

АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ КРИВЫХ ВЭЗ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ПОРОД НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2013 г. О.Д. Смилевец, А.К. Шардаков
Саратовский государственный технический университет

В течение ряда лет при эколого-геофизических исследованиях верхней части разреза (ВЧР) пород Нижнего Поволжья успешно применяются геофизические методы разведки, в частности вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ).

Электроразведочные работы как часть эколого-геологических исследований проводились с целью выделения наклонных границ блокового строения,* изменения параметров ВЧР в течение времени и определения мощности рыхлых пород.

В настоящей статье рассмотрены результаты эколого-геофизических исследований верхней части разреза пород Нижнего Поволжья, осуществленные для выбора наиболее благоприятных и безопасных условий размещения и эксплуатации технических сооружений (отсутствие выбросов газа, разлива нефтепродуктов, размыва автодорог, оснований мостов, линий электропередач и т.д.). Отметим, что при отсутствии эколого-геофизических исследований, данных по прогнозу изменений параметров ВЧР пород и их анализа невозможно спрогнозировать аварии и предотвратить катастрофические ситуации.

В статье также изложены разработанные авторами методика проведения полевых работ и приемы повышения эффективности качественной и количественной обработки

и интерпретации данных вертикального электрического зондирования при работах на территории Нижнего Поволжья.

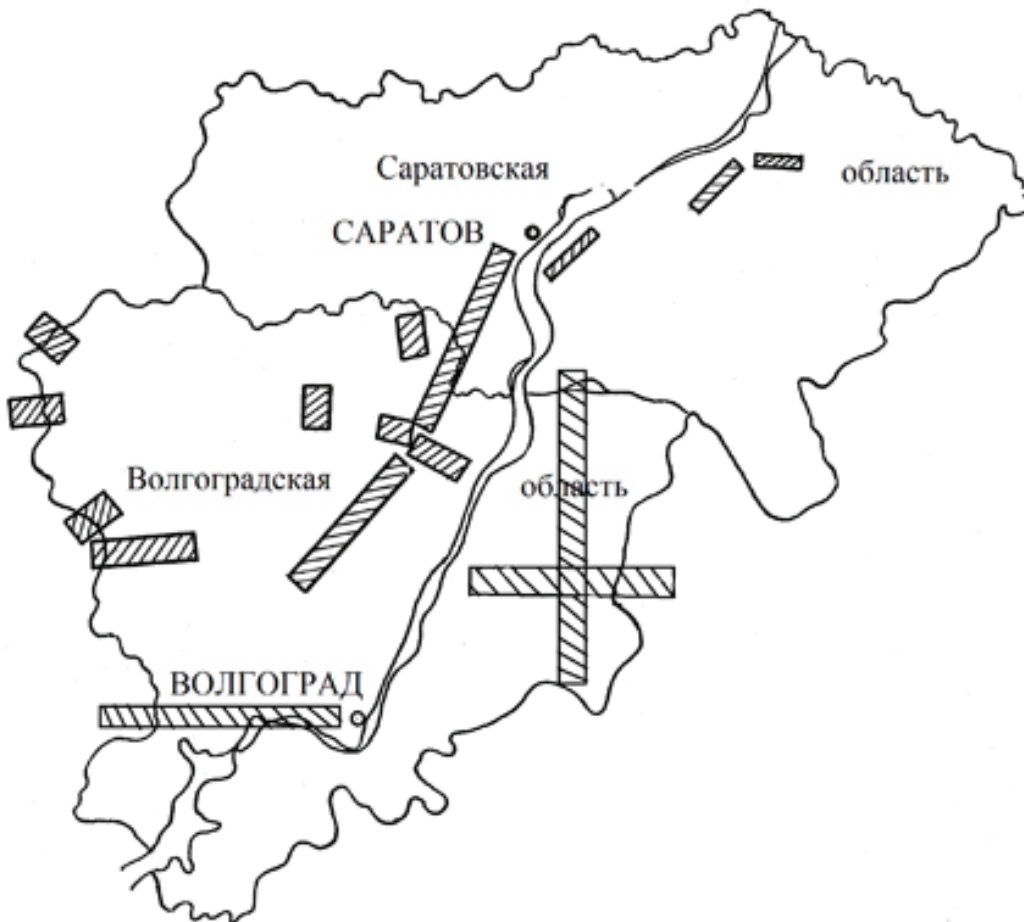
Наиболее важными в методике вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) являются выбор оптимальных разносов питающих и приемных электродов для обеспечения требуемой глубинности исследований и определение количества и порядка размещения точек наблюдений на поверхности изучаемого разреза в соответствии с заданным масштабом исследований по площади. При этом оказываются неучтенными такие составляющие методики, как выбор типа измерительных установок с учетом их разведочных возможностей; оценка разрешающей способности ВЭЗ в различных геоэлектрических условиях; требования к размещению точек ВЭЗ на поверхности изучаемого разреза, обеспечивающего непрерывное прослеживание геоэлектрических границ и параметров среды не только по площади, но и по разрезу на различных глубинах. Перечисленные выше аспекты имеют второстепенное значение только при изучении горизонтально-слоистых сред. Однако при постановке ВЭЗ над средами сложного строения они становятся одними из главных. С учетом этого основное внимание в настоящей статье уделено упомянутым вопросам.

