

Накопление высоких концентраций ОВ на дне сеноманского бассейна происходило, по мнению Д.П. Найдина, в условиях высокой биопродуктивности фитопланктона и интенсивного поступления ОВ с суши, при ослаблении водной циркуляции и донных течений в небольших отдельных впадинах и ямах, где возникали застойные условия (вплоть до аноксии), благоприятные для захоронения ОВ. Восстановительные условия, благоприятные для захоронения ОВ на очень локальных участках, каковыми и являются сеноманские битуминозные линзы, могли возникнуть в местах выхода на дно бассейна сероводородных вод. Возможно, имели место оба фактора, обусловившие локальную аноксию. Ответ на этот вопрос можно получить, исследовав изотопный состав серы битуминозных мергелей.

В статье мы привели первые результаты исследования ОВ мезозойских отложений района практики. Эти исследования выполнены еще в малых масштабах, но они показали геологическую информативность данных о составе ОВ и его различных компонентах.

УДК 550.837.31 (477.75)

Д.К. Большаков, И.Н. Модин, В.А. Шевнин

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА УЧЕБНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ В КРЫМУ

Электроразведка нашла широкое применение на крымских учебных практиках. Практику по электроразведке проходили студенты-геофизики и студенты отделения геологии и инженерной геологии и гидрогеологии. В развитии практики большую роль сыграли преподаватели и сотрудники кафедры: В.К. Хмелевской, Э.Н. Кузьмина, А.А. Мусатов, Б.П. Петрухин, С.А. Березина, А.В. Урусова и др. За несколько десятилетий в ходе практики применялось много разных методов электроразведки, но наиболее удачное место в учебном процессе нашел метод сопротивлений: электрические зондирования (ВЭЗ), профилирование (ЭП) и азимутальные (круговые) наблюдения (АЭП). Место, выбранное для проведения геологической практики, оказалось удачным и для электроразведки. Вместе с тем отметим, что не вся территория в равной мере подходит для электроразведки. Из-за низкого контраста свойств малопригодными оказались области, где развиты мергели верхнего мела, занимающие значительную территорию, часть ее закрыта густыми лесами, приходится на крутые склоны, другая занята посевами. Наиболее освоены электроразведкой полоса вдоль шоссе от Обсерватории до с. Трудилюбовка, склоны г. Сель-Бухра и плато Патиль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя // Под ред. О.А. Мазаровича, В.С. Милеева. М., 1989.
2. Найдин Д.П., Кияшко С.И. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеномана – турона Горного Крыма. Статья 2. Изотопный состав углерода и кислорода; условия накопления органического углерода // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69, вып. 2. С. 59 – 74.
3. Павленко Т.И., Пономарева Е.В. Пологие разрывы в структуре Качинского поднятия Горного Крыма // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69, вып. 3. С. 35 – 38.
4. Панов Д.И. и др. Новые данные по геологии триасовых и нижнеюрских отложений в междуречье Марты и Бодрака (юго-западная часть Горного Крыма) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1978. № 1. С. 47 – 55.
5. Шванов В.Н. Литостратиграфия и структура таврической свиты в бассейне р. Бодрак // Вестн. ЛГУ. Сер. Геология. 1966. № 6, вып. 1. С. 153 – 156.

Поступила в редакцию
21.10.96

Заметно улучшился учебный процесс на практике в результате использования персональных компьютеров, что привело к серьезным изменениям в обработке, интерпретации данных электроразведки и их визуализации. Намного упростилась задача накопления материалов. При традиционной ручной обработке материалов накопленные ранее данные были относительно бесполезны, студенты могли воспринимать в основном только то, что получили сами. Данные, полученные в течение одного дня одной бригадой, могли дать мало геологической информации. Студентам показывали, как электроразведка может решать геологическую задачу, но убедить их, что она действительно решает задачу, при недостатке материала было трудно. С помощью компьютера теперь можно обрабатывать и архивные материалы, что позволяет использовать для анализа больший объем данных, делает процесс обучения более содержательным. В случае ненастной погоды, поломки аппаратуры, сокращения или отмены полевых наблюдений можно работать с накопленными ранее данными, собранными по многим участкам района практики. Пока не решена задача привязки данных к единой системе координат, в настоящее время данные упорядочены только в пределах каждого

участка, ее решение позволило бы перейти к созданию банка данных на всю территорию практики.

