Министерство Транспортного строительства СССР Главдорстрой

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ „СОЮЗДОРПРОЕКТ"
ТБИЛИССКИЙ ФИЛИАЛ

Утверждено
СОЮЗДОРПРОЕКТОМ
1 мая 1961 года

ИНСТРУКЦИЯ

по производству электроразведочных работ при изысканиях автомобильных дорог

Тбилиси
1961 г.

gost.e-ecolog.ru

Настоящая инструкция разработана Тбилисским филиалом Союздорпроекта и введена в действие с 1 мая 1961 г. приказом Союздорпроекта как пособие при изысканиях автомобильных дорог.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Опыт электроразведочных работ в системе государственного проектного института „Союздорпроект" с 1955 г. показал, что применение электроразведки при решении инженерно-геологических задач на трассах проектируемых автомобильных дорог значительно сокращает стоимость изысканий и повышает качество выпускаемого проекта.

На основе обобщения накопленного опыта составлена настоящая инструкция, которая содержит требования, предъявляемые к электроразведочным работам при изысканиях трасс автомобильных дорог и является руководящим документом для электроразведочных отрядов Союздорпроекта Главдорстроя Министерства транспортного строительства СССР.

„Инструкция по производству электроразведочных работ при изысканиях автомобильных дорог" составлена Тбилисским филиалом ГПИ „Союздорпроект" (автор инструкции — Л. С. Чантуришвили) и рекомендована Главтранспроектом Минтрансстроя СССР в качестве пособия для изыскателей и проектировщиков автомобильных дорог.

Инструкция введена в действие Союздорпроектом с 1 мая 1961 года.

ВВЕДЕНИЕ

В решении задач инженерной геологии, в частности, при изысканиях трасс проектируемых автомобильных дорог, находит широкое применение электроразведка. С ее помощью и контрольных геолого-разведочных выработок могут определяться геологические разрезы для отдельных сооружений, устанавливаться мощность и границы оползней и карстовых зон. Электроразведка может применяться с целью поисков и разведки месторождений строительных материалов и т. д.

Надо полагать, что в дальнейшем при изысканиях трасс автомобильных дорог в отдельных случаях будут использованы также сейсмические, магнитные, радиометрические и другие геофизические методы разведки.

На данном же этапе, исходя из опыта работ по изысканиям и проектированию трасс автомобильных дорог, электроразведку следует рассматривать как неотъемлемую часть инженерно-геологических работ, т. к. электроразведка позволяет ускорить и улучшить исследования трасс автомобильных дорог. Электроразведка позволяет более правильно ориентировать бурение, сокращать число буровых скважин и шурфов, чем достигается сокращение сроков работ и уменьшается их стоимость.

Обязательным условием успешного применения электроразведки при изысканиях трасс автомобильных дорог является различие в удельных сопротивлениях горных пород, слагающих район работ.

Электроразведка может быть применена на всех стадиях дорожных изысканий и, особенно, на стадии рекогнос-

цировочных работ. Она применяется также на стадии составления технико-экономического доклада, когда возникает надобность уточнения инженерно-геологических условий отдельных районов прокладки трассы дороги.

Настоящая инструкция построена по схеме, принятой в общесоюзной инструкции по электроразведке, изданной Министерством геологии и охраны недр СССР в 1952 г. (повторное издание инструкции находится в печати).

Инструкция представлена тремя главами:

В главе I „Организация работ" — дана структура геофизической службы в проектных организациях Союздорпроекта и указываются обязанности руководителя группы, начальника отряда, техника-вычислителя и топографа. В этой же главе указано необходимое оборудование для электроразведочного отряда, а также разъясняются некоторые организационные вопросы общего характера.

В главе II „Полевые работы" — излагаются требования по подготовке участка электроразведочных работ; приводятся сведения о методах электроразведки, применяемых при изысканиях трасс автомобильных дорог и, наконец, описываются требования и рекомендации по применению электроразведки при исследовании мостовых переходов, тоннельных ходов, оползней и обвалов, карстовых зон, при поисках и разведке подземных вод и месторождений строительных материалов.

В главе III „Камеральные работы" даются краткие рекомендации по интерпретации результатов полевых исследований и оформлению полевых материалов. В тех разделах инструкции, в которых излагаются вопросы, касающиеся укомплектования электроразведочных отрядов приборами, организации работ, точности замеров и т. д., приведены лишь основные сведения практического характера.

Для получения более подробных сведений служит инструкция Министерства геологии.

ГЛАВА I.

Организация работ

§ 1. Для выполнения электроразведочных работ в проектных институтах Союздорпроекта организуются электроразведочные отряды, объединяемые в отдельную электроразведочную группу.

§ 2. Число отрядов в группе определяется объемом проектно-изыскательских работ.

§ 3. Отряд состоит из начальника отряда и техника-вычислителя.

§ 4. Число рабочих в отряде определяется выбранной методикой и масштабом электроразведочных работ, согласно СУПС у и „Единым нормам выработки на геофизические работы".

§ 5. Топографические работы для электроразведочного отряда выполняются топографами, входящими в состав экспедиции по заявке начальника отряда.

Если же электроразведочные работы проводятся самостоятельно, то в состав отряда включается топограф, срок пребывания которого в отряде определяется объемом топографических работ.

Обязанности руководителя группы, начальника отряда, техника-вычислителя и топографа

§ 6. Руководитель электроразведочной группы является ответственным за работу отрядов. Он принимает участие в составлении производственного плана по электроразведочным работам и следит за графиком выполнения этого плана, принимает заявки на оборудование и приборы от начальников отрядов и следит за своевременным оснащением отрядов необходимым оборудованием, снаряжением

и материалами, проверяет готовность отряда к полевым работам, представляет к списанию израсходованный материал или изношенное оборудование, в ходе полевых работ проверяет материал полевых наблюдений и принимает от начальников отрядов полевые книжки и прочий полевой материал, консультирует, по мере необходимости, начальников отрядов в период камеральных работ, следит за новейшей литературой по специальности и помогает членам группы в повышении квалификации.

§ 7. Начальник отряда отвечает за результаты выполняемых отрядом электроразведочных работ. Перед выездом он знакомится с необходимыми геологическими и геофизическими материалами по проектируемой трассе, составляет план работ, намечает методику исследования, укомплектовывает отряд необходимым оборудованием и снаряжением. Начальник отряда выбирает в поле участки для параметрических замеров удельных электрических сопротивлений горных пород, выбирает направления электрических профилей и местоположения точек вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), выполняет полевые работы в соответствии с графиком выполнения производственного плана на объекте работ, следит за соблюдением правил техники безопасности*), обрабатывает полевой материал и составляет совместно с геологом отчет о проведенных работах. Отчет по инженерно-геологическим и электроразведочным работам составляет единое целое.

§ 8. Техник-вычислитель отвечает за правильность записей в полевом журнале, за правильность вычислений и за правильность составления графического материала, размечает провода в последовательности, указанной начальником отряда, руководит заготовкой колышков для закрепления точек наблюдения, заносит в книжку наблюдений значения измеряемых величин, вычисляет $\rho_к$ — кажущееся удельное электрическое сопротивление и записывает замечания оператора, наносит абрис участка работ и записывает особенности условий заземления приемных электродов,

*) По „Памятке по технике безопасности для рабочих электроразведки", Госгеолиздат, 1957 г.

следит за очередностью прохождения меток на проводах, отмечает сомнительные значения $\rho_к$ для повторных замеров разности потенциалов и силы тока, подсчитывает погрешность замеров, строит графики кривых $\rho_к$, выполняет все указания начальника отряда по технике безопасности, принимает участие в камеральной обработке полевого материала.

§ 9. Топограф является ответственным за планово-высотную привязку электроразведочных точек и за разбивку сетки. Он обязан сдать начальнику отряда все необходимые топографические материалы до окончания полевого периода.

Оснащение отряда

§ 10. Электроразведочный отряд оснащается: двумя потенциометрами ЭП-1 или двумя приборами ЭСК-1, проводами, пригодными для полевых работ (ПСМ, ПСМО, ПТГ-19 и пр.), полевыми катушками, батареями Б-72 или аналогичными других марок, элементами*), соединительно-медными проводами, заземлениями стальными или железными и медными или латунными, зондами топографическими, кувалдами и набором необходимых инструментов, изоляционной лентой (резиновой и хлопчатобумажной), полевыми журналами, бланками для построения кривых ВЭЗ, миллиметровкой и канцпринадлежностями, а также необходимым для полевой работы хозинвентарем (походные кровати, спальные мешки, кухонные принадлежности и пр.).

§ 11. За сохранность оборудования, материалов и снаряжения полную ответственность несет начальник отряда.

§ 12. Электроразведочной группе как по месту нахождения проектной организации, так и в полевых условиях должно быть выделено помещение для работы, а также помещение для хранения снаряжения, оборудования и материалов.

§ 13. В случае отсутствия помещения на участках работ следует использовать палатки. По окончании работ па-

*) Количество проводов, батарей, полевых катушек, пикетов и т. д определяются объемом работ.

латки сдаются в общий склад, уложенные аккуратно, в чистом и сухом виде.

Транспортирование грузов и организационные вопросы общего характера

§ 14. Снаряжение электроразведочного отряда отсылается багажом на участок работ. Измерительный прибор—потенциометр—перевозит в вагоне начальник отряда. В багаж прибор сдавать нельзя во избежание порчи.

§ 15. Электроразведочный отряд обслуживается автомашиной на период полевых работ, если участок удален от базы более, чем на один километр. В особо трудных горных условиях предоставляется вьючный транспорт.

§ 16. Отряд базируется в ближайшем от участка работ населенном пункте.

§ 17. При комплексных изысканиях наем рабочих для электроразведочного отряда и для топографа, работающего при отряде, производится начальником экспедиции. Если же отряд выезжает в поле самостоятельно, рабочих нанимает начальник отряда.

В этом случае он обязан явиться в местные органы власти, информировать их о задачах, стоящих перед отрядом, а также установить связь с проектной организацией.

ГЛАВА II.

Полевые работы

§ 18. Электроразведка проводится после рекогносцировочного инженерно-геологического обследования района прокладки трассы проектируемой дороги, в процессе осуществления которого намечаются в общих чертах: трасса проектируемой дороги, мостовые переходы, тоннельные ходы, глубокие выемки и пр. После предварительного осмотра в составе работ по инженерно-геологическому обследованию района определяется объем и характер электроразведочных работ.

Электроразведочный отряд выезжает на полевые работы в срок, установленный календарным графиком работ экспедиции.

§ 19. Полевые работы должны осуществляться по плану и программе, составленным руководителем группы совместно с начальником отряда.

Подготовка участка электроразведочных работ

§ 20. Начальник отряда совместно с топографом намечает направление профилей, их густоту и расстояние между точками наблюдения, после чего топограф приступает к работе по разбивке разведочной сетки.

§ 21. Точки наблюдения закрепляются на местности деревянными колышками. На колышках надписываются номер электропрофиля и порядковый номер колышка или номер ВЭЗ. Надписи обязательно делаются простым карандашом.

§ 22. Номер профиля обозначается римскими, а номер точки наблюдения—арабскими цифрами. Так, например, вторая точка второго профиля обозначается: II/2. Каждый добавочный профиль обозначается номером предшествующего, со штрихом. Так, например, между профилями I и II будет профиль с индексом I .

Перед номером пишутся начальные буквы применяемого метода работ: ВЭЗ №_____, ЭП*) №_____, ППЗ**) №_____ и т. д.

§ 23. Колышки с обозначением номера ставятся на каждой точке вертикального электрического зондирования. При электропрофилировании и работах по методу естественного электрического поля колышки устанавливаются через десять точек замера при хорошей и через пять—при плохой видимости, а чаще—в зависимости от шага установки.

§ 24. В руслах рек участок электроразведочных работ подготавливается с помощью провешенных линий, на которых закреплены поплавки с флажками, отмечающие местоположение точки наблюдения. Каждому профилю соответствует определенный цвет флажка.

§ 25. Топографическая привязка точек ВЭЗ в руслах рек ведется одновременно с производством электроразведочных работ.

Общие сведения о методах электроразведки, применяемых при изысканиях трасс автомобильных дорог.

§ 26. При исследовании геологического строения участ-

*) ЭП—электропрофиль.

**) ППЗ—пункт параметрического замера.

ка работ по глубине, применяется метод **вертикального** электрического зондирования (ВЭЗ).

При помощи этого метода определяется:

1. Мощность наносов по трассе;
2. Мощность отдельных литологически различных слоев;
3. Строение перевального участка для проектирования тоннельного хода дороги;
4. Глубина залегания под вскрышей и мощность стройматериалов;
5. Глубина залегания водоносных пород;
6. Мощность оползневого тела;
7. Мощность аллювия в руслах рек;
8. Угол погружения кровли коренных пород, слагающих склон под аллювиальными образованиями долины.

§ 27. Применяются разные виды ВЭЗ:

Симметричное ВЭЗ

Питающие (A, B) и приемные (M, N) электроды располагаются по одной прямой линии симметрично относительно центра установки AMNB.

Значение кажущегося удельного электрического сопротивления $\rho_к$ рассчитывается по формуле:

$$\rho_к = \frac{\Delta u}{I} \cdot \frac{\pi AM AN}{MN} \quad \text{или}$$

$$\rho_к = 3{,}14 \frac{l^2 - a^2}{2a} \cdot \frac{\Delta u}{I},$$

где: $$l = \frac{AB}{2}, \quad a = \frac{MN}{2};$$

Δu — разность потенциалов между приемными электродами M и N — отсчитываемая в мв;

I — сила тока в цепи (батарея-прибор-земля-батарея), выраженная в ма.

При выполнении ВЭЗ рекомендуется в виде примера следующая последовательность разносов электродов AB и MN (таблица 1).

Выбор разносов электродов может решаться по усмотрению начальника отряда, но всегда следует обеспечить получение отчетливой левой ветви кривой. Необходимо при этом помнить, что величина отношения каждого последующего разноса к предыдущему должна быть в интервале 1,3—1,5. Тогда значения $\rho_к$ равномерно распределятся по кривой ВЭЗ. Всегда должно соблюдаться условие:

$\frac{AB}{MN} \geq 3$ и AB не должно быть больше 30 MN.

Этот метод применяется в тех случаях, когда предполагается более или менее параллельное залегание слоев. Каждая кривая ВЭЗ должна иметь законченный вид.

Таблица 1

№№ замеров	$\frac{AB}{2}$	MN	K	№№ замеров	$\frac{AB}{2}$	MN	K
1	0,75	0,5	3,14	11	65	14	936
2	1,2	0,5	8,66	12	100	14	2230
3	1,8	0,5	1996	12*)	100	50	588
4	2,8	0,5	48,9	13	160	14	5730
5	4,5	0,5	129,8	14	240	50	3578
5*)	4,5	3	18,8	15	380	50	9030
6	6,8	0,5	286	16	570	50	20386
6*)	6,8	3	48	17	900	50	50820
7	11	3	124,3				
8	17	3	300				
9	26	3	798				
9*)	26	14	140,6				
10	40	3	1672				
10*)	40	14	349				

Однополюсное ВЭЗ

Оно отличается от симметричного тем, что питающий электрод „В" отнесен в „бесконечность" и его влиянием на разность потенциалов между приемными электродами мож-

но пренебречь. Если условия местности позволяют, электрод „В" надо относить перпендикулярно к трем остальным электродам от средней точки „О" на расстояние, равное 10-кратному максимальному разносу АО. Если же этой возможности нет, что чаще всего бывает при работе в сильно пересеченной местности, электрод „В" относится в любом удобном направлении на расстояние, равное 15-кратному разносу АО max.

При однополюсном ВЭЗ рекомендуется последовательность разносов, принятая для симметричного ВЭЗ. Значения коэффициентов „К" при однополюсном зондировании вычисляется по формуле:

$$K = \frac{2\pi AMAN}{MN} = \frac{6{,}28\ AMAN}{MN}$$

Условия применения однополюсного зондирования те же, что и симметричного ВЭЗ. Кроме того, этот метод дает лучшие результаты, когда необходимо определить мощность слоя, выклинивающегося на некотором расстоянии от точки зондирования или зондирование приходится проводить вблизи выхода контакта пород. В этих случаях однополюсное зондирование проводится в двух противоположных направлениях, если топографические условия не ограничивают возможности такого двухстороннего однополюсного зондирования (комбинированного зондирования). ВЭЗ производится в нескольких точках по профилю, при фиксированном положении электрода в „бесконечности".

Круговое ВЭЗ

Зондирование, проводимое в одной точке в разных азимутах, называют круговым ВЭЗ. Значения $\rho_к$ рассчитываются по формуле симметричного или однополюсного ВЭЗ, в зависимости от вида применяемого зондирования.

Круговое ВЭЗ применяется при изучении трещиноватости и при изучении карста.

Дипольное ВЭЗ

Отличается от обычного зондирования тем, что расстояние между питающими электродами, а также между

приемными значительно меньше, чем расстояние между средними точками этих двух пар.

Дипольное ВЭЗ подразделяется на следующие виды: азимутальное, если ось диполя MN перпендикулярна линии OO', соединяющей центры диполей; перпендикулярное, если оси диполей AB и MN взаимно перпендикулярны; радиальное, когда диполь MN расположен вдоль линии OO'; параллельное—при расположении диполей AB и MN параллельно друг другу; осевое, если ось диполя MN находится на продолжении оси диполя AB; экваториальное—при расположении осей диполей AB и MN параллельно друг другу и одновременно перпендикулярно к OO' (рис. 1).

Из перечисленных наиболее простыми являются осевая и экваториальная установки.

Значения $\rho_к$ для осевой установки рассчитываются по формуле:

$$\rho_к = \frac{\pi(r^2-l^2)r}{l^2}\cdot\frac{\Delta u}{I},$$

для экваториальной:

$$\rho_к = \frac{2\pi r^3}{l^2}\cdot\frac{\Delta u}{I},$$

где: l—длина питающего диполя, r—расстояние между центрами AB и MN диполей.

Дипольное зондирование, в отличие от всех вышеназванных, является весьма чувствительным к неоднородности изучаемых горных пород; к изменению угла наклона плоскости контакта слоев. Применение этого метода в дорожных изысканиях пока что весьма ограничено, несмотря на некоторые преимущества дипольного ВЭЗ перед другими видами зондирования.