* Авторы предлагают ввести термин – блоковое строение толщи ВЧР пород. Под "блоком" понимается обособленный участок пород, отличный от смежных участков по направлению и скорости вертикального движения (опускание или понижение кровли пород ВЧР, появление новых геоэлектрических горизонтов и т.д.). Сочленение блоков может осуществляться без нарушения связности. Размеры и формы блоков могут быть весьма разнообразны.


Как правило, ВЭЗ используется для определения строения разрезов в вертикальном направлении и оценки величин удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород на различных глубинах. На однозначность и точность решения этой задачи оказывает влияние совокупность следующих факторов: строение разреза и соотношение удельных электрических сопротивлений контактирующих сред; величина разносов питающих и приемных электродов измерительных установок; местоположение точек ВЭЗ относительно негоризонтальных границ раздела; детальность исследований по площади и разрезу. Авторами разработаны способы учета перечисленных факторов при проведении работ методами ВЭЗ в сложных геоэлектрических

условиях [6, 7, 8, 9]. На всех точках ВЭЗ фиксировались изменения поверхностно-ландшафтных условий (растительный покров, заторфованность, заболоченность, рельеф местности), оказывающие влияние на параметры мерзлотных условий, и отмечалось время электроразведочных работ, т.е. сезонные изменения параметров и типа геоэлектрического разреза.

Для изучения поведения кровли, получения информации о верхней части разреза (ВЧР) пород применялись установки ВЭЗ с разносами $AB/2 \leq 50$ метров, названные микроэлектрическими зондированиями (МКВЭЗ). Они использовались при разработке методики исследования переходов через водные преграды, которая необходима для выбора наиболее оптимального ва-



Обзорная схема района работ

 – участки работ

рианта условий технических сооружений и исключения их аварий в период эксплуатации.

Для данного ВЭЗ изучалось дно водной преграды (при $AB \leq 50$ м) с помощью плавающей или донной установки для определения литологического состава донных отложений [5]. Выполнение на площади исследования вдоль конкурирующих вариантов (створа перехода через водные преграды) дополнительных микроэлектрических зондирований позволяет оценить мощность и литологический состав отложений, выделить площади и объемы участков пород с различным сопротивлением.

На основании полученных данных об изменении параметров изучаемого разреза прогнозируются заложения фундаментов под строительство технических сооружений на участках переходов через водные преграды.

Методика исследования переходов через водные преграды оформлена изобретением. Для определения глубины залегания пород под руслом водотока авторами предложена установка для геофизических исследований в мелких водоемах методом электроразведки, которая состоит из токовых (AB) и измерительных (MN) электродов, соединенных с помощью проводов с регистрирующим прибором (например, компьютеризированный электроразведочный измерительный прибор МЭРИ), терморезисторов, соединенных с помощью проводов с прибором для измерения температуры, балластного груза, держателя датчиков температуры (терморезисторов), поплавка, быстроразъемных соединений и шарнирного соединения. Применение терморезисторов в качестве датчиков температуры повышает точность за счет измерений непосредственно в водной среде. Балластный груз, выполненный в виде телескопического бруса, позволяет устанавливать требуемые размеры между токовыми и измерительными элект-

родами. Аппаратура защищена свидетельством на полезную модель № 26663 с приоритетом от 12 июля 2002 года.