Для обеспечения электроразведочной практики разрабатывалось программное обеспечение. Так как метод сопротивлений во всех его модификациях широко применяется в научно-производственных работах кафедры геофизики, то разработка программ проводилась для этих целей, но с учетом интересов практики. Уникальные условия крымской электроразведочной практики позволяют разрабатывать новые методики, решать задачи по изучению сложных неоднородных и неоднородно-анизотропных сред, что способствует развитию теории электроразведки, алгоритмов решения задач и программ для ЭВМ. В настоящее время основные задачи электроразведки, решаемые в ходе практики, обеспечены высококачественными наборами программ, которые соответствуют мировому уровню, а в ряде случаев и превосходят его, в чем авторы убедились, общаясь со специалистами разных стран на многих международных научных конференциях.

Первое представление о геоэлектрическом разрезе района практики может дать электропрофилирование по маршруту Обсерватория – база МГРИ (рис. 1). При использовании установки ЭП с двумя питающими линиями $AB = 30$ и 100 м и шагом по профилю 30 м все основные элементы геологического разреза (рис. 1, Б) четко выявляются на графиках ЭП (рис. 1, А). С помощью электроразведки получена новая геологическая информация о характере контакта резанских песчаников ($K_1 h$) и биасалинских глин ($K_1 ap$) (ПК 540) и о строении г. Придорожной (ПК 3000 – 3300).

Отдельные участки вдоль этого профиля оказались удобными для проведения электрических зондирований. Наиболее выразительные результа-

ты для учебных целей получены при электрических зондированиях на северо-восточном склоне Сель-Бухры на квестовой поверхности, сложенной высокобугорскими песчаниками (ПК 1400 – 1800 на рис. 1). По данным ВЭЗ (рис. 2) квестовая поверхность сложена песчаниками $K_1 al_3^2$, в верхней части они выветрелые и перекрыты делювием (Q_4), ниже по разрезу они сменяются биасалинскими глинами ($K_1 ap$) (наиболее четко проявленный горизонт этого разреза), в основании разреза ВЭЗ выявляет не расчленяемую этим методом толщу резанских известковистых песчаников и пород таврической серии ($K_1 h + T_3 - J_1$). К сожалению, этот район стал практически недоступным для ВЭЗ из-за переноса части шоссе и появления садовых участков, но в архиве информация сохраняется с 1991 г.

После 1991 г. во многих странах на смену традиционным электрическим зондированиям пришла новая методика, впервые использованная в России А.А. Либерманом и В.К. Хмелевским и получившая название “сплошных электрических зондирований” (СЭЗ) [1, 2, 6]. Методика отличается от БЭЗ более высокой плотностью наблюдений и надежными геологическими построениями. Мы изучили разрезы г. Придорожной между базами МГУ и МГРИ сначала методом ЭП, а затем – СЭЗ (рис. 3). Профиль 1 длиной 300 м, представленный на рис. 4 и 5, изучен двухсторонними трехэлектродными зондированиями (AMN и MNB) с шагом ВЭЗ по профилю 10 м, разносы АО от 2 до 100 м. Разрезы кажущихся сопротивлений (рис. 4) очень выразительно представляют эту структуру. Хорошо заметна разница между разрезами AMN и MNB, которая показывает, что результаты сильно искажены горизонтальными неоднородностями и без коррекции их нельзя удовлетворительно проинтерпретировать. Коррекция