§ 28. Результаты измерений Δu, I и вычисленное $\rho_к$ заносят в полевой журнал, форма которого дана в приложении № 1.

§ 29. Электропрофилирование применяется:

1. При установлении относительного положения кровли коренных пород под наносами, т. е. когда требуется

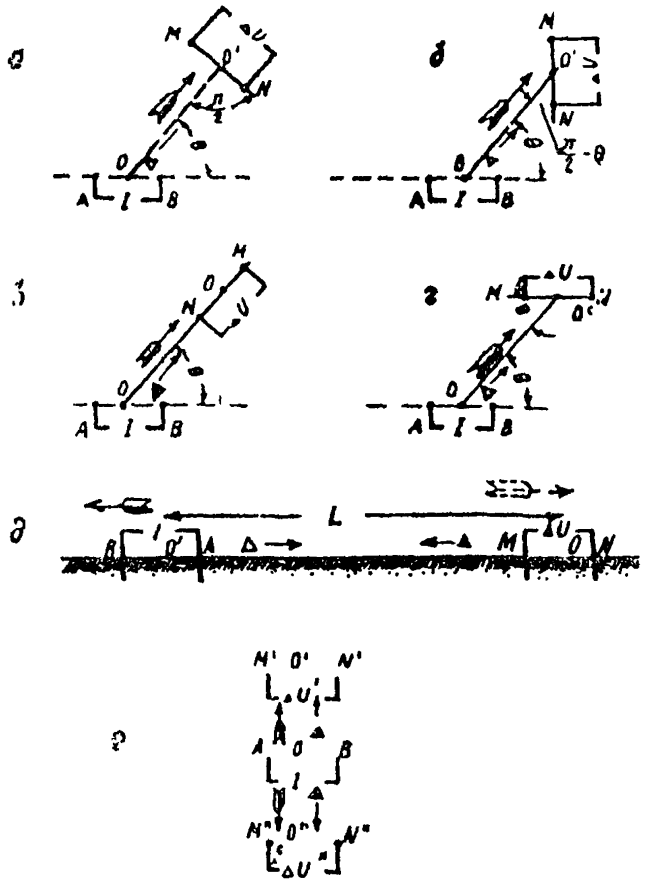

Рис. 1. Схема дипольных ВЭЗ

а) дипольное азимутальное зондирование; б) дипольное перпендикулярное зондирование; в) дипольное радиальное зондирование; г) дипольное параллельное зондирование; д) дипольное осевое зондирование; е) дипольное экваториальное зондирование.

установить участки, где мощность наносов больше по сравнению с другими участками.

2. При поисках месторождений строительных материалов и при оконтуривании в их пределах участков с наиболее благоприятными вскрышными условиями.

3. При выявлении и прослеживании крутопадающих контактов одних горных пород с другими, резко разнящихся между собой по удельным электрическим сопротивлениям

4. При выявлении и оконтуривании карстовых зон.

5. При выявлении и оконтуривании тектонических зон.

6. При выявлении и прослеживании древних долин.

7. При выявлении погребенных линз льда на пойменных моренах в районах мерзлоты.

8. При обследовании осыпей и обвалов (в благоприятных случаях) и при решении некоторых других задач.

Разносы электропрофильной установки выбираются по электрозондированиям, а иногда и по результатам проведенного опытного профилирования с различными разносами питающей линии.

§ 30. Различают следующие виды электропрофилирования:

1. Одинарное симметричное (AMNB).

2. Двойное симметричное электропрофилирование A'AMN BB'.

3. Электропрофиль с повторением A'AMON BB'.

4. Электропрофиль AB фиксированное. Заземления AB строго фиксированы. Электроды MN перемещаются только по средней трети между разносами AB.

Коэффициенты „K" рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{2\pi}{r_{MN}} \cdot \frac{r_{AM} \cdot r_{AN} \cdot r_{BM} \cdot r_{BN}}{r_{AM} \cdot r_{AN} + r_{BM} \cdot r_{BN}} \quad *)$$

Коэффициенты „K" рассчитываются для $\frac{AB}{6}$ до середины расстояния AB, так как во второй части $\frac{AB}{6}$ они повторяются. Этот профиль с успехом применяется для выделения неоднородных локальных зон, например карстовых зон, заполненных глинистым материалом.

5. Комбинированное профилирование.

Расположение электродов и расчеты значений $\rho_к$ апа-

*) r_{AM}, r_{AN} и т. д. означают расстояния между электродами, отмеченными соответствующими буквами.

логичны изложенному для однополюсного ВЭЗ. Определение кажущегося сопротивления производится на встречных асимметричных установках AMN (прямая) и BNM (обратная). Электрод С относится в „бесконечность". Этот вид профилирования применяется для обнаружения мелких включений, для прослеживания контактов между двумя средами под четвертичными образованиями, для обнаружения местоположения и направления простирания маломощных пластов с пологими углами падения или для сравнительно мощных пластов, но с крутыми углами падения.

6. *Дипольное профилирование.*

Расположение электродов, а также расчетные формулы $\rho_к$ аналогичны изложенному для дипольного ВЭЗ.

Меняя размеры приемной и питающей линий диполей, можно решать различные задачи. При изучении крупных структур, дающих плавные аномалии $\rho_к$, следует применять линии одинаковых размеров. При изучении резко локализованных объектов, например маломощных жил, применяется малая приемная линия при относительно большой питающей.

Кроме перечисленных видов профилирования, отдельно выделяют установки на двух, трех и т. д. глубинах и круговое профилирование.

Профилирование на нескольких глубинах не отличается принципиально от симметричного четырехполюсного профилирования и характеризуется разными расстояниями между питающими электродами; применяется при решении вышеперечисленных задач.

Профилирование называется к р у г о в ы м, когда электропрофили ориентированы радиально от одной точки, для которой и рассматриваются полученные результаты.

Круговое профилирование применяется для исследования анизотропности сред. Надо заметить, что для этой цели выгоднее применять круговое ВЭЗ.

§ 31. Данные электропрофилирования заносят в полевой журнал (см. *приложения* № 2, № 3, № 4).

§ 32. Удельное электрическое сопротивление искажается в сторону *снижения, когда глубина заземления питающих* электродов становится соизмеримой с расстоянием

между электродами A и B. Поэтому в тех случаях, когда оказывается необходимым глубоко забивать питающие электроды (в сыпучих грунтах, в районах мерзлоты, в аллювиальных сухих песках и т. д.), на малых расстояниях, расчет $\rho_к$ надо производить по формуле:

$$\rho_к = \frac{1}{2} \frac{\pi l}{\ln \frac{\left[\sqrt{r^2_{AM} + \left(\frac{l}{2}\right)^2} + \frac{l}{2}\right]\left[\sqrt{r^2_{AN} + \left(\frac{l}{2}\right)^2} - \frac{l}{2}\right]}{\left[\sqrt{r^2_{AM} + \left(\frac{l}{2}\right)^2} - \frac{l}{2}\right]\left[\sqrt{r^2_{AN} + \left(\frac{l}{2}\right)^2} + \frac{l}{2}\right]}} \frac{\Delta u}{I}$$

где: l удвоенная глубина заземления.

Если $AB = 10l$, то глубиной погружения можно пренебречь.

Значения $\rho_к$ не зависят от глубины заземления приемных электродов.

§ 33. Значения $\rho_к$, полученные при электрозондировании (ВЭЗ) и электропрофилировании, приписываются средней точке расстояния между приемными электродами центру установки.

§ 34. Для грубоориентировочных вычислений значений $\rho_к$ при производстве работ методом АВ фиксированное полевые наблюдения проводятся следующим образом; пусть l отрезок, взятый в средней трети питающей линии AB. Приемные электроды разносятся на концы отрезка l и рассчитываются значения $\rho_к$ по формуле: $\rho_к = \overline{\rho^к} = K \frac{\overline{\Delta u}}{I}$.

Среднее значение разности потенциалов на шаг измерения $\Delta u = \frac{\Delta U}{n}$, где n проектируемое число шагов в интервале l.

Приближением одного из приемных электродов к другому, определяется величина разности потенциалов на шаг измерения: $\Delta u_i = \Delta U_i - \Delta U_{i-1}$, где ΔU_{i-1} и ΔU_i соответственно разности потенциалов между неподвижным электродом измерительной линии и i—м и (i—1)—м положениями приближающегося электрода.

Значение $\rho_к$ рассчитывается по формуле:

$$\rho_к^{\,i} = \left| \overline{\rho_к} \frac{\Delta u_i}{\overline{\Delta u}} \right|; \quad i=1,\text{-----}, n.$$

Простота способа очевидна, тем более, что по ходу работ оператор может менять шаг наблюдения по собственному усмотрению, легко пересчитывая значения $\overline{\Delta u}$.

При данном способе работ требуется строгий контроль за постоянством силы тока в питающей линии.

§ 35. *Для определения угла* $\alpha\pi$, образованного дневной поверхностью аллювиальных образований и кровлей коренных пород в долине реки, предлагается т. н. полуэкспериментальный прием наблюдений (рис. 2).

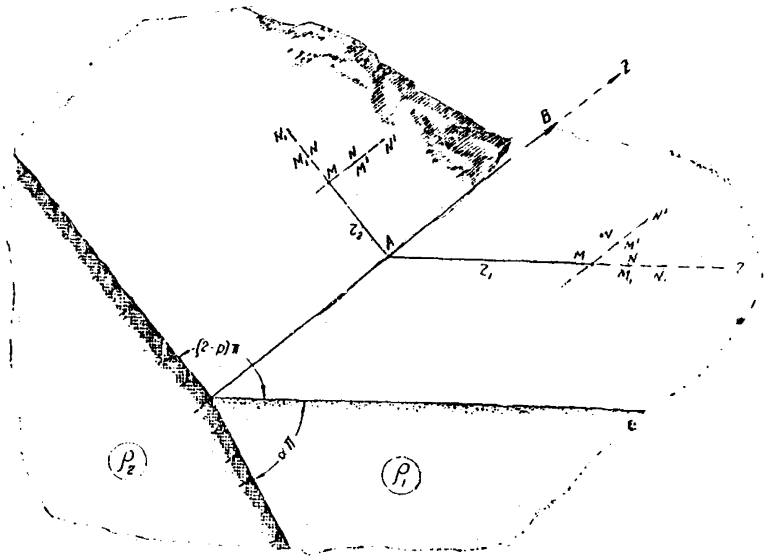

Рис. 2. Иллюстрация к полуэкспериментальному приёму определения угла наклона ($\alpha\pi$)

Питающий электрод А заземляется в подошве склона. На поперечнике, проведенном через точку А, выбираются две точки: одна — по склону, вторая в пойме на расстоянии соответственно r_1 и r_2 от А (для удобства работы $r_2 < r_1$). Электрод В относится вдоль поймы на расстояние

15 r_1. Начало цилиндрических координат находится в точке А. Ось направлена по подошве склона, в сторону электрода В.

В точках r_1 и r_2 производятся измерения градиента потенциала по направлениям r и z. Получается пара значений градиентов в двух точках: $\left(\frac{\Delta u_1}{\Delta r_1}, \frac{\Delta u_1}{\Delta z}\right)1$ и $\left(\frac{\Delta u_2}{\Delta r_2}, \frac{\Delta u_2}{\Delta z}\right)1$. Перемещением приемных электродов на шаг и повторением измерений по r и z (на рисунке MN и M'N') находится вторая пара значений: $\left(\frac{\Delta u_1}{\Delta r_1}, \frac{\Delta u_1}{\Delta z}\right)2$ и $\left(\frac{\Delta u_2}{\Delta r_2}, \frac{\Delta u_2}{\Delta z}\right)2$.

Разность градиентов по r и z дает приращение градиента потенциала: $\frac{\Delta^2 u_1}{\Delta r_1^2}$, $\frac{\Delta^2 u_1}{\Delta z^2}$, и $\frac{\Delta^2 u_2}{\Delta r_2^2}$, $\frac{\Delta^2 u_2}{\Delta z^2}$. Искомый угол α вычисляется по формуле:

$$\alpha = P \frac{1}{1+\mu \frac{d_1}{d_2}}$$

где: (2—P) π—угол у подошвы склона—измеряется горным компасом:

$$d_1 = -\left[\frac{1}{r_1}\frac{\Delta u_1}{\Delta r_1} + \frac{\Delta^2 u_1}{\Delta r_1^2} + \frac{\Delta^2 u_1}{\Delta z^2}\right] r_1^2;$$

$$d_2 = -\left[\frac{1}{r_2}\frac{\Delta u_2}{\Delta r_2} + \frac{\Delta^2 u_2}{\Delta r_2^2} + \frac{\Delta^2 u_2}{\Delta r^2}\right] r_2^2;$$

$$\mu = \frac{\rho_2}{\rho_1};$$

ρ_2—удельное электрическое сопротивление коренных

пород, ρ_1—аллювиальных образований, которые определяются из данных ВЭЗ вдали от подошвы склона.

§ 36. Измерение естественного электрического поля в земле (ПС) электрофильтрационного и диффузионно-адсорбционного происхождения применяется при инженерно-геологических изысканиях трасс автомобильных дорог с целью обнаружения и прослеживания грунтовых вод. Этот метод используется для изучения проблемы водоснабжения населенных пунктов при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог, для исследования утечки воды из водоемов и т. д.

Метод ПС подразделяется на два вида работ:

1. Измерения потенциала естественного поля;

2. Регистрация разностей потенциала или т. н. измерения градиента поля ПС. Предпочтение отдается в основном первому виду работ. Градиент потенциала измеряется лишь в тех случаях, когда измерение потенциала затруднено из-за блуждающих (или теллурических) токов, а также при маршрутных съемках.

При измерении потенциала один электрод фиксирован, а второй перемещается по профилю.

При регистрации разности потенциалов измерения ведутся при взаимной перестановке электродов. Электрофильтрационные и диффузионно-адсорбционные поля обычно весьма малы по величине, и поэтому требуется тщательный контроль собственной ЭДС неполяризующихся электродов. Недоучет ЭДС электродов может привести к ложным аномалиям поля ПС.

§ 37. Данные метода ПС заносятся в полевой журнал (приложения №№ 5, 6).

§ 38. Метод заряженного тела применяется при изысканиях трасс автомобильных дорог в основном для прослеживания направления и определения скорости движения подземных вод и, в редких исключениях, для картирования зон трещиноватости и зон разломов, если они заполнены хорошо проводящей электрический ток средой.

Для применения данного метода необходимо, чтобы проводимость заряжаемой среды была значительно больше проводимости вмещающих пород.

Поэтому в скважину, вскрывшую подземные воды,

загружается поваренная соль или хлористый аммоний. Один из питающих электродов опускается в скважину вместе с солью, а второй заземляется на расстоянии, превышающем глубину погружения первого электрода в скважину в 10—15 раз.

Соль растворяется и выносится в направлении движения потока. Ореол растворенной соли является хорошим проводником электрического тока, поэтому смещение ореола отражается на форме эквипотенциальных линий на дневной поверхности.

По скорости вытягивания эквипотенциальных линий определяется скорость, а также направление движения грунтовых вод, поскольку передний край ореола перемещается со скоростью, близкой к скорости движения потока.

Скорость потока ($v_п$) рассчитывается по скорости смещения центра замкнутой эквипотенциальной линии ($v_з$) по формуле: $v = \frac{s_1 - s_2}{t_1 - t_2}$

где: $s_1 - s_2$—величина смещения центров двух последовательно наблюденных изолиний; $t_1 - t_2$—время.

§ 39. Данные метода заряженного тела заносятся в полевой журнал (приложение № 7).

§ 40. При проведении электроразведочных работ в условиях пересеченной местности электрическое поле искажается за счет рельефа: выпуклые формы рельефа понижают, а вогнутые—повышают нормальное значение $\rho_к$. Для количественного учета влияния рельефа предлагаются палетки Е (рисунки 3, 4). По оси ординат отложены значения $\frac{\rho_к}{\rho_0}$ где ρ_0—неискаженное рельефом значение удельного сопротивления; по оси абсцисс—расстояния вдоль дневной поверхности.

Палетки Е пригодны для интерпретации кривых $\rho_к$ комбинированного профилирования, когда $AO \gg MN$, а также профилирования симметричной установкой, когда $AB \gg MN$. Ими легко пользоваться. Для этого надо топографи-

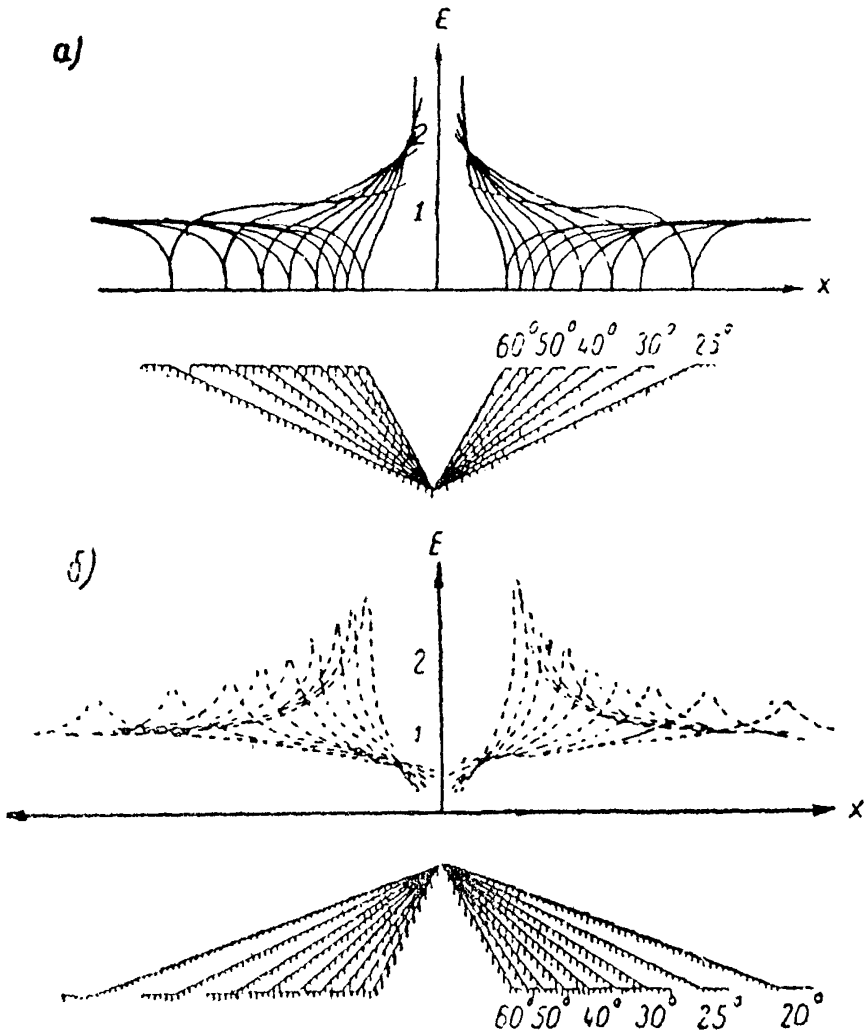

Рис. 3. Палетки E для долин (а) и хребтов (б) с поперечным сечением формы симметричного треугольника.

