м е л е в с к о й, 1970). Съчетаването на такава методика с други геофизични методи, особено със сеизмоакустично прослушване на напрегнатостта на масива (В l a h a et al., 1976; Н o r s k y et al., 1977), както и с геодезични, дистанционни и пр. изследвания, гарантира получаването на достоверна информация за строежа на свлачището, за механизма и динамиката на свлачищното проявление.

Л и т е р а т у р а

- В а с и л е в а, Л. 1978. Геофизичните методи при инженерногеоложките проучвания за пътното проектиране — фактор за повишаване качеството и ефективността на проучванията. — *Сп. Пътница*, 5, 32—34.
- Ж и г а л и н, А., В. Богословский и др. 1973. Опыт применения геофизических методов при изучении Блиновского оползня-потока. — В: *Разведка и охрана недр*, 6, 32—37.
- Н о в о с а д, Ст. 1976. Геофизика при разведке естественно и искусственно нарушенных территорий. — *Сб. 11 конференции с международным участием „Применение геофизики в инженерной геологии и гидрогеологии“*, Брно, особый выпуск, 54—63.
- Х м е л е в с к о й, В. 1970. Основной курс электроразведки. Часть I. М. 248с.
- Я к у б о в с к и й, Ю., Л. Ляхов. 1974. *Электроразведка*. М., Недра. 376 с.
- B l á h a, P., J. K n e j z l i k, S t. N o v o s a d. 1976. Geoakustické metoda při sledování svahových pohybů. — In: *Sb. 11. konference s mezinárodní účastí „Aplikace geofyziky v inženýrské geologii a hydrogeologii“*, Brno, I. Díl, II. Svazek, 463—471.
- H o r s k ý, O. et al. 1977. *Geotest and landslides*. Brno, Geotest, 90 p.
- M ü l l e r, K., P. B l á h a, J. N e š v a r a. 1976. Časové změny ρ_2 v horninovem masívu. — In: *Sb. 11. konference s mezinárodní účastí „Aplikace geofyziky v inženýrské geologii a hydrogeologii“*, Brno, I. Díl, I. Svazek, 193—198.

(Постъпила на 1. IX. 1980 г.)