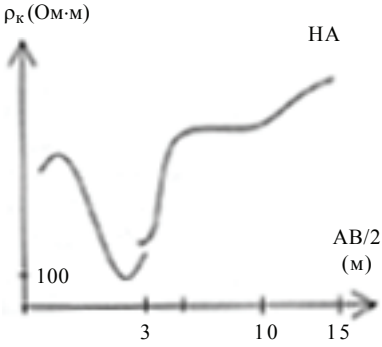
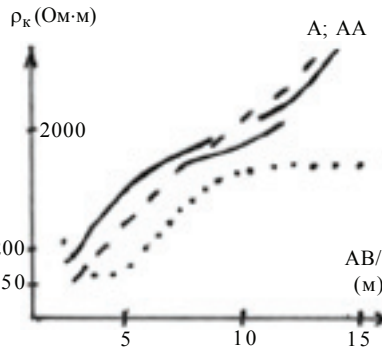
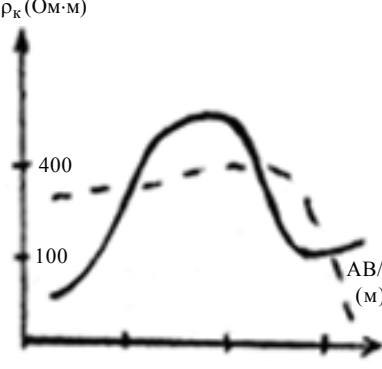
В природе горизонтально-слоистые среды встречаются весьма редко, в массивах пород присутствуют наклонные и вертикальные границы. Большой опыт применения ВЭЗ в подобных условиях позволил установить, что вид аномалий на кривых ρ_k ВЭЗ за счет негоризонтальных границ практически не отличим от влияния горизонтальных. Объективно выявленными они быть не могут, если строение геоэлектрического разреза заранее не известно, т.к. испытываемая методика приводит к большим, не поддающимся учету ошибкам [1, 2, 3].

Наряду с положительным опытом применения метода ВЭЗ при изучении ВЧР пород Нижнего Поволжья авторами выявлены специфические факторы, осложняющие выполнение поставленных задач. Часто геофизические работы выполняются в условиях сложного наземного рельефа, например на площадях, расчлененных овражно-речной сетью, в поймах и надпойменных террасах рек, залесенной и заболоченной местности, на косогорных участках и т.д. Эти факторы в той или иной мере оказывают влияние на проведение геофизических исследований. В одних случаях они создают дополнительные трудности, в других – вызывают помехи при измерениях и искажение результатов интерпретации (табл.1).

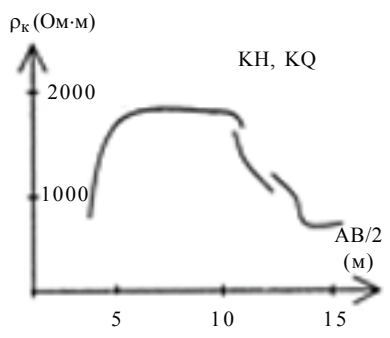
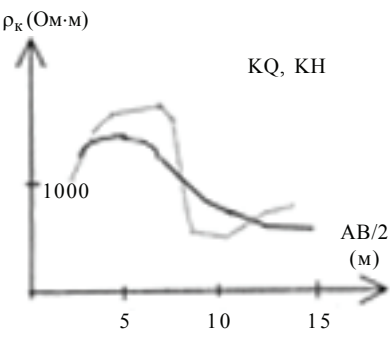
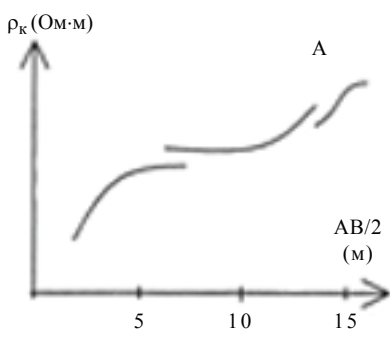
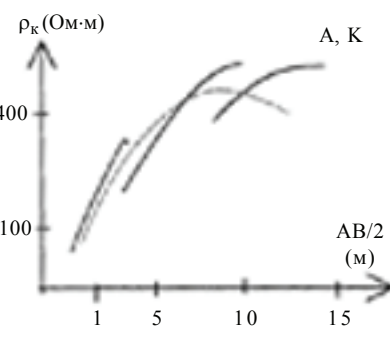
Для устранения этих искажений при интерпретации кривых ВЭЗ необходимо проводить анализ с кривыми, выполненными на контрольных участках, расположенных на различных блоках пород.