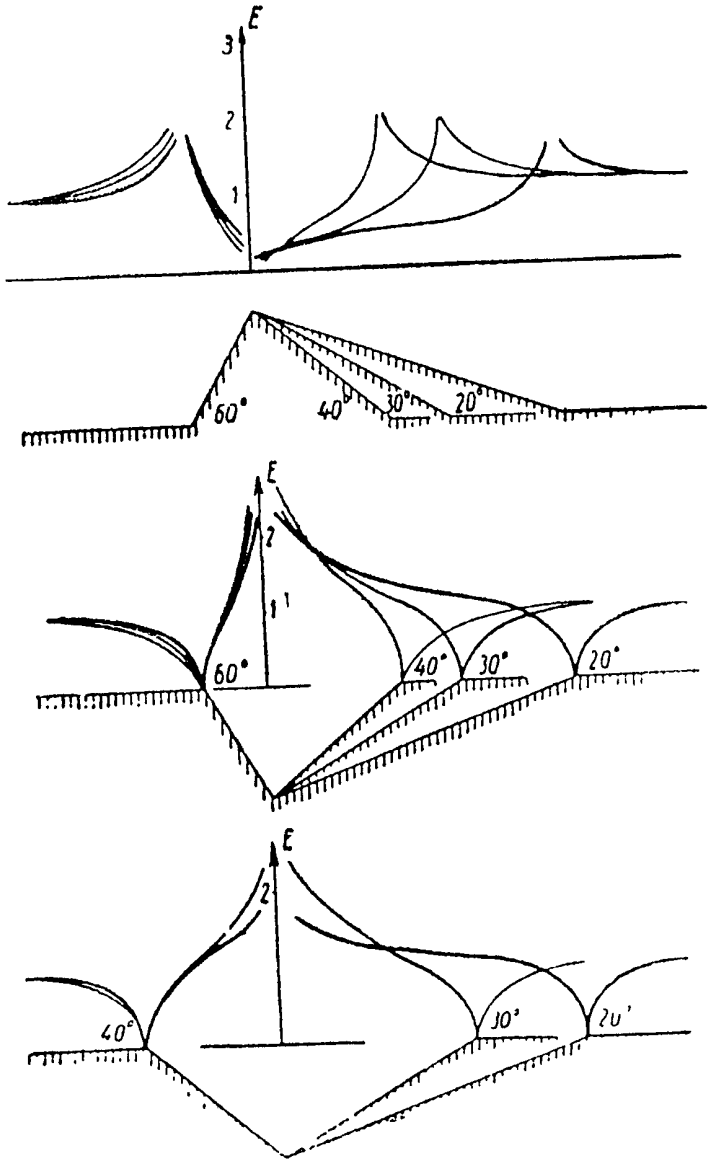

Рис. 4. Палетки E для долин и хребтов с поперечным сечением формы асимметричного треугольника.

ческий разрез вдоль профиля совместить с подходящим треугольником. Если экспериментальная кривая электропрофилирования следует ходу соответствующей теоретической, аномалия обусловлена влиянием рельефа и полностью исключается; если же она отклоняется от хода теоретической кривой, то аномалия, помимо влияния рельефа, обусловлена какими-то посторонними причинами, которые должны быть объяснены геологическим строением в данной точке.

Пример. На рис. 5 представлены кривые $\rho_к$ вдоль четырех профилей, пересекающих овраги. Нанесены соответствующие кривые Е и топографические разрезы вдоль профилей. За ось абсцисс, на которую асимптотически выходят ветви палетки Е, принята прямая, отсекающая на оси ординат значение $\rho_к$ — 125 омм. Это значение представляет собой среднее кажущееся сопротивление пород в той части участка, где кривая не искажена оврагом. Выбор асимптотического значения Е, следовательно, обуславливается видом кривой в ее неискаженной части. Выбор значения L также несколько условный. Нельзя утверждать, что овраг начинается на концах отрезка L, так же как нельзя

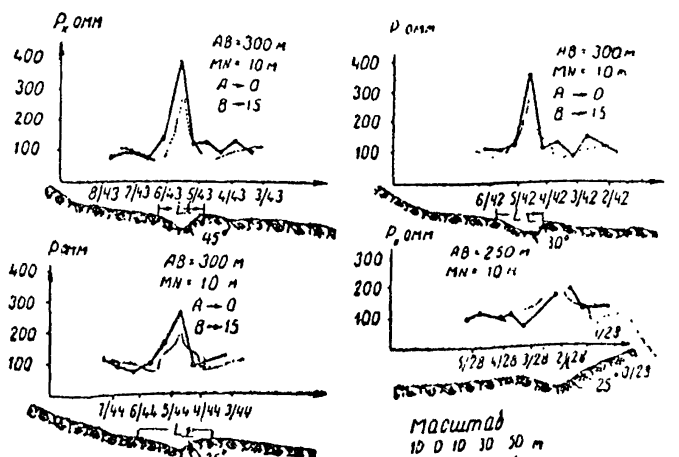

Рис. 5. Пример применения палетки Е.

ожидать, что борт оврага будет сохранять неизменный угол наклона. Однако такой приближенный метод подбора треугольника и соответствующей кривой палетки Е, как показывает практика полевых работ, дает достаточно хорошие результаты при интерпретации кривых электропрофилирования.

Палетки Е не рассчитаны для угловых точек контура, в частности для дна долины. В этом случае, следуя теории, получаем значение $\rho_к = \infty$. Практически же любой угол скруглен в разной степени*). Для определения значения $\rho_к$ в точке, расположенной на дне долины, необходимо дополнить контур долины до треугольника, измерить расстояние от вершины треугольника до точки касания с контуром долины, определить величину превышения дна долины над вершиной треугольника и значения $\rho_к$ рассчитать по таблице значений поправочных коэффициентов (стр. 29).

Расчетная формула $\rho_к$ принимает в нашем случае вид:

$$\rho_к = \rho_0 \left| \frac{к^2 (1-\alpha_1) \left(\frac{2}{\sqrt{0{,}99}} - 1 \right)^{\alpha_2 - 1}}{\left(\frac{к}{m} \right)^{\alpha_2 - 1} \left(\cos \alpha_2 \pi - 2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2} \pi \right)} \right|,$$

где $\alpha_2 \pi$ угол у дна долины, отсчитанный с внутренней стороны контура (всегда $> \pi$); $(1-\alpha_1)\ \pi$ – угол наклона борта долины; „к" определяется из таблицы (11, стр. 7):

$(1-\alpha_1)\pi$	25^0	30^0	35^0	40^0
(К)	2,72	2,32	2,03	1,84

m – отношение длины борта к длине отрезка от вершины треугольника до точки касания вписанного контура долины (округленное до целого числа).

ρ_0 – неискаженное долиной значение удельного электрического сопротивления.

*) М. А. Лаврентьев и Б. В. Шабат. Методы теории функций комплексного переменного, стр. 180. Гос. изд. физ.-мат. литературы, М., 1958 г.

ТАБЛИЦА
значений поправочных коэффициентов

Расстояние от вершины треугольника до точки касания вписанного контура долины (в долях длины борта)	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
Расстояние от вершины треугольника до дна долины (в долях длины борта)	~1/50	~1/60	~1/70	~1/80	~1/90	~1/100
Поправка на дно долины для угла наклона борта:						
25°	1,53	1,61	1,67	1,74	1,81	1,86
30°	2,13	2,27	2,41	2,49	2,59	2,69
35°	2,87	3,07	3,22	3,38	3,57	3,77
40°	3,12	3,45	3,63	3,85	4,09	4,22

При проведении комбинированного и симметричного профилирования нормально к простиранию долины и хребта, качественно влияние рельефа на искажение значений $\rho_к$ определяется экспериментальными палетками А. В. Вешова (рис. 6 и 7).

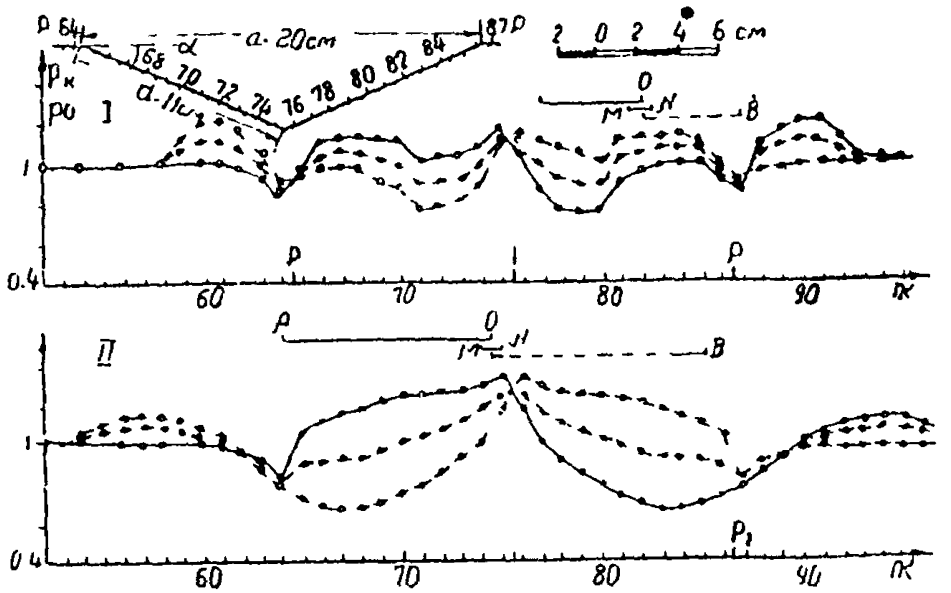

Рис. 6. Кривые $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования над долиной с конечными склонами ($\alpha=15^0$) o — -o $\rho_к$ прямой установки; O-----O $\rho_к$ обратной установки; ●-----● $\rho_к$ симметричного профилирования; d—длина склона по падению; a—расстояние между краями долины; P - P часть профиля, соответствующая долине; ↓ —центр долины.

I—AO = OB = 5,5 см = 0,5d; II - AO = OB = 10,5 см = 1d.

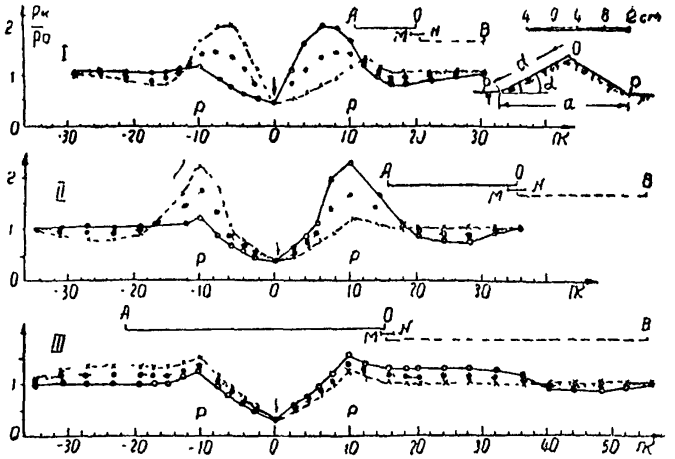

Рис. 7. Кривые $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования над хребтом с конечными склонами ($\alpha=30^0$) (по А. С. Полякову), o———o $\rho^к$ прямой установки; x———x $\rho_к$ обратной установки; ●– – – ● $\rho_к$ симметричного профилирования. d=11,5 см; a=20 см; P—P—часть профиля, соответствующая хребту; ↓ — вершина хребта.

I—AO=OB=10 см=0,87d; II—AO=OB=20 см=1,7d;
III—AO=OB=40 см=3,5d.

Когда размеры симметричной установки соизмеримы с шириной хребта, для учета влияния рельефа можно пользоваться экспериментальными палетками С. Г. Комарова и Л. П. Горбенко (рис. 8). На палетках нанесены цифры, обозначающие отношение $\frac{AB}{d}$, где d—ширина основания хребта.

При проведении ВЭЗ на хребте, когда электроды располагаются нормально к оси хребта, расчет кажущегося удельного электрического сопротивления для четырехточечной установки производится по формуле:

$$\rho_к = \frac{2\pi}{\frac{\delta_1}{r_{AM}} - \frac{\delta_2}{r_{AN}} - \frac{\delta_3}{r_{BM}} + \frac{\delta_4}{r_{BN}}} \cdot \frac{\Delta u}{I}$$

где: r_{AM} r_{AN}, и. т. д. (см. приложение к § 30)

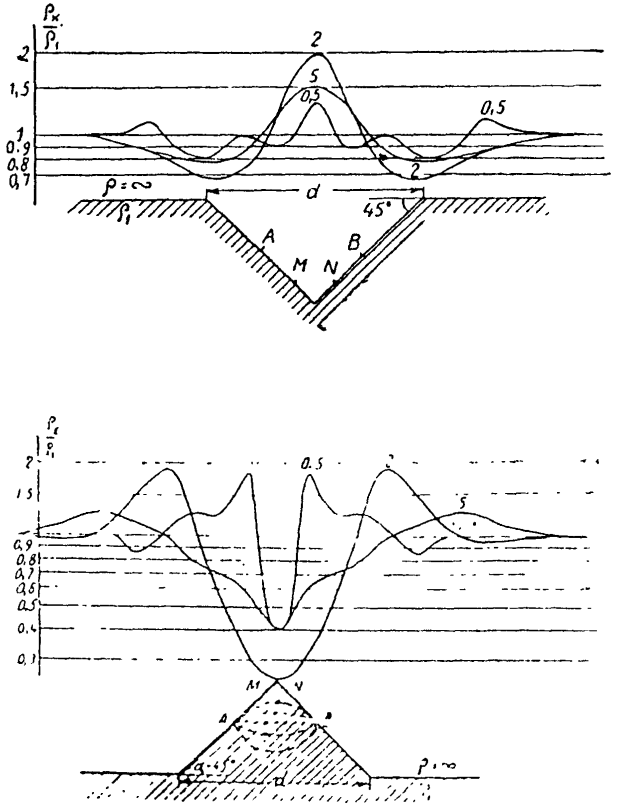

Рис. 8. Экспериментальные палетки С. Г. Комарова и Л. П. Горбенко по учету влияния рельефа.

δ*)—величина, рассчитанная по формуле:

$$\delta = \frac{2R}{\alpha\sqrt{r\,r_0}}\left[\frac{1}{2}\,Q_{-\frac{1}{2}}(\xi) + \sum_{m=1}^{\infty} Q_{Sm-\frac{1}{2}}(\xi)\right],$$

когда источник тока и точка наблюдения находятся на одном склоне и

$$\delta = \frac{2R}{\alpha\sqrt{r\,r_0}}\left[\frac{1}{2}\,Q_{-\frac{1}{2}}(\xi) + \sum_{m}^{\infty} (-)^m Q_{Sm-\frac{1}{2}}(\xi)\right],$$

когда они расположены на разных склонах.

Здесь: r—расстояние от гребня до приемного электрода,

r_0—то же до источника тока,

$R = r - r_0$,

$\xi = \frac{r^2 + r_0^2}{2rr_0}$.

α—угол у гребня хребта,

Q—функция Лежандра второго рода,

$Sm = \frac{m\pi}{\alpha}$.

Для облегчения расчетов приводится номограмма значений Q (рис. 9).

---

*) Индекс при δ опущен. Для δ_1—$r = r_1 = r_{MP}$

$r_0 = r_{01} = r_{AP}$

для δ_3—$r = r_3 = r_{NP}$

$r_0 = r_{01} = r_{AP}$

для δ_2—$r = r_1 = r_{MP}$

$r_0 = r_{02} = r_{BP}$

для δ_4—$r = r_3 = r_{NB}$

$r_0 = r_{02} = r_{BP}$

где p—точка, соответствующая гребню хребта

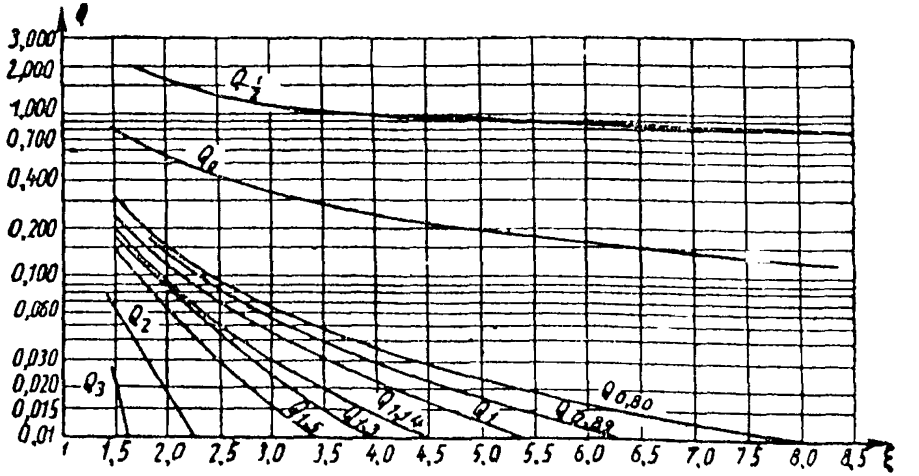

Рис 9. Номограммы значений Q

Когда расстояние между питающими и приемными электродами выбрано так, что удовлетворяется условие:

$$r_{M,N} \geq 3{,}73\ r_0 \quad \text{или}$$

$$r_0 \geq 3{,}73\ r_{M,N}, \text{ тогда}$$

$\xi \geq 2$ и поправка по номограмме Q находится просто.