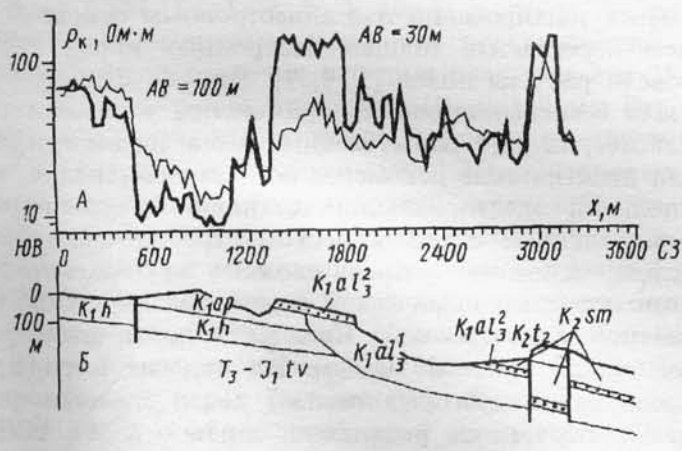


Рис. 1. Результаты электропрофилирования по профилю Обсерватория – МГРИ (А) и геологический разрез (Б)

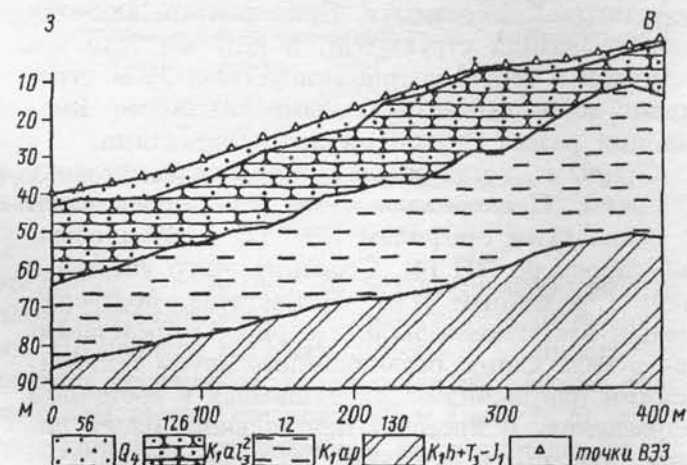


Рис. 2. Строение северо-восточного склона г. Сель-Бухра по данным ВЭЗ. Над условными обозначениями пород указаны сопротивления слоев

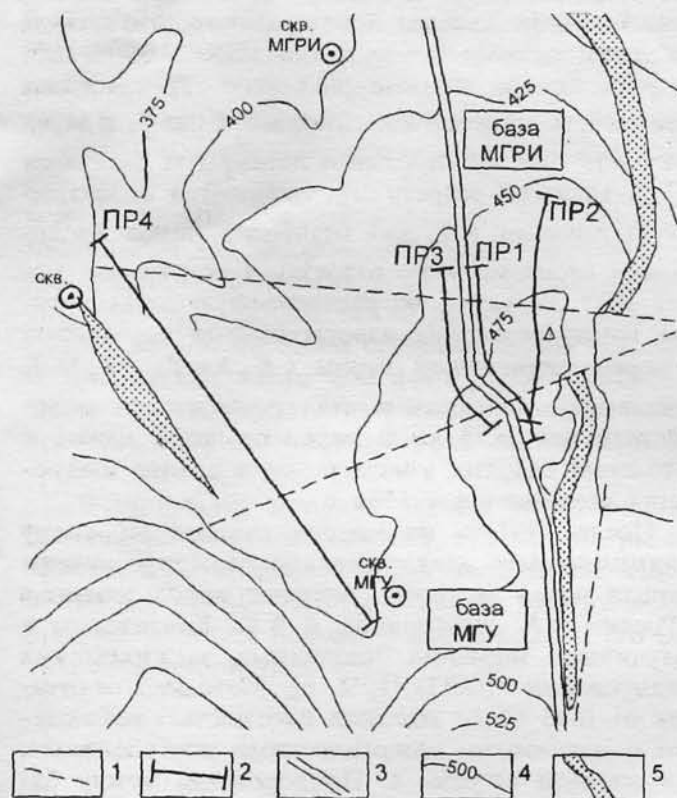


Рис. 3. Схема г. Придорожной с профилями ВЭЗ и ЭП: 1 – предполагаемые разломы; 2 – профили ВЭЗ и ЭП; 3 – автодорога; 4 – изолинии и отметки рельефа; 5 – выходы маркирующего слоя песчаников

данных, искаженных влиянием приповерхностных неоднородностей, проводится с помощью пакета программ IPI-2D, разработанного на кафедре геофизики. После такой коррекции данные можно проинтерпретировать точнее и надежнее (рис. 5).