Комплекс геофизических исследований на контрольных участках, несмотря на некоторые объективные трудности проведения работ, позволил выявить влияние верхнего слоя на характер кривой ВЭЗ, более обоснованно сопоставлять кривые ВЭЗ, полученные в разное время полевого сезона, при-

**Виды искажений кривых ВЭЗ в верхней части разреза
в районах Нижнего Поволжья**

№	Строение ВЧР, поверхностные условия	Особенности искажений	Кривая ВЭЗ	Примечание, способы устранения искажений
1	2	3	4	5
1	УГВ на кровле опорного горизонта	УГВ отмечается резким понижением ρ_k , "выскоком" на кривой ВЭЗ		Интерпретация кривой ВЭЗ затруднена
2	Глинистые в верхней части разреза породы, сменяющиеся на более высокоомные (пески, песчаники, известняки)	Наклон кривой ВЭЗ зависит от значений УЭС второго и третьего слоев		Интерпретация кривой ВЭЗ затруднена
3	Суглинистый разрез, имеющий в середине пласт или прослой песка			

1	2	3	4	5
4	Речные долины, понижения в рельефе; влажные заболоченные участки			
5	Районы развития суффозионно-карстовых процессов			Интерпретация затруднена, порой невозможно сделать крестовый ВЭЗ
6	Районы развития оползневых процессов			Искажение в левой ветви кривой ВЭЗ. Для устранения искажений необходимо применение специальных электродов
7	Наличие вертикальных границ блоков пород с разными ρ_k . Увеличение ρ_k в средней части кривой ВЭЗ	Разрывы на кривых ВЭЗ		Сделать крестовый ВЭЗ

1	2	3	4	5
8	Разрез сложен породами с высокими значениями УЭС; смена литологии по разрезу, искусственные насыпи	Наклон начальной ветви ($\alpha > 45^\circ$)		Информацию о начальной ветви кривой ВЭЗ можно не использовать
9	Сухой (маловлажный) с поверхности песок, сменяющийся ниже по разрезу на суглинки	Появление на кривой ВЭЗ элемента К (повышение ρ_k). Наклон левой ветви кривой ВЭЗ более 45°		Искажения при изменениях устраняются путем применения специальных электродов
10	Песок, высокоомные песчаники, известняки	Наклон левой ветви кривой ВЭЗ более 45° , большие "ворота"		
11	Установка ВЭЗ наклонена из-за рельефа	Наклон кривой ВЭЗ более 45° , большие "ворота", кривая ВЭЗ слабо дифференцирована		Участок типа К получается за счет увеличения поверхностной влажности, заболоченности. Для устранения искажений перенести установку в другое место; желательно применение специальных электродов

1	2	3	4	5
12	Участок перехода через водные преграды. Искривление установки ВЭЗ	Наклон кривой ВЭЗ более 45°, резкие "высоки" на кривой ВЭЗ с дальнейшим возрастанием ρ_k		Для интерпретации данных использовать неискаженную часть кривой ВЭЗ
13	Участок перехода через водные преграды. Мощный слой водонасыщенных пород (до 3 м), ниже суглинки, песчаники	Наклон кривой ВЭЗ более 45°, большие "ворота" при переходе с M_2N_2 на M_3N_3		Для устранения искажений в левой ветви необходимо применение специальных электродов
14	Участок перехода через водные преграды. Искривление установки ВЭЗ. Крутой берег, сухие пески по разрезу, сменяющиеся водонасыщенной супесью или суглинками	Наклон кривой ВЭЗ более 45° (в центральной части более 135°), часто большие "ворота"		Для устранения искажений в левой ветви необходимо применение специальных электродов
15	Разрез сложен супесчано-суглинистыми породами	Появление левой ветви кривой ВЭЗ элемента К с наклоном кривой более 45°		Искажение на кривой ВЭЗ связано с промерзанием ВЧР в осенний период

Таблица 2

**УЭС пород Нижнего Поволжья
верхней части геологического разреза**

Горная порода	Состояние горной породы	УЭС, Ом · м
почвенный слой	влажный	50-75
суглинки	твердые и мягкопластичные	20-40
глины	твердые и мягкопластичные	2-15
супеси	твердые и пластичные	40-70
пески	маловлажные	1000-1200
	влажные	200-420
	с прослоями глины	40-150
известняк		300-600

менять метод сравнения и группировки их, а также вводить поправку в количественную интерпретацию ранее полученных кривых ВЭЗ.

Наличие буровых скважин на всех участках работ позволило выявить связи электрических сопротивлений с литологией пород во многих точках измерений. Некоторые данные по литологическому составу и соответствующим сопротивлениям представлены в таблице 2.

Из таблицы видно, что породы, слагающие изучаемый разрез района работ, достаточно четко дифференцируются по сопротивлениям в зависимости от их дисперсности.

В полевых условиях приходится сталкиваться с большим разбросом значений сопротивления, вариации которых не находят объяснений с единых позиций. Для избежа-

ния ошибок в интерпретации необходимо значение величин сопротивлений пород рассматривать в тесной связи с видом кривых ВЭЗ, "осложнениями" на ней и данными ландшафтно-индикационной съемки.