Производство полевых работ

Правила обращения с измерительной аппаратурой

§ 11. Измерительным прибором при работе методами сопротивления и ПС служит потенциометр ЭП –1, который работает на принципе компенсации внешнего поля источником тока, помещенным в самом приборе.

Элемент в потенциометре заменяется новым, если при закороченных клеммах MN отклонение стрелки расходится с указанным на шкале гальванометра значением на 10 – 15%.

§ 12. Точность замера в значительной степени зависит от одновременного замыкания внешней и внутренней электрических цепей. Поэтому замер производится после тщательной регулировки ключа одновременного замыкания потенциометра.

§ 13. Перед началом замера потенциометр устанавливается в горизонтальном положении.

После замера прибор необходимо заарретировать плавно, без рывков. Потенциометр может быть с открытым арретиром только при измерениях. Во всех остальных случаях арретир должен быть закрыт.

§ 44. Нельзя допускать загрязнения потенциометра. Эбонитовую панель потенциометра необходимо часто протирать сухой тряпкой или ватой. В сырую погоду рекомендуется смазывать верхнюю панель тонким слоем вазелина для устранения водяной пленки, вызывающей замыкание цепи между клеммами.

§ 45. Для того, чтобы определить, в каком плече питающей линии произошел обрыв, поступают следующим образом: если провод с катушки не размотан, то к клеммам катушки подсоединяют провод, подключенный к клемме „М" потенциометра. Другой провод, подключенный к клемме „N" потенциометра, подсоединяют к концу провода на катушке. Затем, установив на декаде единиц 1 мв, замыкают цепь потенциометра ключом одновременного замыкания при замкнутой кнопке Л и **при обязательно отключенной питающей батарее.**

Если при этом стрелка гальванометра отклонится, то обрыва в линии нет. Если есть обрыв, то стрелка гальванометра не отклонится. Так же проверяется и другое плечо питающей линии.

Если провода питающей линии уже размотаны и электроды „А" и „Б" заземлены, то, оставив включенным в цепь питающей батареи только одно плечо питающей линии, например „А", вместо другого плеча „В" подключают к батарее провод, соединенный с электродом, забитым в грунт у потенциометра. Если в линии есть обрыв, то при включении батареи стрелка гальванометра не отклонится от положения равновесия.

Так же проверяют и другое плечо питающей линии.

§ 46. Прибор нельзя вскрывать в полевых условиях. Лишь в крайнем случае, если оператор проверил внешний контур и убедился, что цепь не замкнута по причине порчи потенциометра, он вправе произвести его легкий осмотр: снять крышку компенсатора поляризации и проверить положение элемента в гнезде и работу реостата; проверить

соединительную колодку в зажимах, где часто бывает обрыв; вскрыть гнездо с компенсационным элементом в самом потенциометре.

Прибор ремонтируется на базе лицом, знакомым со схемой потенциометра и имеющим навык обращения с приборами.

§ 47. Провода от питающих и приемных электродов нельзя привязывать к ножке треноги, т. к. их можно случайно задеть и опрокинуть прибор.

§ 48. Во избежание перегрева прибор не рекомендуется оставлять длительно под солнцем. В знойные солнечные дни, а также в дождь для защиты потенциометра используется топографический зонт.

§ 49. Помимо потенциометра ЭП-1, в разведке методом сопротивления и ИС применяются также электронные автокомпенсаторы ЭСК-1, КСР-1 и КСРМ-1*).

Электронный компенсатор должен давать устойчивые показания с приведенной относительной погрешностью, не превышающей следующие значения:

а) при измерении разности потенциалов на пределах 10—1000 мв — 1,5% и на пределах 1 и 3 мв — 3%;

б) при измерении силы тока на всех пределах — 1,5%;

в) при непосредственном измерении $\rho_к$ на пределах — (по Δu) 10—1000 мв — 3% и на пределах 1 и 3 мв — 1,5%.

Входное сопротивление приборов на всех пределах измерений не должно быть меньше 1 мегом.

Перед началом наблюдений проверяется напряжение источников питания электронной схемы. Источники считаются работоспособными, если стрелка указателя находится в пределах между цифрами 10 и 15 нижней шкалы при контроле напряжения накала и между делениями 60 и 90 нижней шкалы — при контроле напряжения анода.

§ 50. Приборы ЭСК—1, КСР—1 и КСРМ—1 необходимо предохранять от сильных сотрясений, хранить в чистоте и применять все те же предосторожности при полевых замерах, которые необходимы при работе с потенциометром ЭП-1.

---

*) А. В. Вешев, Л. Я. Мизюк, Г. А. Петров, А. Ф. Фокин, А. Н. Чирьев. Электронная электроразведочная аппаратура КСР-1 ЭСК-1 и КСРМ-1. Госгеолтехиздат, М. 1959 г.

Контроль и точность измерений. Меры борьбы с помехами.

§ 51. Измеренные величины разности потенциалов меньше 0,3 мв при производстве ВЭЗ и электропрофилировании не являются надежными; поэтому такие замеры исключаются. При измерениях разности потенциалов минимальное отклонение стрелки гальванометра при спокойном её поведении в трудных условиях заземления не должно быть меньше одного деления шкалы. При относительно неспокойном поведении стрелки—по крайней мере вдвое больше.

Если стрелка отклоняется меньше указанных выше пределов, необходимо подать большее напряжение на питающие электроды и улучшить заземление питающих и приемных электродов. Измерения величин разности потенциалов, вызывающих отклонение стрелки гальванометра менее, чем на два деления шкалы, следует многократно (не менее 3 –5 раз) повторять. Результаты всех повторных измерений с указанием чувствительности приемной линии MN заносятся в полевой журнал.

§ 52.*) Замеры при неспокойном состоянии стрелки гальванометра производятся только в том случае, когда движение её вызвано причинами, которые оператор не в силах устранить. Во всех прочих случаях (падение напряжения батареи, элемента потенциометра и т. д.) необходимо устранить причину „сползания" стрелки и только после этого производить замеры.

§ 53. Правильность наблюдения проверяется путем контрольных замеров. Оператор обязан проводить повторные замеры на всех точках, которые вызывают сомнение и на „выскочивших" точках.

Контрольные замеры и замеры для обнаружения утечек тока следует производить при изменении сопротивлений питающей линии. Изменять сопротивление заземлений можно путем подбивки их в грунт или, наоборот, частичным вытаскиванием из грунта так, чтобы при этом сила

*) §§ 51—56 взяты из одноименного раздела „Инструкции по электроразведке" Министерства геологии и охраны недр СССР за 1952 г.

тока в цепи изменялась примерно на 25%. При этом вычисленное $\rho_к$ не должно отличаться от первоначального замера более, чем на 5%. Если разница в замерах более 5%, то, значит, в линии есть утечка, место которой надо найти и, изолировав провод, ликвидировать утечку.

При наличии утечки замеры производить воспрещается.

§ 54. Помимо повторного и контрольного замеров на отдельных точках, необходимо повторять измерения на отдельных профилях и на отдельных некоторых ВЭЗ. Число контрольных ВЭЗ должно составлять 5% от общего количества ВЭЗ.

§ 55. В методе ПС при измерении потенциала точность наблюдения определяется по средней абсолютной погрешности, которая не должна превышать 5 мв. Абсолютные погрешности на отдельных точках не должны превышать среднюю погрешность более, чем втрое.

При измерении градиента потенциала оценка точности работ производится по величине невязки, которая не должна превышать 5% суммы значений измеренных разностей потенциалов по замкнутым контурам.

§ 56. При работе методом профилирования точность наблюдений определяется по средней относительной погрешности. Последняя не должна превышать 5% при максимальной относительной погрешности отдельных точек не более 15% (в случаях отклонения каждого замера от среднего арифметического более, чем на + 7,5%).

При работе по методу ВЭЗ для каждого разноса AB отклонение значения $\rho_к$ от его среднего арифметического значения контрольного и контролируемого ВЭЗ не должно превышать $\pm$ 5%. Средние арифметические для каждого соответствующего разноса AB не должны отличаться друг от друга более, чем на 5%.

§ 57. Учитывая специфику электроразведочных работ, выполняемых организациями Союздорпроекта, когда основное внимание уделяется малым глубинам, необходимо проводить контрольные замеры на малых и больших разносах питающих электродов при электрозондировании.

§ 58. Основными помехами в измерениях разности потенциалов и силы тока при электроразведочных работах

являются: в промышленных районах—наличие блуждающих токов во влажном и заболоченном грунте—неустойчивость ЭДС приемных электродов, а также помехи от ветра; остальные причины, искажающие замеры, как-то: индукция в линии питания и приема, „скин-эффект"—уплотнение линий тока у поверхности земли и увеличение, вследствие этого, значения $\rho_к$, или, наконец, теллурические токи, из-за которых в ряде случаев приходится отказываться от замера разности потенциалов, оказываются в пределе точности замеров вследствие малых размеров приемной и питающей установки при электроразведке на трассах автомобильных дорог.

Помехи от блуждающих токов появляются в виде неравномерного движения стрелки гальванометра, незакономерных рывков и сползания её с нуля. Вследствие неустойчивости ЭДС приемных электродов при компенсации поляризации стрелка сползает. От ветра она дрожит, в результате чего также затрудняется нормальная компенсация.

§ 59. Для устранения помех от блуждающих токов надо включить в схему пульсатор. Если отряд не обеспечен пульсатором, надо измерять разность потенциалов и силу тока в сравнительно спокойные от блуждающих токов промежутки времени. Оператор должен „приспособить" глаз к сползанию стрелки и замер проводить на каждой точке 3—5 раз. Кроме того, надо приурочить, по возможности, график работ к утренним и вечерним часам дня, когда предприятия не работают с максимальной нагрузкой.

Стабилизировать положение стрелки гальванометра при неустойчивой поляризации электродов можно путем перебивки их в другое место или путем пропускания тока в питающей цепи. Для этого несколько раз (3—5) подряд нажимают ключ одновременного замыкания так, чтобы каждый раз батарея была включена в цепь на 5—10 секунд.

Приемные электроды всегда должны быть чистыми, на них не должно быть окиси меди, т. к. окисленные электроды дают большую поляризацию.

Помехи от ветра устраняются просто. Надо для этого оградить прибор от ветра, перекрыв потенциометр плащ-

палаткой или прикрыв наветренную сторону щитами. Около приемных электродов следует выполоть траву.

Определение электрических параметров горных пород

§ 60. Удельное электрическое сопротивление горных пород определяется в их естественном залегании. Для этого необходимо проводить параметрическое зондирование на обнажениях. ВЭЗ производится в такой точке, чтобы питающие электроды не выходили за пределы исследуемой горной породы. Питающие линии разносятся до выхода правой ветви кривой ВЭЗ на асимптоту. $\rho_к$, отвечающее асимптоте, является параметрическим значением удельного электрического сопротивления изучаемой горной породы.

§ 61. Если на участке работ имеется буровая скважина, значения удельных электрических сопротивлений горных пород определяются каротажными (точечными) наблюдениями. Для этого в скважину опускается кабель с установкой AMN, электрод B заземляется у устья скважины.

Глубина замера определяется по отметкам на кабеле. Значение $\rho_к$ приписываются средней точке расстояния MN, если замеры производятся градиент-зондом.

§ 62. Параметрическое зондирование можно проводить при наличии наносов. Сопротивление коренных пород определится правой асимптотой кривой ВЭЗ, если мощность коренных пород значительна, а состав их однороден.

§ 63. Параметрическое зондирование проводится также и на обнажениях горных пород.

§ 64. Отряд приступает к выполнению программы, намеченной по плану, с изучения электрических параметров горных пород.

Если параметры не поддаются определению, вернее если не намечается дифференциация в удельных электрических сопротивлениях горных пород, проводить дальнейшие измерения в объеме, предусмотренном планом работ, не представляется целесообразным.

Начальник отряда обязан уведомить об этом руководителя работ и действовать согласно его указанию.

Разведка мостовых переходов*)

§ 65. Целью электроразведочных работ на мостовых переходах является определение инженерно-геологических и гидрогеологических условий по створу мостового перехода:

1. Определение литологического состава аллювиальных отложений и глубины залегания кровли коренных пород под ними.

2. Определение мощности выветрелой зоны скальных пород.

3. Определение глубины залегания зеркала грунтовых вод.

4. Исследование карста (см. §§ 81, 126).

§ 66. При исследовании мостового перехода основным рабочим методом является метод ВЭЗ, вспомогательным — электропрофилирование и метод ПС.

Если ширина долины значительная и на участке работ она не имеет изгибов, применяется симметричное ВЭЗ. Если долина узкая с частыми извилинами, применяется однополюсное ВЭЗ.

Электропрофилирование проводится после выполнения ВЭЗ. Электропрофили проходят по точкам ВЭЗ, вдоль и вкрест направлению долины реки. Этими двумя направлениями определяется пространственная инженерно-геологическая характеристика мостового перехода.

Углы погружения кровли коренных пород, слагающих склон, под аллювиальными образованиями реки ориентировочно определяются полуэкспериментальным приемом.

Для исследования донного карста в русле реки применяется ВЭЗ, комбинированное профилирование и метод ПС.

§ 67. Объем и сметная стоимость электроразведочных работ на мостовых переходах определяется в зависимости от категории сложности естественных условий проектируемого мостового перехода.

Малая сложность: открытая пойма или незначительно заросшая кустарником, незаболоченная, а также без

*) См. „Наставление по изысканиям ж.—д. мостовых переходов через водотоки", § 54, стр. 27. Главтранспроект, М., 1953 г.

проток и староречий; аллювиальный материал характеризуется невысоким сопротивлением; берега поймы открыты или слабо залесенные, имеются выходы подстилающих пород (маркирующего горизонта), либо последние близко подходят к дневной поверхности.

Большая сложность: если имеются протоки, староречья, озера, заболоченность; река сильно меандрирует; берега реки крутые и залесенные; в пойме аллювиальный материал представлен крупными глыбами; переходное сопротивление электродов значительное.

Средняя сложность: промежуточные условия мостовых переходов между малой и большой сложностью.

§ 68. При составлении плана работ по мостовым переходам, а также для отчетности надо придерживаться классификации рек по таблице 2*), а также характеристики естественных условий в поймах, согласно § 67.

Таблица 2

Класс реки	Ширина	
	Главного русла в м	Поймы в км
I	—	5—6
II	800—400	4—5
III	200—800	3—4
IV	100—200	2—3
V	50—100	1,5—2
VI	25—50	1—1,5
VII	до 25	до 1

§ 69. Мостовой переход исследуется с помощью трех профилей, из которых один проводится по створу проектируемого моста, два остальных — параллельно основному с обеих сторон от него. Расстояние между профилями зависит от ширины поймы: рекомендуется проводить их не ближе 10 м друг от друга и не дальше $\frac{L}{5}$, где L ширина поймы.

*) Справочник укрупненных показателей стоимости проектных и изыск. работ, ч. 24, разд. IV, М., 1958 г.

Точки зондирования располагаются в створе мостового перехода и на параллельных профилях. В случае суходола точки ВЭЗ, как правило, располагаются на равных расстояниях друг от друга. Для расстояния между точками ВЭЗ принимаются следующие пределы: по основному створу примерно $\frac{L}{10}$, но не ближе 10 м друг от друга; по вспомогательному—исходя из пропорции 1 : 2—1 : 3 к основному (рис. 10).

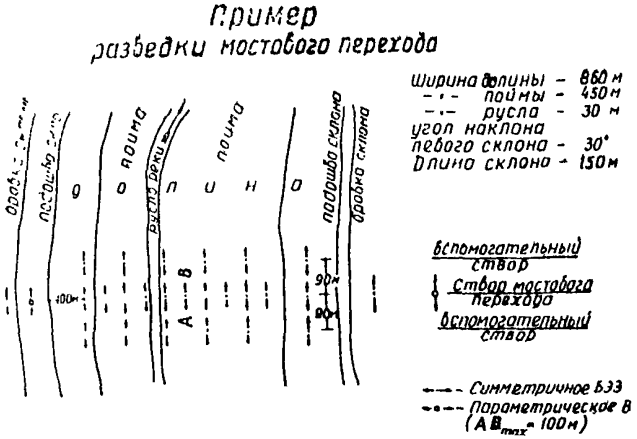

Рис. 10.

Геоэлектрические разрезы строятся по створу мостового перехода и по вспомогательным профилям.

При наличии действующего русла густота точек ВЭЗ по профилю меняется: в пойме точки ВЭЗ располагаются в вышеизложенном порядке; в русле же реки:

для IV класса -одна точка ВЭЗ в середине русла. Всего три точки по трем поперечникам;

для III класса – две точки ВЭЗ. Всего четыре точки по трем поперечникам: две из них—по основному створу, по одной—на вспомогательных;

для II класса—три точки ВЭЗ. Всего семь точек: три по *основному, по две—на вспомогательных поперечниках*;

для V, VI и VII классов зондирование в руслах реки не производится.

§ 70. Питающие и приемные линии ВЭЗ ориентируются вдоль долины реки. При этом надо стараться, чтобы электроды не выходили за пределы аллювиальных отложений реки. Если долина реки делает изгиб, то линию разносов можно искривить на угол, не превышающий 5^0 от центра установки в каждом направлении питающих электродов. В случае большого изгиба долины необходимо применять однополюсное ВЭЗ.

§ 71. В условиях горного рельефа, когда долина реки характеризуется частыми излучинами, следует применять однополюсное зондирование. Электрод „В" удобнее всего относить по долине реки на расстояние $10—15 \times AO_{max}$, направление разносов—вдоль долины.

§ 72. Если зондирование проводится на дне лога с вертикальными склонами (обычно наблюдаемыми в селевых выносах, вследствие выпахивания новым селевым потоком старых наносов и в некоторых других случаях), зондирование следует проводить вдоль лога. При этом значения $\rho_к$ будут занижены при $\frac{AB}{2}$ примерно равном] ширине дна лога, что необходимо учитывать при интерпретации кривой ВЭЗ.