На рис. 5 показан геоэлектрический разрез по результатам интерпретации СЭЗ по профилю 1. Судя по рис. 5, разрез г. Придорожной является грабенообразной структурой, в которой тело известняков с вертикальной мощностью 20 м ограничено двумя субвертикальными разломами. Вмещающий разрез сложен рыхлыми мергелями.

С 1992 г., когда впервые применили методику СЭЗ на г. Придорожной, этот район исследован по нескольким профилям СЭЗ (1, 2, 3) и обычному профилю ЭП (4). Строение этого участка в плане (по данным Л.М. Расцветаева, подтвержденным электроразведкой, см. рис. 3) представляется в виде клина, ограниченного двумя тектоническими нарушениями, сходящимися в восточном направлении. В пределах центрального блока породы опущены, в результате по разломам контактируют породы с разными возрастом и свойствами. В восточной части этого блока на поверхность выходят известняки (слагающие вершину г. Придорожной), а западнее шоссе известняков нет,

но свойства пород внутри блока заметно отличаются от свойств вмещающих грабен толщ.

Приведенные выше результаты представляют более или менее удачные примеры ЭП и ВЭЗ, но подобные участки после некоторых поисков можно найти и в других районах. Проявления же анизотропии электрических свойств, что наиболее ярко представлено в районе плато Патиль в породах таврической серии, которые частично перекрыты горизонтальными напластованиями резанских песчаников, делают район крымской учебной практики уникальным. Свойство электрической анизотропии, вызванное тонким переслаиванием пропластков с разной литологией и, следовательно, с разным сопротивлением, довольно широко распространено в природе и вызывает немало затруднений при интерпретации данных электроразведки. Но в районе практики анизотропные породы встречаются как бы в чистом виде: они выходят на поверхность, залегают с крутым падением, тонкослоисты относительно размеров электроразведочных установок, что делает этот район исключительно удачным для изучения анизотропии с помощью азимутальных электрических профилирований и зондирований.

Свойство анизотропии на крымской практике много лет изучалось традиционно – отдельными азимутальными наблюдениями с помощью установки Шлюмберже в местах выхода пород таврической серии на поверхность. Попытки выявить анизотропию под перекрывающими отложениями песчаников на плато Патиль не дали положительного результата. Ситуация изменилась, когда стали известны работы проф. Санкт-Петербургского университета А.С. Семенова по изучению анизотропии тех же пород и в этом же районе с помощью дипольной экваториальной установки, обладающей более высокой чувствительностью к анизотропии [5]. На основе работ А.С. Семенова и уральских геофизиков Ю.М. Гуревича, С.С. Сыскова и др. [4] мы проработали теорию азимутальных зондирований над анизотропным основанием перекрытых толщей изотропных пород и провели расчеты полей [3, 6, 7]. Эти расчеты показали бесперспективность применения установки Шлюмберже для азимутальных исследований и дали практические рекомендации для применения дипольной экваториальной установки. Согласно представлениям о геологическом строении плато Патиль, основание разреза сложено крутопадающими породами таврической серии, обладающими заметной анизотропией. Среднее сопротивление этой толщи около 50 Ом·м. На породах таврической серии субгоризонтально лежат известковистые песчаники резанской свиты ($K_1 h$) с удельным электрическим сопротивлением 400 Ом·м и мощностью от 0 до 25 м.