Следует отметить, что многие кривые ВЭЗ имеют осложнения в различных частях кривых, которые связаны с наклоном рельефа, наличием овражно-балочной системы, холмов, грунтовых вод;

внутренними неоднородностями, промерзанием верхнего слоя, что крайне затрудняет интерпретацию кривых ВЭЗ, способствует появлению ложных пластов.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Метод электроразведки постоянным током ВЭЗ позволяет производить литологическое расчленение разреза.
2. Типы кривых, несмотря на их разнообразие, являются важным классификационным признаком при районировании по геоэлектрическим условиям.
3. В процессе работ необходимо проведение качественной обработки материалов ВЭЗ, что позволит внести поправки в направление полевых исследований.
4. Необходимо накопление статистического материала об изменении величины $\rho_{уд}$ пород по данным региона исследований.

Л и т е р а т у р а

1. Колесников В.П. Об использовании особых точек при интерпретации данных ВЭЗ. – Пермь: Перм. с.-х. ин-т, 1990. – 1 с. (Деп. в ВИНТИ 05.04.91. – № 1487- в 91).
2. Коркина Р.И. Особенности интерпретации трехслойных кривых ВЭЗ при линейном изменении сопротивления во втором слое //Труды ин-та ПНИИС. – Т. VI. – М., 1971. – 24 с.
3. Кусков В.В. К вопросу об искажениях кривых ВЭЗ в условиях негоризонтальных границ раздела //Вестник Моск. ун-та. Сер.4: геология. – 1987. – № 5. – С.26-37.
4. Семёнов А.С. Боковые влияния //Материалы ЦНИГРИ, сб.5. – 1978.

5. Электропрофилирование над вертикальным пластом донной установкой /В.А. Скорняков, Е.Д. Лисицын, А.Э. Вишняков, Т.В. Бурмистров //Прикладная геофизика. – 1990. – № 122. – С.101-107.

6. Смилевец О.Д. Анализ ошибок при работах методом ВЭЗ при обследовании трасс трубопроводов и строительных площадок //Недра Поволжья и Прикаспия. – 1999. – № 20. – С.48-53.

7. Смилевец О.Д. Электроды для работы методом ВЭЗ //Рационализаторство и изобрет-во в газовой промышленности. – 2002. – Вып.3. – 16 с.

8. Смилевец О.Д. и др. Вертикальное электрическое зондирование вблизи пластов низкого сопротивления //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2002. – Вып.32. – С.42-46.

9. Смилевец О.Д. Комплексные геофизические исследования верхней части разреза при проектировании технических сооружений в нефтегазоносных районах //Труды НИИ геологии СГУ, нов. сер. – Т.ХIII. – Саратов: Научная книга, 2003. – 167 с.

УДК 550.837.01:537.8.

ОБЪЕМНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ БИАНИЗОТРОПНЫХ СРЕД

© 2013 г. П.Н. Александров

Центр Геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН

Аннотация

Решение прямых трехмерных задач геоэлектрики для бианизотропных сред как наиболее общих линейных сред представляет актуальную проблему современной электро-разведки. Сложность решения таких задач связана с большим количеством электромагнитных параметров (максимально 36), которыми характеризуются линейные среды, и сложностью решения уравнений относительно компонент электромагнитного поля для таких сред. Наиболее эффективным способом решения прямых задач для бианизотропных сред является способ сведения системы уравнений Максвелла к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Однако такой подход эффективен только для одномерных сред. Для трехмерных сред наиболее перспективным является способ, основанный на решении объемных интегральных уравнений. Для этого, прежде всего, получим объемные интегральные уравнения относительно компонент электромагнитного поля для случая трехмерной бианизотропной неоднородности, находящейся в одномерном бианизотропном пространстве.

Вывод интегральных уравнений

Для решения прямой трехмерной задачи геоэлектрики бианизотропных сред воспользуемся методом интегральных уравнений, которые получим на основе леммы Лоренца [1]. Рассмотрим две системы уравнений Максвелла

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \alpha \mathbf{H} + \mathbf{J}^{\text{ext}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -i\omega(\mu \mathbf{H} + \beta \mathbf{E}) + \mathbf{B}^{\text{ext}}, \quad (2)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{G}_x^e = \sigma_0 \mathbf{Q}_x^e + \alpha_0 \mathbf{G}_x^e + \delta \mathbf{i}_x, \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{Q}_x^e = -i\omega(\mu_0 \mathbf{G}_x^e + \beta_0 \mathbf{Q}_x^e), \quad (4)$$