§ 73. Если склон долины крутой, порядка 90^0, и по ходу работ оказывается необходимым ставить точки зондирования у бровки долины, постепенно отдаляясь от нее, необходимо вносить поправки в значения $\rho_к$ за счет искажающего влияния склона на электрическое поле в земле.

Для учета влияния склона надо пользоваться таблицей 3, где даны значения коэффициентов k в зависимости от расстояния d от бровки склона до точки наблюдения. При этом разносы питающей и приемной цепей ориентируются параллельно бровке.

Таблица 3

$\frac{AB}{2}$	$\frac{d}{MN}$	2,5	3,5	5	8	16	22	K норм
		K						
2,5	1	16,5	17,6	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
3		21,5	24,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
4		33,6	40,0	45,3	49,5	49,5	49,5	49,5
5		44,7	57,0	66,4	74,0	77,8	77,8	77,8
6		60,0	72,2	88,4	103,2	112,0	112,0	112,0
3	2	10,9	12,0	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
4		19,2	21,1	22,5	23,6	23,6	23,6	23,6
5		23,2	31,7	34,8	36,7	37,7	37,7	37,7
6		37,8	43,7	48,7	52,8	55,0	55,0	55,0
8		62,0	69,8	80,0	91,3	99,0	99,0	99,0
10		90,5	104,0	114,9	135,0	142,3	155,0	155,0
15		191,0	202,0	211,0	270,0	316,0	353,0	353,0
20		313,0	342,0	366,0	431,0	478,0	600,0	628,0
6	3	28,3	30,7	33,0	34,6	35,3	35,3	35,3
8		47,2	51,3	56,2	61,2	64,2	64,2	64,2
10		71,4	76,8	83,6	93,5	101,0	101,0	101,0
15		146,0	153,0	166,0	189,0	218,0	229,0	229,0
20		262,0	269,0	285,0	319,0	382,0	420,0	420,0
30		826,0	835,0	849,0	893,0	914,0	920,0	920,0
50		1570,0	1570,0	1570,0	1620,0	1960,0	2370,0	2620,0
10	5	45,7	48,0	52,1	55,9	59,0	59,0	59,0
15		102,0	107,0	111,0	123,0	135,5	135,5	135,5
20		181,0	186,0	193,0	207,0	233,0	247,0	247,0
30		400,0	410,0	422,0	437,0	508,0	552,0	561,0
40		666,0	666,0	666,0	755,0	827,0	958,0	1005,0
50		1120,0	1120,0	1130,0	1148,0	1240,0	1420,0	1565,0

§ 74. Если пойма широкая, а склоны долины имеют углы 10^0—15^0, кривые ВЭЗ интерпретируются без учета влияния рельефа. В случае узкого каньона значения $\rho_к$ будут искажены против нормальных, и асимптота кривой ВЭЗ несколько смещена против нормального положения. Поэтому электроразведочные работы необходимо начинать со склонов долины, производя зондирование подальше от подошвы и бровки долины. Это необходимо для определения истинного электрического сопротивления коренных пород. При интерпретации кривых ВЭЗ значение истинного сопротивления пород дает возможность правильно ориентировать правую ветвь кривой $\rho_к$.

§ 75. При профилировании нормально к простиранию V-образной долины или оврага применяется комбинированное профилирование. Электрод „С" относится по долине не менее чем на 5-кратное расстояние длины профиля и не смещается в процессе профилирования. Измерения начинаются от крайнего профиля планшета, а электрод „С" относится в сторону от створа мостового перехода. Комбинированное электропрофилирование так проводится на последующих профилях, что место заземления электрода „С" не смещается.

При профилировании вниз по склону долины надо проводить измерения прямой установкой (AMN), вверх по склону—обратной установкой (BMN). Тогда кривые $\rho_к$ электропрофилирования следуют ходу соответствующей палетки Е (§ 10), что дает возможность учесть количественно влияние рельефа на график $\rho_к$ электропрофилирования. Любое отклонение хода кривой $\rho_к$ от палетки Е указывает на то, что аномалия получена не за счет рельефа, и она может быть объяснена только геологическим строением участка работ.

§ 76. Если угол между склоном и дном долины меняется вдоль планшета незначительно ($\delta\gamma \pm 5^0$), то угол погружения кровли коренных пород под аллювиальными отложениями ориентировочно находится способом, описанным в § 35 настоящей инструкции.

Если же этот угол меняется от профиля к профилю,

необходимо проводить профилирование симметричной установкой параллельно подошве склона, что дает возможность предопределять положение кровли коренных пород относительно дневной поверхности. Первый профиль проводится непосредственно по подошве склона; последующие — через каждые 20 метров по долине.

§ 77. В руслах рек электроразведочные работы связаны с трудностями технического порядка. Наиболее удобным для работы является однополюсное ВЭЗ и комбинированное профилирование.

В обоих случаях второй питающий электрод относится на берег, нормально к течению реки, на 10 АОмах. При зондировании электроды M и N закрепляются на длинном шесте. Расстояние между ними остается постоянным для всех разносов $\frac{AB}{2}$. Трехэлектродная установка AMN ориентируется вдоль русла. Питающий электрод A обычно перевозится на лодке или на плоту вниз по течению реки.

При комбинированном электропрофилировании пользуются связанными плотами, на которых собрана схема AMN и BNM. Электрод „C" перемещается вдоль берега по направлению движения плотов.

По окончании измерений на профиле плоты подтягиваются катером к началу следующего профиля и процесс измерения повторяется. Замеры удобнее проводить при перемещении плотов по течению реки.

§ 78. При производстве работ по дну реки или бассейна применяется многожильный кабель, к которому прикрепляются питающие и приемные электроды на выбранных расстояниях. Соответствие жилы тому или иному электроду устанавливается по отметкам на жилах кабеля.

Кабель укладывается на дно реки с катушки, закрепленной на лодке или на плоту. Разматывание провода удобнее производить при движении лодки вверх по течению, т. к. провод оттягивается и электроды укладываются на дно равномерно. Для того, чтобы электроды не цеплялись за неровности дна реки, кабель подтягивают шнуром с противоположного конца.

§ 79. Производить измерения разности потенциалов в

руслах рек иногда становится затруднительным из-за неустойчивости ЭДС поляризации приемных латунных или медных электродов. В таких случаях приходится переходить на пульсирующий ток. Но прямоугольный импульс от пульсатора характеризуется широким диапазоном спектра частот, из которого часть может быть поглощена средой. Поэтому, когда не наблюдаются помехи от блуждающих токов, следует избегать пользоваться пульсатором.

§ 80. При интерпретации кривых ВЭЗ, наблюденных с поверхности воды, пользуются обычными палетками: при ВЭЗ, наблюденных со дна реки - специальными палетками по книге Л. Я. Литвинова „Морская электроразведка". К ним относятся двухслойные с $\rho_2/\rho_1 = 1;\ 2;\ 5;\ 10;\ 10$; и трехслойные для случая $\rho_3/\rho_1 = 1{,}5;\ \rho_2/\rho_1 = 1;\ 2;\ 5;\ 10;\ 10;\ 10$; и $h_2/h_1 = 2;\ 5;\ 10;\ 10$.

§ 81. При работе в руслах рек методом ПС измеряется потенциал естественного поля.

Наблюдения проводятся с поверхности воды. Запись поля ПС производится непрерывно. Движение электрода сообщается лентопротяжному механизму регистратора через блок-балансир и гибкий валик.

Аномалии привязываются к реперам, выставленным на берегу реки.

При слабых полях электроды заземляются на дне реки. По мелким водоемам рабочий несет электрод и заземляет напротив реперов, выставленных вдоль берега. В глубоких же водоемах электрод опускается на дно, когда лодка проходит мимо берегового знака. Оператор фиксирует знак при соответствующем отсчете потенциала ПС.

На графике потенциала поля ПС отрицательной аномалии соответствует утечка воды со дна, положительной приток.

При рекогносцировочной съемке поля ПС расстояния между профилями принимаются свыше 10 м, при детальных исследованиях до 10 м — 5 м.

Собственная ЭДС неполяризующихся электродов не должна превышать 0,5 мв — 1 мв и только как предел — 2 мв.

§ 82. В зимних условиях полевые работы на мостовых переходах проводятся в порядке, изложенном в данном разделе инструкции. Если река замерзает, измерения проводятся со льда, что значительно облегчает технику полевых работ.

Начальник отряда обязан обеспечить нормальные условия работы, для чего необходимо помещать прибор и источник тока в утепленной палатке. С одной стоянки надо измерять несколько точек ВЭЗ. Поэтому начальник отряда обязан наладить четкую сигнализацию между оператором, находящимся в палатке, и рабочими.

При устройстве заземления со льда необходимо делать проруби во льду для опускания электродов в воду.

Разведка тоннельных ходов

§ 83. Целью электроразведочных работ на участках проектирования тоннельного хода дороги является построение геоэлектрического разреза вдоль зоны пролегания трассы тоннеля.

При этом определяется:

1. Глубина залегания кровли коренных пород.
2. Мощность делювия склона.
3. Наличие контакта разных горных пород под наносами, его местоположение и направление простирания.
4. Мощность выветрелой зоны скальных пород.
5. Наличие обводненных участков и их площадное распространение.
6. Наличие зон гидротермально измененных пород или тектонических разломов и их площадное распространение.
7. Наличие карста и направления его развития для карбонатных и сульфатных горных пород.

§ 84. Для исследования участков проектирования тоннельного хода дороги на перевальных участках основными рабочими методами являются метод ВЭЗ и электропрофилирование; вспомогательным—метод ПС.

Если разносы питающих и приемных электродов ориентированы вдоль хребта, применяется симметричная четырехточечная установка для ВЭЗ и электропрофилиро-

вания; при ориентации линии нормально к простиранию хребта применяется однополюсное ВЭЗ и комбинированное профилирование; для выявления подземных потоков применяется ПС.

§ 85. Электроразведка тоннельных ходов относится к высшей категории по трудности осуществления. Помимо существующих поправок к нормам выработки на высокогорность, на залесенность, на условия заземления и пр., необходимо вводить поправки на наклон планшета работ.

Поскольку единые нормы выработки пока не учитывают категорию трудности разведки тоннельных ходов, исходя из опыта работ, к нормам выработки вводится коэффициент 0,8.

§ 86. Для планирования электроразведочных работ на участках проектирования тоннельных ходов вводятся следующие категории тоннелей по глубине Н их заложения*):

тоннель мелкого заложения — Н до 75 м;
тоннель среднего заложения — Н от 75 м до 300 м;
тоннель глубокого заложения — Н от 300 до 600 м;
тоннель очень глубокого заложения — Н свыше 600 м.

§ 87. Тоннельный ход исследуется тремя профилями, из которых — основной разбивается по оси проектируемого тоннеля, а два вспомогательных — по обе стороны от него, параллельно оси. Между профилями рекомендуется брать следующие расстояния: для тоннелей мелкого заложения — до 50 м, для тоннелей среднего заложения — от 50 м до 100 м, для тоннелей глубокого заложения — от 100 м до 200 м, для очень глубокого заложения — свыше 200 м. Число точек по основному и вспомогательному профилям на участке от намечаемого портала до перевального участка определяется по таблице 4. На вспомогательных профилях число точек ВЭЗ берется в пропорции 1:2—1:3 к количеству ВЭЗ по основному створу.

К рекомендованному количеству точек у порталов тоннеля по основному створу добавляются по одной точке ВЭЗ (см. рис. 11). Геоэлектрические разрезы строятся по основному створу и по вспомогательным створам.

*) См. М. П. Даидуров „Тоннели", стр. 42, таб. 1, Трансжелдориздат, М., 1952 г.

§ 88. Питающие и приемные линии ВЭЗ ориентируются нормально хребту или вдоль хребта, в зависимости

Пример 1

Разведка тоннеля глубокого заложения, проектируемого на прямой Н-300м, ∠-30°, L-600м

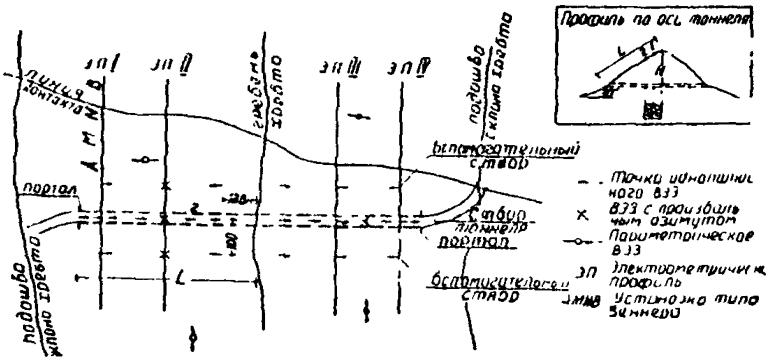

Рис 11.

от решаемой задачи. На рис. 11 представлен пример разведки тоннельного хода. Наличие плоскости контакта между породами, направление простирания которой почти совпадает с *направлением оси проектируемого тоннеля*, обязывает электроразведчика выбирать направления установки ВЭЗ нормально к оси хребта при условии пользования палетками на поправку к рельефу. Если плоскость контакта параллельна гребню хребта, *направление установки* ВЭЗ ориентируется вдоль гребня.

При однополюсном ВЭЗ питающий электрод „А" передвигается вниз по склону, когда точки наблюдения *располагаются* в верхней половине хребта и передвигается вверх, когда точки находятся в нижней половине склона. Электрод „В" относится в обоих случаях вдоль склона на расстояние, равное 10—15 АОmax.

В *середине склона* направление линии питания можно брать в произвольном азимуте, если АО max не пересекает гребень хребта или подошву склона, а также линию контакта между породами (см. рис. 11,—„ВЭЗ с произвольным азимутом").

Измерения надо начинать с вспомогательного створа;

Таблица 4

Глубина заложения тоннеля в м	Угол наклона склона	Число точек ВЭЗ по основн. створу	Расстояние между точками ВЭЗ по основному створу в м	Число точек по вспомогательному створу	Расстояние между точками ВЭЗ по вспомогательному створу в м
Тоннель среднего заложения					
75	20°	5	50	2	100
	25°	4	50	1	в серед. склона
	30°	4	50	1	в серед. склона
	35°	4	40	1	в серед. склона
	40°	3	40	1	в серед. склона
	45°	3	40	1	в серед. склона
100	20°	6	50	2	100
	25°	5	50	2	100
	30°	5	50	2	100
	35°	4	50	1	в серед. склона
	40°	4	40	1	в серед. склона
	45°	4	40	1	в серед. склона
150	20°	8	60	3	120
	25°	7	60	2	120
	30°	6	60	2	120
	35°	5	60	2	120
	40°	5	50	2	100
	45°	5	50	2	100
200	20°	9	70	3	140
	25°	8	70	3	140
	30°	7	70	2	140
	35°	6	70	2	140
	40°	6	60	2	120
	45°	6	60	2	120

Глубина заложения тоннеля в м	Угол наклона склона	Число точек ВЭЗ по основн. створу	Расстояние между точками ВЭЗ по основному створу в м	Число точек ВЭЗ по вспомогательному створу	Расстояние между точками ВЭЗ по вспомогательному створу в м
Тоннель среднего заложения					
250	20°	10	80	3	160
	25°	9	80	3	160
	30°	7	80	2	160
	35°	6	80	2	160
	40°	6	70	2	140
	45°	6	70	2	140
Тоннель глубокого заложения					
300	20°	9	100	3	200
	25°	8	100	3	200
	30°	7	100	2	200
	35°	6	100	2	200
	40°	5	100	2	200
	45°	5	100	2	200
400	20°	9	150	3	300
	25°	8	130	3	260
	30°	7	130	2	260
	35°	6	130	2	260
	40°	6	130	2	260
	45°	5	130	2	260

Глубина заложения тоннеля в м	Угол наклона склона	Число точек ВЭЗ по основн. створу	Расстояние между точками ВЭЗ по основному створу в м	Число точек ВЭЗ по вспомогательному створу	Расстояние между точками ВЭЗ по вспомогательному створу в м
Тоннель глубокого заложения					
500	20°	10	170	3	340
	25°	9	150	3	300
	30°	8	150	3	300
	35°	7	150	2	300
	40°	6	150	2	300
	45°	6	150	2	300
600	20°	10	200	3	400
	25°	9	170	3	340
	30°	8	170	3	340
	35°	7	170	2	340
	40°	7	170	2	340
	45°	6	170	2	340

электрод же „B“ относить в сторону от створа проектируемого тоннеля. В этом случае место заземления электрода „B“ не меняется для всех точек ВЭЗ, расположенных на одном поперечнике проектируемого тоннеля. При переходе на следующий поперечник электрод „B“ переносится в том же направлении на расстояние, равное расстоянию между поперечниками ВЭЗ.

§ 89. Значения $\rho_к$ при однополюсном ВЭЗ вычисляются по формуле:

$$\rho_к = \frac{2\pi}{\frac{\delta_1}{r_{AM}} - \frac{\delta_2}{r_{AN}}} \frac{\Delta u}{I} \text{ *)}$$

*) Значения δ_1, δ_2, r_{AM}, r_{A_N} см. § 40

где: $K = \frac{2\pi}{\frac{\delta_1}{r_{AM}} - \frac{\delta_2}{r_{AN}}}$ коэффициент, учитывающий влияние второго склона.

В таблице 5 приводятся значения K для разных углов у гребня хребта: 140°, 130°, 120°, 110° и 100°, когда точка ВЭЗ отстоит от гребня на расстояние l=30 м, 60 м, 100 м, 150 м. Таблица 5 пригодна для разведки тоннелей среднего, глубокого и очень глубокого заложения. Для тоннелей мелкого заложения, когда точки ВЭЗ близко расположены к гребню хребта (ближе 30 м), необходимо рассчитать коэффициент K для каждого отдельного случая по способу, изложенному в § 40 настоящей инструкции.

§ 91. Если максимальный разнос питающих электродов не превышает $\frac{L}{3}$, где L—расстояние по створу от портала проектируемого тоннеля до гребня хребта и точка зондирования располагается примерно по середине хребта, зондирование можно проводить в любом направлении без поправки на рельеф.

§ 92. Электропрофилирование также проводится вдоль или вкрест оси хребта, в зависимости от решаемой задачи. На примере, описанном в § 88, электропрофиль необходимо ориентировать, как это показано на рис. 11, вдоль хребта. Если линия контакта направлена вдоль хребта, то электропрофиль проводится нормально к нему.