На рис. 6 представлены круговые диаграммы для 29 точек дипольного электропрофилеирования

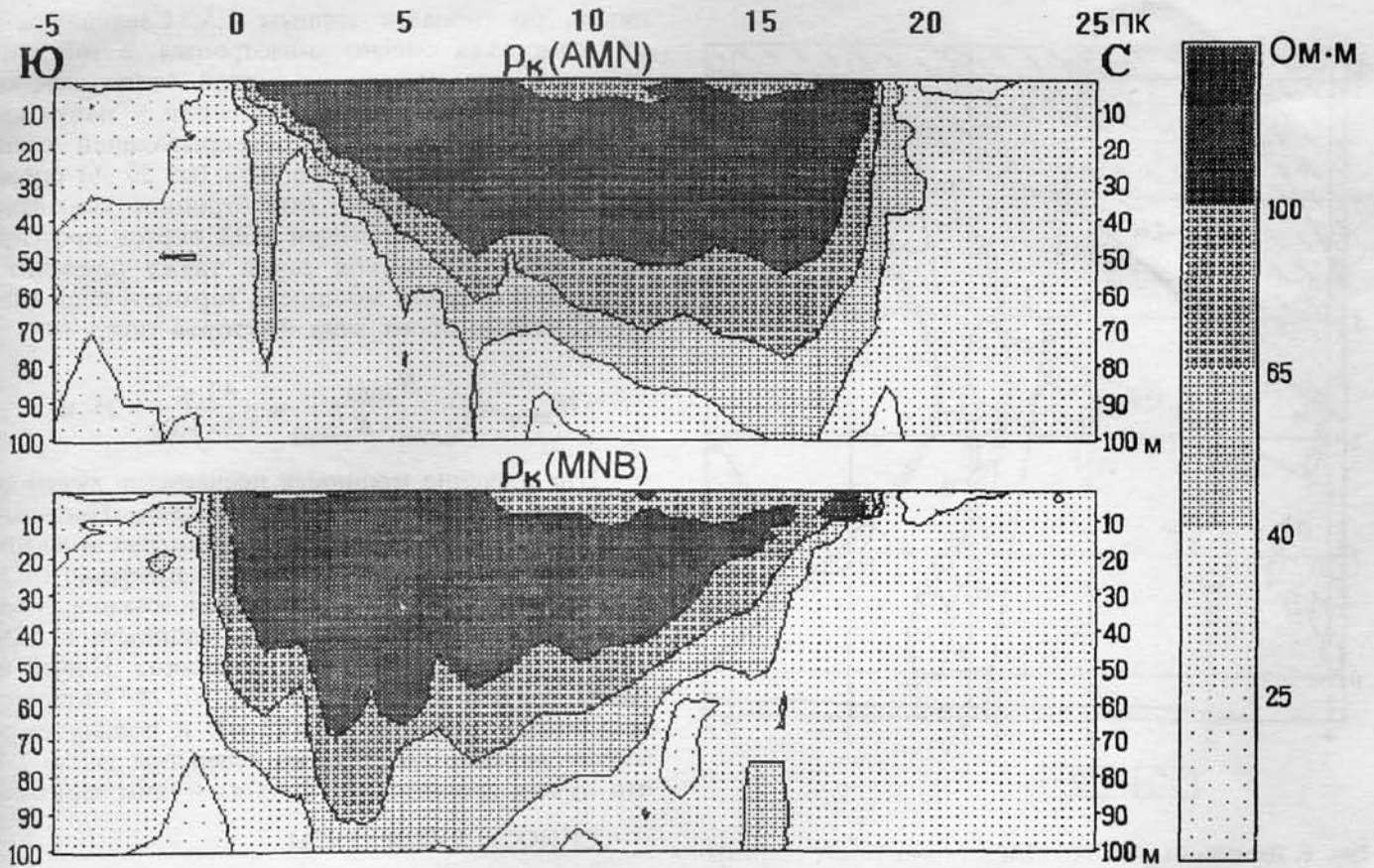


Рис. 4. Разрезы ρ_k СЭЗ для установок AMN и MNB (г. Придорожная, ПР1)