Если профилирование проводится вдоль хребта, количественная поправка на рельеф в значении $\rho_к$ не вносится. При этом необходимо учитывать, что чем ближе электропрофиль к гребню хребта, тем больше значение $\rho_к$ вдоль всего профиля. Так, например, при симметричной установке, когда AB=100 м, MN=10 м и d=10 м, где d—расстояние от гребня хребта с углом у гребня, равным 90°, до средней точки установки AMNB, значение $\rho_к = 2\ \rho_0$, где ρ_0—истинное значение удельного электрического сопротивления пород, слагающих хребет. По мере удаления профиля от гребня, значение $\rho_к$ электропрофилирования приближается к ρ_0. На расстоянии $d=\frac{AB}{3}$ практически $\rho_к = \rho_0$.

Недоучет вышеотмеченного может привести к очевидным ошибкам при интерпретации кривых электропрофилирования. **Пример:** пусть район работ представлен порфиритами (ρ_1=400 омм). На некоторых участках встречаются слоистые известняки (ρ_2=700 омм). Если проводится профилирование по профилям, ориентированным вдоль оси хребта,

Таблица 5

l в м	$\frac{AB}{2}$ в м	$\frac{MN}{2}$ в м	К норм	$К_1$ (140°)	$К_2$ (130°)	$К_3$ (120°)	$К_4$ (110°)	$К_5$ (100°)
30	65	3	4410	4670	4950	5220	5500	5780
	65	12	1070	1120	1180	1240	1300	1370
	100	12	2580	2840	3100	3380	3640	3920
	150	12	5850	6800	7820	8760	9880	10900
60	220	70	1950	2840	3660	4540	5420	6300
	340	70	30200	36100	42000	48200	54200	60200
100	340	70	30200	33600	36800	40000	43400	46600
	340	70	4570	5100	5700	6300	6900	7500
	500	70	11000	13000	14800	16600	18600	20400
150	340	12	30200	32200	34100	36100	38100	40100
	340	70	4570	4900	5300	5700	6000	6400

и затем сравниваются между собой графики $\rho_к$ электропрофилирования, снятые по профилям у гребня, где $\rho_к$ =700 омм и по середине склона, где $\rho_к$ =400 омм, можно допустить ошибку, представив по завышенному значению $\rho_к$ наличие шапки слоистых известняков над порфиритами.

При профилировании нормально к оси хребта в значения $\rho_к$ необходимо вносить количественную поправку на рельеф.

Для этого используются теоретические палетки $\rho_к / \rho_1$ профилирования трехэлектродной установкой, рассчитанные для различных значений углов у гребня хребта: 140°, 130°, 120°, 110° и 100°, когда АО=ОВ=340 м и MN=24 м (рис. 12).

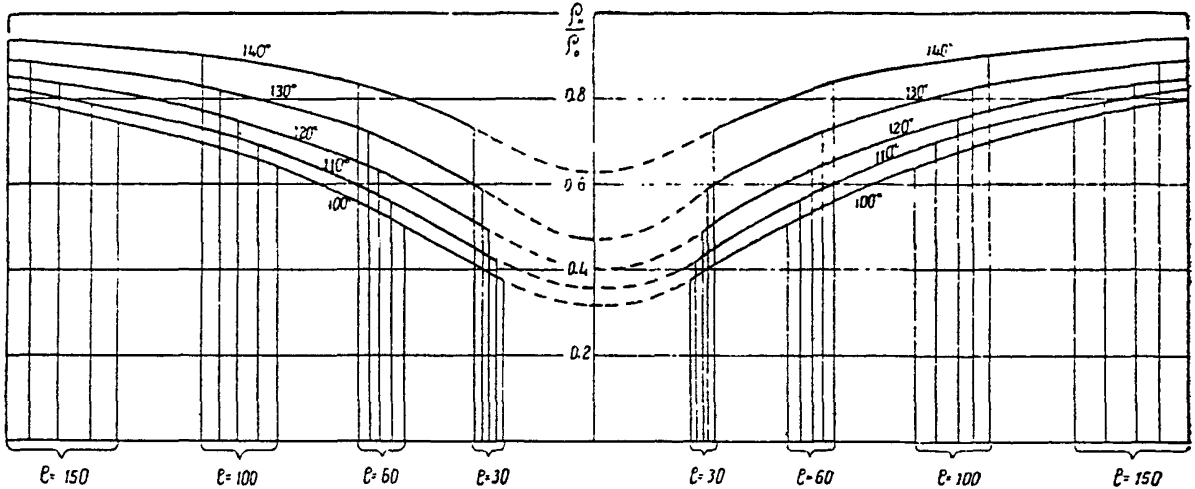

Рис. 12. Палетки $\rho_к / \rho_о$ комбинированного профилирования, рассчитанные для различных значений $\alpha\pi$ у гребня хребта: 140°, 130°, 120°, 110° и 100°; AO=OB=340 м, MN=24 м. Электропрофиль направлен нормально к оси хребта.

Для построения полевых кривых, сопоставимых с палетками, необходимо проводить измерения прямым (AMN) ходом, когда установка перемещается к гребню, т. е. приближать к гребню приемные электроды, а за ними — питающий электрод; при удалении же от гребня, наоборот, измерения проводить обратным ходом (MNB), т. е. от гребня удалять питающий электрод, а за ним — пару приемных электродов.

§ 93. Число электропрофилей равно числу точек ВЭЗ на вспомогательном створе, когда измерения проводятся вдоль оси хребта (таб. 4). Точки ВЭЗ другого вспомогательного профиля должны совмещаться с электропрофилями. При измерении нормально гребню число профилей меняется от 3 до 7, из которых три профиля соответствуют основному и двум вспомогательным створам, а остальные четыре (в зависимости от детальности исследования), распределяются: два — между вспомогательным и основным створами, по одному — вне полосы исследования.

Размеры AO и MN, а также шаг измерения определяются по данным ВЭЗ.

§ 94. При работе методом ПС профили ориентируются вдоль хребта. Измеряется потенциал поля ПС. Протяженность профиля определяется шириной полосы исследования (§ 87). Расстояние между профилями: от 20 м до 10 м; между точками замеров — от 10 до 20 м.

§ 95. В случае проектирования тоннелей по кривой, необходимо добавлять число профилей и точек ВЭЗ. Ось тоннеля проектируется на склон хребта и по проекции определяется необходимость проведения добавочных профилей. Если длина проекции меньше 2/3 ширины полосы исследования, принятой в § 87 для разных глубин заложения тоннеля, изменения в подготовке электрометрического планшета не вносятся. Если же длина проекции меньше 4/3 и больше 2/3 ширины полосы исследования, добавляются два основных профиля, пересекающих проекцию от краев примерно на 1/3 длины. Вспомогательные профили прокладываются в последовательности, принятой в § 87. Если проекция дуги равна или больше удвоенной ширины исследования, все профили, пересекающие проекцию оси

тоннеля, являются основными, вне проекции — вспомогательными. Число точек ВЭЗ на основных створах определяется таблицей 4; на вспомогательных 1 : 2 — 1 : 3 к количеству ВЭЗ по основному створу (рис. 13).

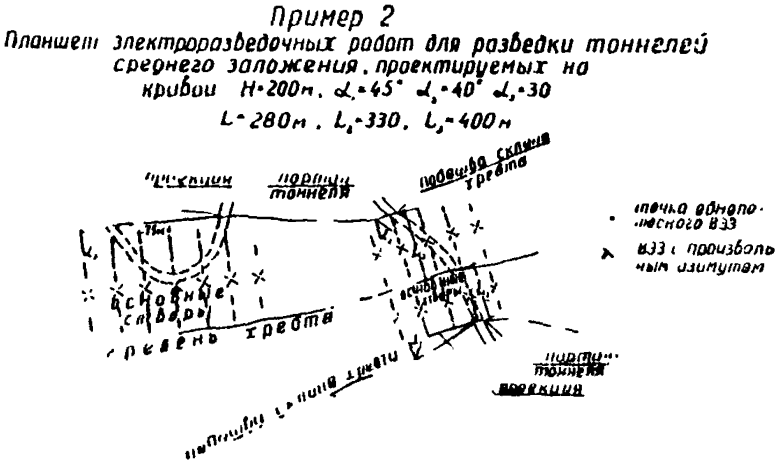

Рис. 13.

Исследование оползней

§ 96. Целью электроразведочных работ на оползнях является оконтуривание оползневого тела и определение его мощности. Наряду с этим:

1. Определяется форма и характер поверхности скольжения.

2. Устанавливается область избыточного увлажнения поверхности скольжения и определяются пути питания оползня подземными водами.

3. Определяется мощность зоны трещиноватости пород, слагающих склон, который подвержен развитию оползня.

§ 97. Основным методом для изучения оползней является однополюсное, симметричное и дипольное ВЭЗ, а также электропрофилирование на двух и трех глубинах, симметричное и круговое.

Поскольку определение областей питания оползня грун-

товыми водами является одной из основных задач, метод ПС также считается основным в исследовании оползня.

§ 98. По существующей классификации различают три основных типа оползней:

1. Когда поверхность скольжения находится внутри однородной массы. Смещение в этих случаях происходит по поверхности, чаще всего принимающей цилиндрическую форму.

2. Когда скольжение происходит в плоскости контакта разнородных пород или по существующей тектонической или иного происхождения трещине.

3. Когда плоскость скольжения сечет поверхность напластования различных пород.

Наиболее сложным для целей электроразведки является оползень третьего типа, мощность и контуры которого, как правило, не поддаются определению электроразведочными работами.

Наиболее доступным для электроразведки является оползень второго типа. Почти во всех случаях возможно изучить характер и размеры оползня.

Для изучения оползня первого типа методами электроразведки необходимо, чтобы оползневое тело было значительно менее насыщено влагой, чем среда под поверхностью скольжения.

§ 99. В инженерной геологии оползни подразделяются по глубине захвата (Н) на четыре категории*):

1. Поверхностные	— Н до 1 м.
2. Мелкие	— Н до 5 м.
3. Глубокие	— Н до 20 м.
4. Очень глубокие	— Н более 20 м.

Для проектирования электроразведочных работ необходимо увязать глубину захвата оползня с его площадной распространенностью.

При АВmax $\geq$ 10Н, токовые линии проникают в среду, подстилающую оползень практически при любом соотношении $\frac{\rho_2}{\rho_1}$. Питающие электроды А и В не должны выхо-

*) В. М Безрук, Т. М Кострико. Геология и грунтоведение, стр 264, Автотрансиздат, М, 1955 г.

дить за пределы оползня. Тогда, по аналогии с вышеприведенными, вводятся по площади распространения следующие категории оползней:

1. Весьма малый оползень (средний поперечник до 50 м) до $0{,}25 \times 10^4$ м².
2. Малый оползень (средний поперечник до 250 м) до $6{,}25 \times 10^4$ м².
3. Средний оползень (средний поперечник до 1000 м) до 100×10^4 м².
4. Большой оползень — свыше 100×10^4 м².

§ 100. На оползневом участке прокладываются профили в следующем порядке:

число профилей - 6, из них — 4 на оползневом участке, 2 вне оползня.

Электропрофили ориентируются вдоль склона.

Расстояние между профилями и точками ВЭЗ:

	По оползню	Вне оползня
1. Весьма малый оползень	10 м и 10 м	20 м и 10 м
2. Малый оползень	50 м и 50 м	100 м и 50 м
3. Средний оползень	200 м и 200 м	400 м и 200 м
4. Большой оползень	свыше 200 м	свыше 400 м / свыше 200 м

При более детальном исследовании оползней средней и большой категорий число профилей удваивается.

Максимальный разнос питающих электродов:

для весьма малого оползня - 20 м,
для малого оползня - 100 м,
для среднего оползня — 400 м,
для большого оползня — свыше 400 м.

§ 101. Электропрофилирование применяется для оконтуривания в плане оползневого участка, а также для качественного изучения поверхности скольжения оползневого тела.

В первом случае работа проводится симметричным четырехполюсным профилированием или, для более точного определения контура оползневого тела, комбинированным электропрофилированием. Во втором случае, т. е. когда

глубина залегания поверхности скольжения примерно установлена и требуется проследить положение поверхности на разных горизонтах, применяется электропрофилирование на двух и трёх глубинах.

Расстояние между питающими электродами при электропрофилировании определяется по данным ВЭЗ. Если, например, кривая ВЭЗ выходит на асимптоту при $\frac{AB}{2}$ = =100 м для всех точек зондирования, за исключением некоторых, для которых этот выход начинается при $\frac{AB}{2}$ = =65 м, необходимо проводить профилирование на трёх глубинах при AB = 200 м, A_1B_1=130 м и A_2B_2=40 м; (см. таблицу 1). Тогда на первых разносах кривая $\rho_к$ электропрофилирования характеризует породы под оползнем; на вторых — область поверхности скольжения и на третьих — породы, слагающие оползневое тело.

§ 102. Если оползень развит на крутом склоне ущелья, применяется однополюсное зондирование. Точки зондирования располагаются на склоне. Электрод А перемещается вверх по склону. Электрод В относится в „∞“ по тальвегу ущелья.

§ 103. Метод ПС применяется для выделения на оползне участков с интенсивной фильтрацией подземных вод. Точка с потенциалом „0“ выбирается вне оползневого тела. Измерения проводятся вдоль электропрофилей. Для средних и больших оползней число профилей ПС удваивается по сравнению с электропрофилированием. Расстояние между точками замеров принимается в пределах 20 м—10 м. В редких случаях, когда детально исследуются участки локального проявления электрофильтрационного потенциала, расстояние между точками доводится до 5 м.

Измерения потенциалов поля ПС надо производить весьма тщательно. Необходимо часто контролировать поведение собственной ЭДС неполяризующихся электродов, не заземлять электроды в почве, где ожидается наличие гумуса, очищать электрод от земли и в таком виде переставлять из лунки в лунку.

Исследование осыпей и обвалов.

§ 104. Целью электроразведочных работ на осыпях и обвалах является:

1. Определение глубины залегания погребенной поверхности коренных пород.

2. Изучение структуры осыпи.

3. Определение мощности выветрелой части коренных пород, слагающих склон под осыпью и обвалом.

4. Обнаружение и прослеживание грунтовых вод.

§ 105.*) По активности осыпей и характеру слагающего их материала принимается следующая классификация:

1. Действующие осыпи, которые подразделяются на обвалоосыпи, крупнообломочные и мелкозернистые.

2. Затухшие или затухающие осыпи, которые делятся на однородные и слоистые.

§ 106. Основным методом для изучения оползней и обвалов является ВЭЗ в виде симметричного, двухстороннего однополюсного зондирования, а также симметричное профилирование на двух и трёх глубинах. Метод ПС применяется в редких случаях, когда в осыпях и обвалах ожидается наличие грунтовых вод.

§ 107. Для осыпей, а также для обвалов, исходя из расстояния (l) между основанием и вершиной осыпи и обвала, вводятся следующие категории:

1. Малая осыпь или обвал — l до 250 м.
2. Средняя осыпь или обвал — l до 1000 м.
3. Большая осыпь или обвал — l свыше 1000 м.

§ 108. На обвалах и затухших (затухающих) осыпях профили прокладываются в следующем порядке:

Число профилей — 4, из них — 3 на осыпи или обвале, 1 над осыпью или обвалом, по коренным породам.

Электропрофили проектируются вдоль склона. Расстояние между профилями и точками ВЭЗ принимаются:

1. Для малой осыпи или обвала — 50 м и 50 м.
2. Для средней осыпи или обвала — 200 м и 200 м.
3. Для большой осыпи или обвала — свыше 200 м.

*). А. К. Бируля. Проектирование автомобильных дорог. Часть I, стр. 480. Автотрансиздат, М, 1953 г.

Профиль по коренным породам проводится на расстоянии 50—100 метров от начала осыпи или обвала.

Для проведения электроразведочных работ на действующих осыпях необходимо точки ВЭЗ приурочивать к устойчивым, задернованным участкам осыпи. В этом случае нарушается приведенная выше сеть профилей и точек ВЭЗ, с чем приходится мириться.

В случае отсутствия стабилизированных участков, электроразведочные работы на действующих осыпях не производятся.

§ 109. Если протяженность осыпи или обвала вдоль склона значительна, применяется симметричное ВЭЗ. Линия разносов ориентируется вдоль склона.

При разведке сравнительно узких осыпей или обвалов применяется двухстороннее однополюсное зондирование. Установка однополюсного ВЭЗ ориентируется по склону. Электрод „В" относится вдоль склона на расстояние, равное 10 АО max.

Измерения надо начинать от точки ВЭЗ, ближайшей к электроду „В". При переходе на последующие точки электрод „В" не смещается.

§ 110. Электропрофилирование применяется на осыпях и обвалах для прослеживания погребенной поверхности коренных пород на разных горизонтах, а также для изучения структуры осыпи.

Выбор размеров установок для симметричного профилирования на разных глубинах производится аналогично описанному в § 101.

§ 111. Если секторнальный угол между поверхностью осыпи и кровлей коренных пород порядка 15°, поправка на наклон в кривые ВЭЗ не вводится (исключая дипольное ВЭЗ).

При больших значениях углов, поправка вносится соответствующими палетками ВЭЗ для наклонных контактов. Размер секториального угла ориентировочно определяется геологом или получается после первичной интерпретации кривых ВЭЗ, без внесения поправки на наклон плоскости контакта.

§ 112. Осыпи и обвалы, а также аллювиальные отложения, прикрывающие склоны в долинах рек (делювиально-аллювиальный чехол склона), подразделяются на два компонента: скелетный материал чехла*) (ск. м.) и заполнитель скелетного материала (зап.). Для вычисления их процентного соотношения можно воспользоваться следующим аналитическим выражением:

$$V_{ск.м.} = V \frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}}$$

где: $V_{ск.м.}$ — искомый объём скелетного материала;

V — объём чехла, определенный по данным ВЭЗ;

ρ — удельное электрическое сопротивление материала, слагающего чехол;

ρ_1 — то же, скелетного материала,

ρ_2 — то же, заполнителя.

По найденным объёмам легко рассчитать массу скелетного материала и заполнителя в отдельности.