(ДЭП) на плато Патиль. Цифры по осям X и Y на карте идут через 100 м и соответствуют узлам опорной геофизической сети, закрепленным на местности. Точки ДЭП – ТО и SI – измерены на выходах пород таврической серии, а остальные точки – на перекрывающих их песчаниках. Выбор разносов установки ДЭП (20, 40 и 120 м) в зависимости от предполагаемой мощности перекрывающих песчаников обоснован с помощью теоретических расчетов [3, 6]. Различия в форме диаграмм АЭП (S2, 8, 7, 6, 5, 10, 4) вызваны постепенным увеличением мощности перекрывающих отложений, а различия в форме диаграмм 2 и 25 – сменой разносов установки (40 и 120 м). Различия в простирании пород таврической серии, выявленные по диаграммам АЭП, позволяют предположить наличие в правой части исследуемого участка (рис. 6) складчатой структуры, форма которой обозначена линиями с буквой F. Кроме того, на рис. 6 показаны еще полбжение границы распространения резанских песчаников (B), к северу от которой их нет, след дороги, проходящей через Патиль (R), линия профиля ВЭЗ (A–A) и обрывистый край плато Патиль на юге и востоке (E).

Влияние анизотропии электрических свойств пород, слагающих плато Патиль, привело к тому, что результаты интерпретации ВЭЗ, полученные

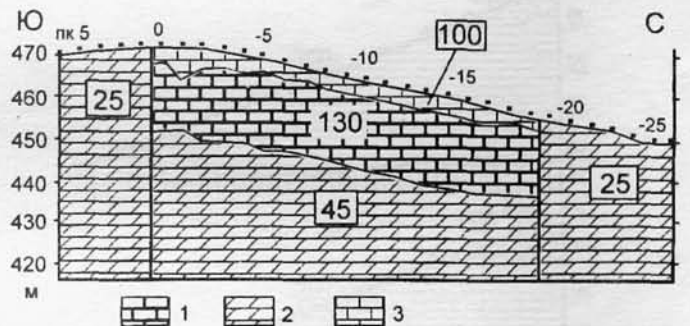


Рис. 5. Геоэлектрический разрез г. Придорожной: 1 – известняки; 2 – мергели; 3 – разрушенные известняки; цифры в рамках – сопротивления слоев, Ом·м

по линии А – А (рис. 6) без учета анизотропии, плохо согласовывались с геологическими оценками. По данным ВЭЗ, максимальная мощность резанских песчаников, залегающих на породах таврической серии, достигает 40 м (рис. 7, a), а по геологическим наблюдениям не превышает 25 м. С помощью детального профилирования резанских песчаников в их разрезе выявлено 15 прослоев, различающихся по удельному сопротивлению, и оценен коэффициент анизотропии песча-

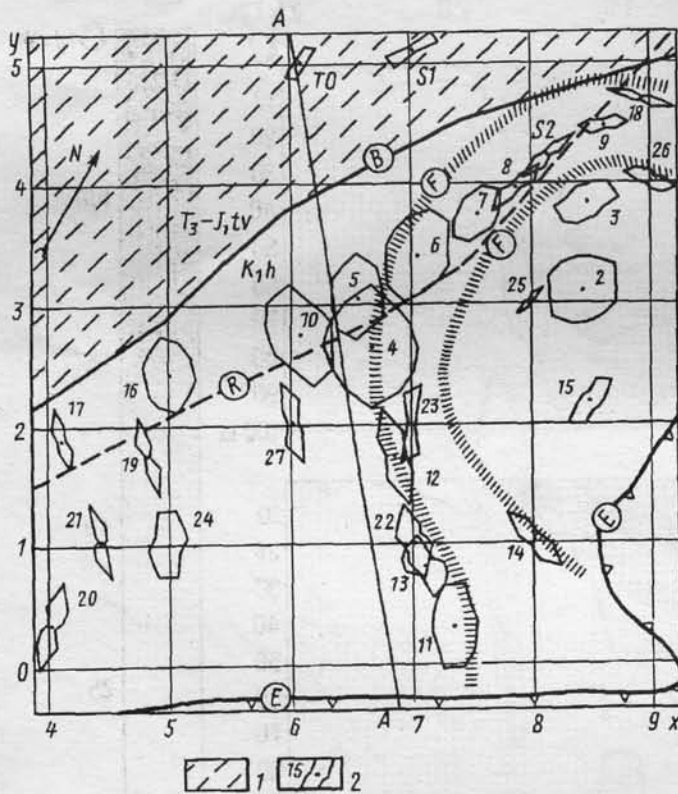


Рис. 6. Диаграммы АЭП (1 – 27) в разных точках плато Патиль: 1 – область выхода пород таврической серии; 2 – диаграммы АЭП и их номера. Остальные условные обозначения см. в тексте

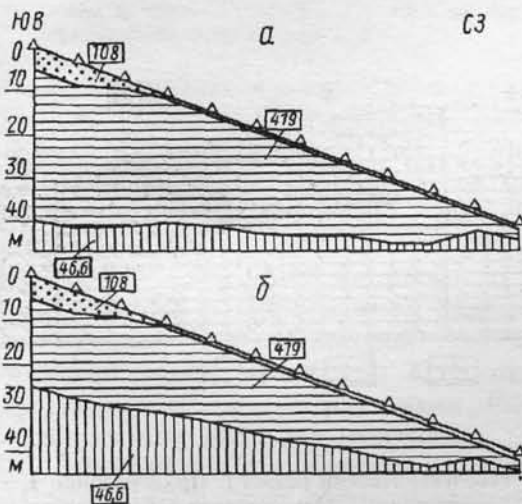


Рис. 7. Разрез плато Патиль по данным ВЭЗ вдоль линии А-А (см. рис. 6) до (а) и после (б) учета анизотропии сопротивлений пород. Цифры в рамках – сопротивление пород, Ом · м; треугольники – точки ВЭЗ

ников, он оказался равным 1,5. Следовательно, оба комплекса сильно анизотропны, с той лишь разницей, что породы резанской свиты залегают горизонтально, а таврической серии – почти вертикально. Анизотропией перекрывающей толщи объясняется завышение по ВЭЗ (на 50 %) оценок мощности песчаников. Анизотропное основание при ориентации установки ВЭЗ вкост простираения пород таврической серии также приводит к завышению оценок мощности верхнего слоя (на 6 %). С учетом обоих этих факторов получим

$$H_{\text{испр}} = \frac{H_{\text{набл}}}{\lambda_{\text{слоя1}} \cdot K_{\text{слоя2}}} = \frac{40 \text{ м}}{1,5 \cdot 1,06} = 25 \text{ м.}$$

Это значение мощности песчаников лучше согласуется с геологическими данными. Предположив линейное изменение коэффициента анизотропии песчаников слева направо по профилю от 1,5 до 1 и учтя влияние анизотропии нижней толщи ($K = 1,06$), можно пересчитать мощность и положение подошвы резанских песчаников. Новый вариант разреза показан на рис. 7, б. Мощность песчаников уменьшилась (25 м), и появилось заметное падение границы на север под углом 2,5°, что лучше соответствует геологическим данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березина С.А., Бобачев А.А., Модин И.Н. и др. Интерпретация электрических зондирований в неоднородных средах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1994. № 2. С. 24 – 32.
2. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н. и др. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред // Физика Земли. 1995. № 12. С. 79 – 90.
3. Большаков Д.К., Модин И.Н., Перваго Е.В. и др. Изучение особенностей электрических зондирований над погребенной анизотропной средой // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 2. С. 60 – 70.
4. Бреднев И.И., Сысков С.С. Поле точечного источника тока в присутствии анизотропной вертикально-слоистой среды, перекрытой слоем изотропных образований // Геофизические методы поисков и разведки. Вып. 3. Свердловск, 1976. С. 26 – 34.
5. Семенов А.С. Анизотропия горных пород и особенности электрических полей в анизотропных средах // Вестн. ЛГУ. Сер. геол., география. 1975. № 24. С. 40 – 47.
6. Электроразведка методом сопротивлений / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. М., 1994.
7. Bolshakov D.K., Modin I.N., Pervago E.V. et al. Anisotropy effects investigations by resistivity method in some inhomogeneous media // EAEG 57 th Annual Meeting. Scotland, Glasgow, May 28-June 3. 1995. P. 34.

Поступила в редакцию

08.10.96