$M_{ск.м.} = \sigma_{ск.м.} V_{ск.м.}$ — масса скелетного материала,

$M_{зап.} = \sigma_{зап} [V - V_{ск.м.}]$ — масса заполнителя.

Здесь $\sigma_{ск.м.}$ и $\sigma_{зап.}$ — плотности искомых пород, определяемые по физическим константам горных пород по справочнику или непосредственно лабораторным путем, что не представляет значительного труда.

Очевидно, что данные расчёты возможны лишь в том случае, когда параметрическими измерениями определяются ρ_1 и ρ_2.

Разведка подземных вод

§ 113. Электроразведочные работы на воду преследуют следующие цели:

*) Скелетный материал—условный термин, обозначающий валунно-глыбовое включение чехла.

1. Обнаружить и оконтурить участки водоносных горных пород.

2. Определить глубину залегания зеркала грунтовых вод.

3. Установить характер и, по возможности, направление перемещения подземных вод.

4. Установить места утечки или притока подземных вод в водоёмах.

5. Найти величину скорости и направления движения подземных вод по одной буровой скважине.

§ 114. Различают следующие основные типы подземных вод; грунтовые, межпластовые, трещинные и карстовые.

Грунтовые воды разведываются методом симметричного ВЭЗ. Иногда применяется профилирование (установка AMNB).

Межпластовые безнапорные воды разведываются методом симметричного ВЭЗ и электропрофилированием. Для напорных вод применяется также метод ПС.

Трещинные воды и карстовые воды разведываются различными методами. Если зона трещиноватости широкая, метод симметрического ВЭЗ является эффективными и достаточно четко отделяет трещиноватую необводненную толщу от обводненной. Если же зона узколокальная, применяется электропрофилирование $B \to \infty$ и комбинированное профилирование. Помимо электропрофилирования применяется метод ПС.

§ 115. При разведке на воду сетка электроразведочных точек выбирается в зависимости от типа подземных вод.

При разведке грунтовых и межпластовых вод на участке разбивается прямоугольная сетка: при рекогносцировочной разведке, порядка 200×200 м², при детальной — до 100×100 - 50×50 м².

При разведке трещинных вод электропрофили ориентируются перпендикулярно к направлению трещиноватости. Расстояние между профилями принимается: при рекогносцировочной съёмке 100—250 м, при детальной 30—100 м

Точки ВЭЗ разбиваются с тем расчётом, чтобы разносы питающих электродов не выходили из зоны трещиноватости.

Руководствуясь общими геологическими соображения-

ми, рекомендуется следующее расположение точек ВЭЗ по профилю:

при l 10 H одна точка в середине зоны,

при l 20 H – две точки,

при l 30 H – три точки и т. д.,

где l – ширина зоны, H – мощность необводненной части зоны трещиноватости.

§ 116. Определение направления и скорости движения подземных вод производится по принципу, изложенному в § 38.

Вокруг буровой скважины подготавливается т. н. опорная сеть в виде системы лучевых профилей с центром у устья скважины. Количество профилей меняется от 4 до 8, в зависимости от степени детализации работ. Пикеты на профилях выставляются на расстоянии 5 - 10 м. друг от друга. Нумерация пикетов производится от устья скважины.

В скважину опускается сделанный из редкой ткани мешок с солью; количество соли 15 - 20 кг. Один из питающих электродов опускают в скважину вместе с мешком. Второй относится на расстояние равное 10—15h, где h— глубина загрузки соли. В случае необсаженной скважины, первый приемный электрод заземляется на расстоянии 5 - 7 м от ее устья, в случае обсаженной- на расстоянии 2 3h.

Приемный электрод (N) устанавливается неподвижно на профиле, ориентированном в направлении, противоположном движению подземных вод. Это направление намечается приблизительно, исходя из общих геологических соображений. Вторым электродом M находятся точки на последующих профилях с потенциалами, равными потенциалу неподвижно заземленного электрода. В дальнейшем, через равные интервалы времени $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$ и т., д. описанные измерения повторяются при неизменном местоположении электрода N. По найденным точкам вычерчиваются замкнутые эквипотенциальные линии на плане расположения скважины и профи-

лей. Линии будут вытянуты в сторону течения подземных вод.

Средняя скорость потока находится по величине смещения центров двух изолиний, деленной на время, по прошествии которого произошло это смещение. Направление потока определяется направлением смещения центров изолиний.

Измерения надо начинать лишь по прошествии некоторого времени после загрузки соли в скважину, когда успевает оформиться солевой ореол. Тогда $V_n^{гр.}$ будет примерно соответствовать истинному значению скорости потока.

Результаты наблюдений записываются в полевой журнал (приложение № 7).

Исследование карстующихся пород.

§ 117. Целью электроразведочных работ при исследовании карстующихся пород является определение границы распространения карста в плане и по глубине.

При этом:

1. Устанавливается направление зоны закарстованных пород.

2. Определяется глубина залегания карстующихся пород.

3. Выясняется характер и устанавливается мощность кровли карстующихся пород.

4. Определяется глубина залегания горных пород, не затронутых карстовыми процессами.

5. При возможности определяется водоносность карстовых зон.

§ 118. Основными методами исследования карста являются: электропрофилирование на двух глубинах; симметричное и круговое ВЭЗ. Метод ПС может быть применен при изучении карстовых вод.

§ 119. При разведке карста участок электроразведочных работ подготавливается следующим образом:

Профили ориентируются вкрест простиранию карстовых зон. Густота сети принимается; при рекогносцировоч-

ном исследовании от 2 до 10 профилей на 1 км; при детальном исследовании карста расстояние между профилями может доходить до 40—200 м.

Число точек ВЭЗ на профилях зависит от характера поставленной задачи при исследовании карста. При рекогносцировочных исследованиях расстояния между точками ВЭЗ по профилю составляют 100—100 м, при детальном исследовании — 20—100 м.

Круговое ВЭЗ рекомендуется выполнять на каждом электропрофиле в точках, соответствующих экстремуму кривой $\rho_к$ электропрофилирования.

§ 120. Рекогносцировочные электроразведочные работы для выявления карстовых зон проводятся после тщательного изучения геологии района работ и после предварительного осмотра района работ. Характерной особенностью карстового ландшафта являются различные углубления округлой и овальной или вытянутой формы на поверхности земли.

Точки рекогносцировочного ВЭЗ необходимо ставить в различных частях карстового участка. Если процесс карстообразования с глубиной резко затухает, кривая ВЭЗ четко определяет границу перехода от карстующихся пород к монолитным.

Во всех случаях нужные разносы питающей линии для ВЭЗ определяются при полевых измерениях.

§ 121. По данным рекогносцировочного ВЭЗ определяется оптимальный размер установки электропрофилирования для исследования карстовых зон.

Для исследования закарстованных пород применяется двойное электропрофилирование.

§ 122. Исследование карстовой воронки производится круговым ВЭЗ. Точка зондирования помещается в центре воронки и зондирования проводятся обычно по четырем различным азимутам. Значения $\rho_к$ наносятся на миллиметровке в выбранном масштабе и огибающая „векторов" дает эллипс анизотропии. Подобные эллипсы строятся для трех или четырех разносов $\frac{AB}{2}$; такие исследования можно делать в неглубоких воронках с пологими бортами.

§ 123. Эллипс анизотропии позволяет определять доминирующее направление трещиноватости. Значение сопротивления $\rho_к$ кругового ВЭЗ на разносах электродов А и В, ориентированных в доминирующем направлении трещиноватости, должно быть минимальным. На дневной же поверхности из-за парадокса анизотропии получим обратную картину: эллипс анизотропии будет ориентирован большой осью по направлению трещиноватости.

§ 124. По значениям $\rho_к$ электропрофилирования строится карта изолиний равных сопротивлений.

Для более детального исследования карстовой полости, оконтуриваемой линиями равных сопротивлений, проводится следующая работа:

В контур карстовой полости вписывается окружность. Вдоль профилей, пересекающих окружность, проводится профилирование установками AMONB и AMNB, причем когда AB=6 MO=6 ON, используется установка Лии, а когда AB= 3MN установка Веннера. Полученные графики $\rho_к$ сопоставляются с соответствующими палетками электропрофилирования (рис. 14, 15, 16, 17)*).

Радиус карстовой полости r равен расстоянию между аномалиями QQ^1 минус $\frac{MN}{2}$ для установки Лии и минус MN, когда измерения проводятся установкой Веннера.

§ 125. Если закарстованная зона находится ниже зеркала грунтовых вод, карстовые полости обычно заполнены водой, и если сопротивление последней отличается от сопротивления карстующихся пород, то по кривым ВЭЗ часто можно определить глубину залегания водоносных пород.

Для исследования карстовых вод необходимо проводить электропрофилирование на двух и трех глубинах. Размеры питающей и приемной линий подбираются по данным ВЭЗ: при этом на больших разносах кривая $\rho_к$ должна отражать монолитную среду, на средних — зону обводненных пород и на малых — зону необводненных пород — зону аэрации. По электропрофилям проводится измерение поля ПС.

§ 126. Исследование карста в руслах рек можно проводить электропрофилированием и в отдельных случаях, методом ПС.

---

*). Палетки соответствуют карстовой полости полусферической формы. Однако, практически они применены для определения усредненного радиуса полостей, форма которых несколько отлична от полусферы.

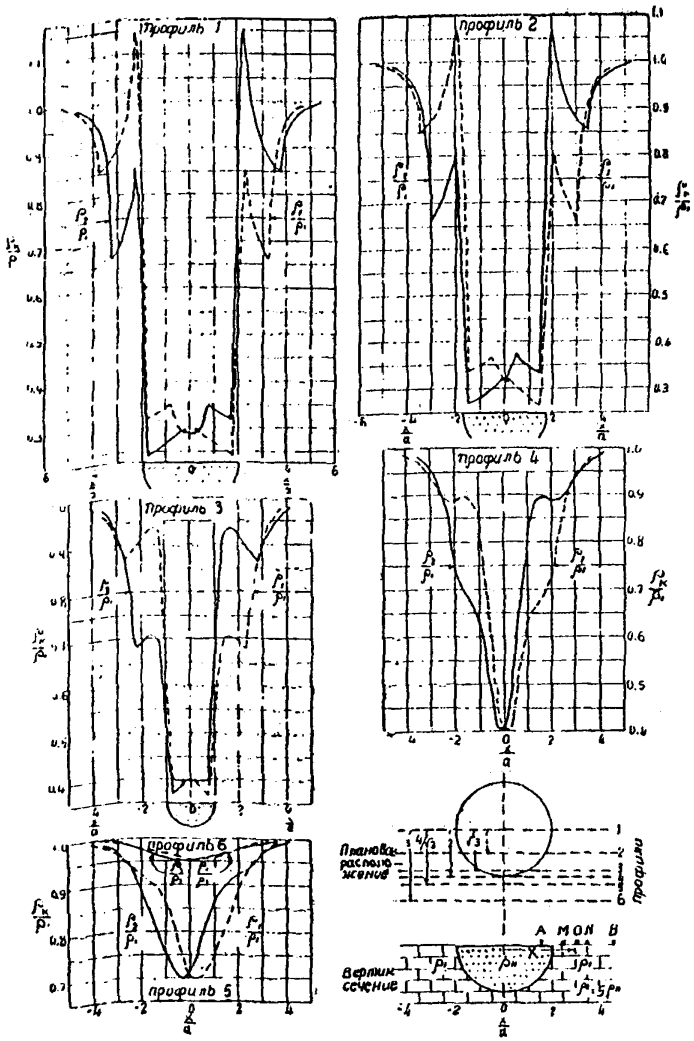

Рис. 14. Теоретические кривые ρ_3/ρ_1, когда профилирование проводится установкой Лии на разных расстояниях от центра заполненной воронки полусферической формы $\left(\frac{\rho''}{\rho'} = \frac{2}{5};\right.$ диаметр $= 4$ MN.$\left.\right)$.

Пунктирная линия соотвествует первому (MO);
сплошная " " повторному (ON) замеру.

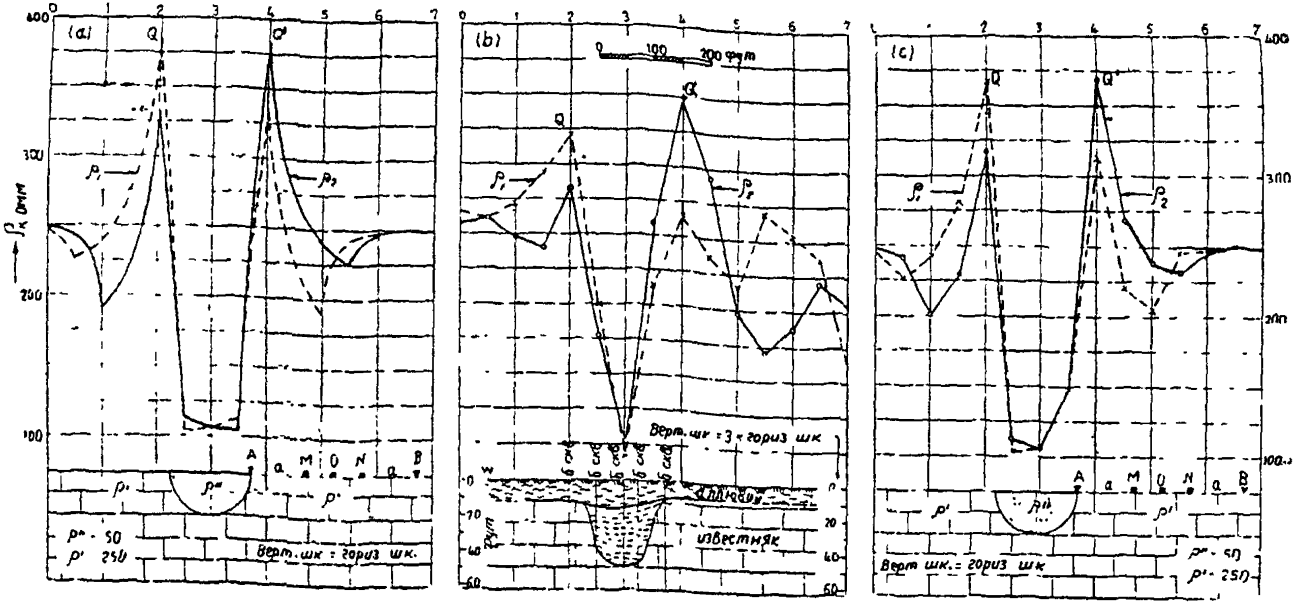

Рис. 15. Сопоставление теоретической и экспериментальной кривых профилирования установкой Лип, когда электропрофиль проходит по диаметру заполненной воронки полусферической формы $\left(\frac{\rho''}{\rho'} = \frac{50}{250};\ \text{диаметр} = \frac{3}{2}\ MN\right)$

(a) — теоретическая кривая;

(b) — кривая по данным полевых замеров на фоне геологического разреза.

(c) — теоретическая кривая по точкам наблюдения.

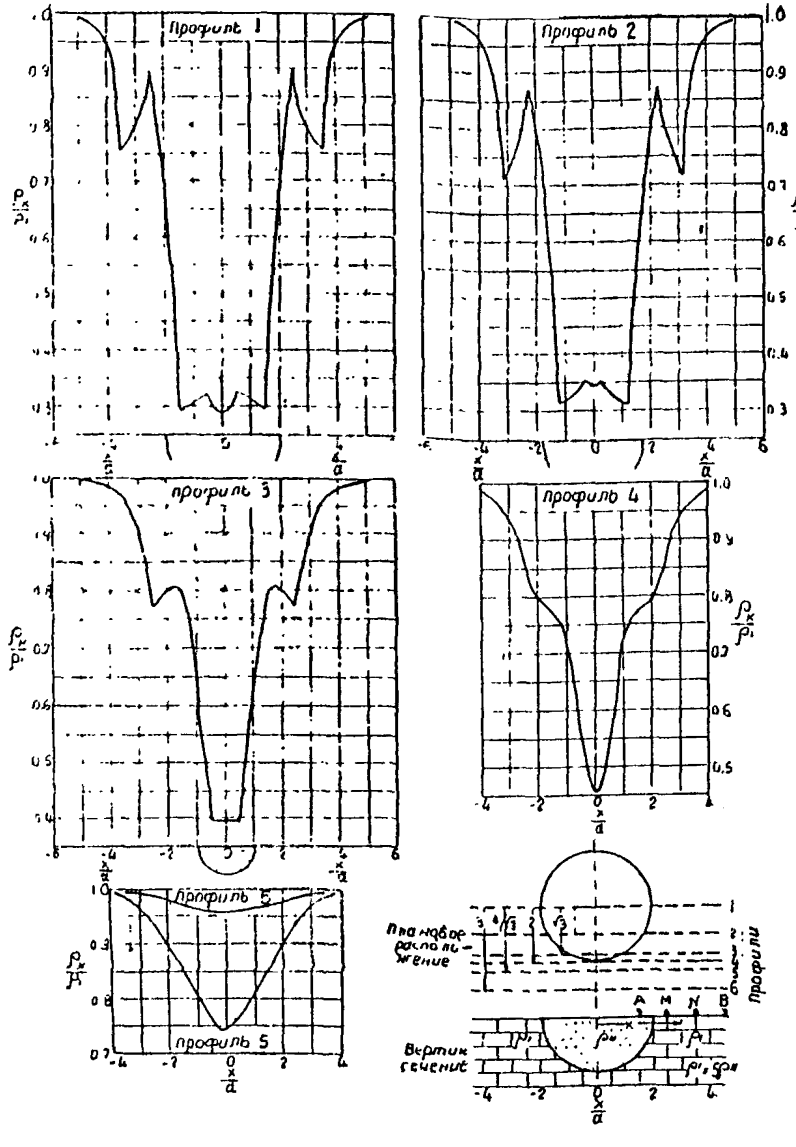

Рис. 16. Теоретическая кривая $\frac{\rho_к}{\rho^1}$, когда профилирование проводится установкой Веннера на разных расстояниях от центра заполненной воронки полусферической формы

$$\left(\frac{\rho''}{\rho^1} = \frac{1}{5};\ \text{диаметр} = 4\ MN\right)$$

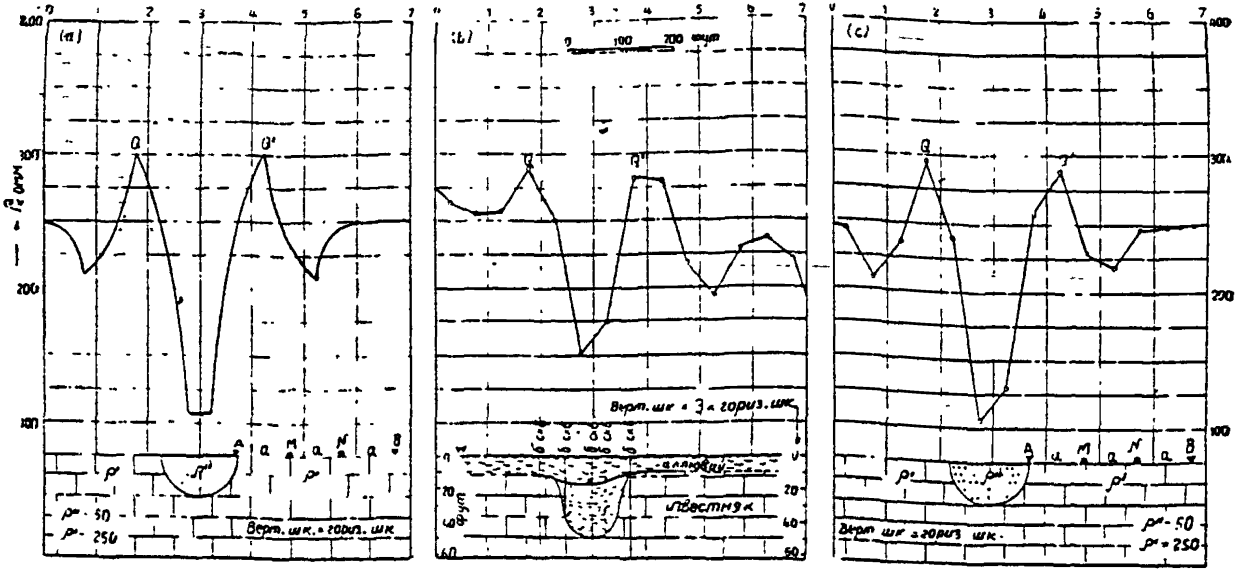

Рис. 17. Сопоставление теоретической и экспериментальной кривых электропрофилирования установкой Веннера, когда электропрофиль проходит по диаметру заполненной воронки полусферической формы

$$\left(\frac{\rho}{\rho^1} = \frac{50}{250};\ \text{диаметр} = \frac{3}{2}\,\overline{MN}\right)$$

(a) — теоретическая кривая;

(b) — кривая по данным полевых замеров на фоне геологического разреза;

(c) — теоретическая кривая по точкам наблюдения.

Разведка месторождений строительных материалов. *)

§ 127. Целью электроразведочных работ на месторождении строительных материалов является:

1. Установление границ распространения полезных ископаемых.

2. Определение мощности вскрыши и мощности полезной толщи.

§ 128. Основными методами исследования месторождения строительных материалов являются симметричные ВЭЗ и электропрофилирование на двух и трёх глубинах, а также иногда круговые ВЭЗ.

§ 129. Участок электроразведочных работ на месторождении строительного материала подготавливается следующим образом:

При предварительной разведке месторождений расстояние между профилями принимается равным 200 -500 метров; между точками ВЭЗ -100—200 м.

При детальной разведке расстояние между профилями не должно превышать 100—50 м, между точками ВЭЗ на профилях - 50—100 м. Иногда точки приходится сгущать.

§ 130. При предварительной разведке месторождений следует проводить сперва электропрофилирование на двух редко трёх глубинах, а затем ВЭЗ на участках аномальных значений электропрофилей. Песок аллювиального происхождения и гравий встречаются в совместном залегании и приурочены к долинам рек, к древним террасам, к древним руслам, к шлейфам выносов древних оврагов; флювиогляциальные пески и гравий встречаются в виде залежей линзообразной формы и обычно приурочены к положительным формам рельефа. Иногда они приурочены к месторождениям озового типа—в виде длинных узких возвышенностей и гряд с довольно крутыми склонами, а так-

*) Раздел представлен схематично и охватывает по существу разведку песчано-гравийных месторождений. При поисках и разведке каменных строительных материалов разведочная сеть не приводится в разделе. В каждом отдельном случае, в зависимости от генетического типа месторождения, выбирается соответствующая густота электроразведочных профилей и ВЭЗ.

же камового типа в виде холмов неправильной округлой формы.

Пески зандровых покровов приурочены к обширным равнинным площадям.

§ 131. Для оконтуривания месторождения в плане следует строить электропрофили и карты равных сопротивлений. Мощность вскрыши и полезной толщи определяется по ВЭЗ. Если разведка проведена электрозондированиями, то рекомендуется строить карты изоом по данным ВЭЗ для одинаковых $\frac{AB}{2}$. Эти карты дают возможность получить представление о вскрышных породах и о полезной толще. При этом необходимо помнить, что кривые ВЭЗ, находящиеся в приконтурных участках месторождения, могут давать неточное представление о залегании полезной толщи.

§ 132. Для определения мощности полезной толщи необходимо проводить зондирования в средней части месторождения и не выходить разносами за пределы его контура. Геоэлектрические разрезы по данным ВЭЗ строятся по направлениям электропрофилирования.

§ 133. Круговое профилирование проводится на каждом профиле в двух-трёх точках, приуроченных к зоне перехода полезной толщи во вмещающие породы. По данным профилирования строятся кривые грушевидной формы, большие полуоси которых указывают в сторону развития пород с повышенным сопротивлением.

Производство работ в зимних условиях.

§ 134. Производство электроразведочных работ в зимних условиях затрудняется из-за наличия снежного покрова и мёрзлого грунта, а также вследствие некоторых причин технического характера. Исходя из этого, вводятся коэффициенты, понижающие нормы работ на смено-день*).

§ 135. Основной трудностью в работе постоянным то-

*). Справочник укрупненных показателей стоимости проектных и изыскательских работ, ч. I р. I. Гос. издат. литературы по стр-ву, архитектуре и строительным материалам, Москва, 1958 г.

ком в зимних условиях является устройство заземления электродов.

Для проходки слоя мёрзлого грунта электроды изготавливаются из прочной стали, допускающей их забивку на глубину до 1,2—1,5 м. При этом на первых двух-трёх разносах ВЭЗ кривая $\rho_к$ может быть искусственно занижена. В таких случаях значения $\rho_к$ необходимо рассчитывать по формуле § 32. Электроды выдергиваются с помощью загнутого лома по принципу рычага-гвоздодёра*). Для этого к головке электрода наваривается венчик.

§ 136. Если отряд не оснащен соответствующими специальными электродами (§ 135), применяется метод прогревания грунта. Для этого используется форсунка или разжигаются костры в местах заземления электродов. Костры устраиваются таким образом, чтобы от замера к замеру земля под костром успела оттаять.

Прогревание грунта кострами должно быть основательным. При частичном оттаивании грунта переходное сопротивление электрода остается большим.

§ 137. В зимних условиях мостовые переходы удобно разведывать непосредственно по замерзшему руслу реки, а также разведывать заболоченные участки. Поэтому при проектировании работ по электроразведке целесообразно планировать их на перечисленных объектах именно в зимних условиях.

ГЛАВА III.

Камеральные работы.

§ 138. Срок камерального периода определяется программой и календарным графиком электроразведочных работ.

§ 139. Специфика электроразведочных работ по исследованию трасс автодорог исключает необходимость организации специальной группы работников, занятых исключительно обработкой полевых данных. Интерпретацию наблюдений проводит начальник отряда.

*). В. Е. Солдатенков. Опыт применения электроразведки в зимних условиях. „Разведка и охрана недр" № 5, 1949.

§ 140. Интерпретация кривых ВЭЗ начинается с их качественного анализа. Для этого кривые вычерчиваются в той последовательности, которая отвечает расположению точек ВЭЗ по выбранным направлениям и затем группируются по признакам однотипности.

§ 141. Результаты интерпретации данных электроразведки на участке работ являются более убедительными, если однотипные кривые ВЭЗ интерпретируются палетками одного семейства. Часто по независящим от оператора причинам кривые ВЭЗ оказываются прерванными при нисходящей или восходящей ветви кривой и затрудняется выбор палетки, необходимой для интерпретации.

Подобные кривые экстраполируются на асимптоту, выход которой отвечает сопротивлению опорного горизонта, если есть уверенность в том, что кривая ВЭЗ расположена над опорным горизонтом. Лишь после этого подбирается соответствующая палетка и проводится количественная интерпретация кривой ВЭЗ с обязательной последующей оговоркой о применении к кривой приема экстраполяции.

Числовое значение, на которое выводится асимптота кривой, определяется на основании параметрического ВЭЗ.

§ 142. При исследовании малых глубин необходимо получить хорошее совмещение левой ветви кривой $\rho_к$ с теоретической палеткой. Когда же определяется сравнительно большая глубина, базис эрозии реки, маркирующий горизонт под пачкой наносов, поверхность скольжения больших оползневых масс и т. д., можно несколько пренебречь несовмещением начального хода кривой с соответствующей палеткой. Необходимо добиваться совмещения средней и правой части кривой. При этом всегда надо помнить, что сопротивление второго слоя не может претерпевать резких изменений от точки к точке в одних и тех же формациях.

Тем не менее, это изменение часто замечается вследствие сильной трещиноватости или яркого выражения анизотропии второго слоя.

§ 143. На любых объектах проектируемой трассы дороги, будет ли это мостовой переход или тоннельный ход, оползень или месторождение строительного материала и т. д.

во всех случаях следует давать полное решение инженерно-геологической задачи. В ряде случаев даже отрицательные результаты интерпретации на определение, допустим, мощности вскрыши строительного материала, определение доминирующего направления трещиноватости карстующихся пород и т. д., оказываются полезными для внесения коррективов в общие представления об исследуемом объекте.

§ 144. Если разведка проведена различными методами, результаты интерпретации необходимо представлять в комплексном виде, носящем характер сопоставления и сравнения данных отдельных методов электроразведки. Так, например, при обработке результатов обследования водоёмов на фильтрацию, кривые ПС сопоставляются с графиками $\rho_к$. Геоэлектрические разрезы полезно сопоставлять с графиками кривых электропрофилирования, отображающими качественно поведение, допустим, кровли коренных пород, глубина залегания которых определена по данным ВЭЗ.

§ 145. Геоэлектрические разрезы наносят на топографическую основу, масштаб которой должен быть единым с масштабом всех материалов по изысканию трассы и сохраняется на все последующие графики.

§ 146. Начальник отряда по окончании камеральных работ передает руководителю группы полевые журналы наблюдений и все замеренные кривые ВЭЗ, кривые электропрофилирования и ПС и соответствующие иллюстрации в виде зарисовок и фотоснимков.

§ 147. Поскольку электроразведочные работы обычно входят в общий комплекс изысканий трасс автодорог, нет необходимости составлять отчет по электроразведке, отчет должен быть единым.

Если электроразведочные работы проводятся самостоятельно, то о результатах работ составляется отчет, который должен содержать следующие главы:

1. Введение.
2. Местоположение объекта работ и цель работ.
3. Геологическое строение района работ.
4. Тектоника.

5. Гидрогеология.

6. Геологическое строение, тектоника и гидрогеология участка работ.

7. Электрические параметры горных пород.

8. Методика и объем работ.

9. Результаты работ.

10. Выводы и заключение с указанием точек заложения контрольных геологоразведочных выработок и проектные глубины этих выработок.

§ 119. Начальник отряда обязан представить ведомость и таблицу интерпретации кривых ВЭЗ по нижеследующей форме (см. стр. 80).

Т А Б Л И Ц А

интерпретации кривых ВЭЗ

№№ ВЭЗ	Палетка модуль	ρ_1	h_1	ρ_2	m_2	ρ_3	m_3	ρ_4	m_4	ρ_5	H вскрыши	Примечан

В Е Д О М О С Т Ь

Начало _____ Нач. отряда _____

Конец _____ Оператор _____

Категория местности _____ Вычислитель _____

№№ по порядку	Наименование объектов	ПК+	ВЭЗ №	Характер кривой	Слой №	Глубина залегания в м		Мощность слоя	Удельное сопротивление в омм и наименование пород	Наименование и описание объекта
						От	До			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Трасса Сталинабал-Хорог	—475+ +08	18	„Н“	1	0	3	3	500 аллювиальные образования р . . . . безводн.	Мостовой переход ч|р . . . категор. малой сложности, класс реки VI (§ . . . . инструкции . . . . .)

Форма № 1

ЖУРНАЛ ДЛЯ ЗАПИСИ ПРИ РАБОТЕ ПО МЕТОДУ ВЭЗ

Дата_____

ВЭЗ №_____участок_____начало_____конец_____

наблюдений. Ав. разносов_____высотная отметка тчк.

Погода _____Батареи_____Шт._____

Чувствительность гальванометра_____

№№ замеров	$\frac{AB}{2}$	MN	K	$\Delta u_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	Примечание

Оператор:

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 2

Ж У Р Н А Л

для записи полевых наблюдений по методу электропрофилирования с установкой ANMB

Дата _____

Профиль _____ Участок _____

Начало наблюдений _____ Конец наблюдений _____

Погода _____

AB= ; MN= ; K= ; Шаг

№№ точек наблюдений	$\Delta u_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	Примечание

Оператор

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 8

Ж У Р Н А Л

для записи при работе по методу электропрофилирования с установкой AA'MNB'B

Дата _____

Профиль _____ Участок _____

Начало наблюдений _____ Конец наблюдений _____

Погода _____

AB= ; A'B'= ; MN= ; K= ;

K'= ; Шаг=

№ № точек наблюдения	AB=			A'B'=			Примечание
	$\Delta U_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	$\Delta U_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	

Оператор:

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 4

Ж У Р Н А Л

для записи при работе по методу комбинированного профилирования

Дата_____

Профиль_____ Участок _____

Начало наблюдений_____ Конец наблюдений_____

Погода_____

AO= OB= ; MN= ; K= ; Шаг

№№ точек наблюдения	AMN			BMN			Примечание
	$\Delta U_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	$\Delta U_{мв}$	$I_{ма}$	$\rho_{омм}$	

Оператор:

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 5

Ж У Р Н А Л

для наблюдения естественного поля по способу съемки градиентов с перестановкой электродов

Дата _____

Профиль _____ Участок _____

Начало наблюдений _____ Конец наблюдений _____

Погода _____

Шаг _____

№ точек	Положение электродов М и N	Среднее значение разности потенциалов $\Delta_{1, -1}$, мв	Измеренное значение потенциалов по отношению к исходной точке профиля $\Sigma\Delta_{1, -1, +}$ мв	Поправка $\frac{i_в}{n}$, мв	Значение потенциала мв		Электротная разность потенциалов $l_э$, мв	Примечание
					По отношению к исходной точке профиля $u_к$	По отношению к нулевой точке планшета $U_{к.0}$		

Оператор:

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 6

Ж У Р Н А Л

наблюдений естественного поля по способу съёмки потенциала

Дата _____

Профиль _____ Участок _____

Начало наблюдений _____ Конец наблюдений _____

Положение неподвижного электрода _____

Шаг _____ Погода _____

№№ точек	Положение электрода М	Разность потенциалов ΔU_i, мв	Разность электродных потенциалов $l_э$, мв	Поправка за изменение электродной разности потенциалов $\frac{i}{\pi} S l_{эмв}$	Значение потенциалов мв		Примечание
					По отношению к исходной точке профиля $U_{i,к}$	По отношению к нулевой точке планшета $U_{i,о}$	

Оператор:

Вычислитель:

Проверил:

Форма № 7

Ж У Р Н А Л

для записи результатов полевых наблюдений при определении скорости и направления потока методом заряженного тела

Дата_____

Район работ_____ Скважина №_____ Погода _____

Глубина водоносного горизонта_____ Количество лучей _____

Потенциометр_____

Нач. отряда _____ Вычислитель_____

№№ изолиний	№ луча	1 серия			2 серия			3 серия			4 серия			5 серия			6 серия			7 серия			Примечание
		t	r	$\Delta_1 r$	t	r	$\Delta_2 r$	t	r	$\Delta_3 r$	t	r	$\Delta_4 r$	t	r	$\Delta_5 r$	t	r	$\Delta_6 r$	t	r	$\Delta_7 r$	

Проверил: _____

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по электроразведке. Министерство геологии, Главное геофизическое управление. Госгеолиздат, Москва, 1952 г.
2. Инструкция по поискам и разведке месторождений дорожно-строительных материалов при изысканиях автомобильных дорог. Главдорстрой Союздорпроект. Автотрансиздат, Москва, 1957 г.
3. Заборовский А. И.—Электроразведка. Гостоптехиздат, Москва, 1943 г.
4. Терцаги К. —Инженерная геология. Горгеонефтеиздат, Москва, 1934.
5. Саваренский Ф. П.—Гидрогеология. Гос. объединение научно-технического издательства, 1939 г. Л—М.
6. Семенов А. С. —Электроразведка методом естественного электрического поля. Изд. Ленинградского Университета, 1955 г.
7. Дахнов В. Н. —Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. Гостоптехиздат, 1953 г. М—Л.
8. Скабалланович А. И., Саденко М. В. —Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений. Углетехиздат, Москва, 1955 г.
9. Горелик А. М., Сахарова М. П. —Применение электроразведки при инженерно-геологических изысканиях на железных дорогах. Трансжелдориздат, Москва, 1951 г.
10. Огильви А. А. —Определение мест утечек воды по электрическим полям фильтрации. „Гидротехническое строительство" № 12, Госэнергоиздат, 1957 г.
11. Чантуришвили Л. С.—Электроразведка при проектировании дорог на пересеченной местности. Автотрансиздат, Москва, 1959 г.
12. Якубовски Ю. В.— и Ляхов Л. Л. Электроразведка. Госгеолтехиздат, Москва, 1956 г.
13. Вешев А. В. —Влияние рельефа на результаты работ комбинированным электропрофилированием. Ученые записи ЛГУ, серия физических и геологических наук, вып. II, 1959 г.
13. Соок К., Nostrand R. —Interpretation of Resistivity Data over Killed Sinks. Jeophysics, vol XX, № 1, 1955.

gost.e-ecolog.ru