

УДК 580.8.055

Д.А.ХАЧАТРЯН

О РОЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИЕМНОЙ И ПИТАЮЩЕЙ ЦЕПИ В МЕТОДАХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

На основе анализа реальной и эквивалентной схем электроразведочной установки для питающей цепи рассматривается соотношение сопротивления среды, излагается способ измерения коэффициента прилегания, приводятся некоторые данные коэффициента прилегания для почвенных слоев муниципалитета Винялес Республики Куба.

Рассматривается роль высокоомных и низкоомных значений общего сопротивления заземления и коэффициента прилегания при проведении электроразведочных работ постоянным током, указываются пути повышения точности результатов полевых измерений.

Приводится зависимость значения разности потенциалов от общего сопротивления среды, заключенной между приемными электродами, в связи с чем неоднородности почвенного слоя по удельному электрическому сопротивлению оказывают влияние на значение разности потенциалов и, следовательно, на значения кажущегося электрического сопротивления, иногда приводящего к тому, что интерпретация электроразведочных данных становится невозможной.

В работе приводятся пример искажения кривой ВЭЗ и графики электропрофилирования, искаженные поверхностными неоднородностями, полученные в закарстованной зоне Р.Куба. После исключения влияния поверхностных неоднородностей результаты более соответствуют действительности, и их интерпретация не представляет особого труда по сравнению с искаженными кривыми и графиками.

Вопрос определения сопротивления заземления освещен в работах [1—4] и др. с точки зрения создания электрического поля в земле. Известно [1,2], что сопротивление заземления двух электродов рассчитывается по формуле

$$R_{\text{з.з.}}^{\text{общ.}} = U/I,$$

где U — напряжение источника тока, I — сила тока в питающей цепи.

А.И.Заборовский [2] отмечает, что сопротивление заземления электрода, измеренное таким образом, можно рассматривать как сопротивление, оказываемое средой от поверхности электрода до бесконечности радиально растекающегося с электрода тока, и термин *переходное* сопротивление заземления нельзя считать достаточно удачным, так как он не отображает физической сущности явления.

В.Н.Дахнов [1] отмечает, что полное сопротивление полупространственного проводника между любой парой заземлений в основном определяется количеством, размером и конфигурацией заземлителей и сопротивлением почвы, непосредственно прилегающей к заземлителям, и практически не зависит от удельного сопротивления пород, слагающих основной объем полупространства.

Если в перечисленных работах уделяется внимание сопротивлению заземления электродов с точки зрения расчета силы тока в питающей

цепи, то остается открытой роль общего сопротивления приемной цепи при формировании величины разности потенциалов. Рассмотрим вопросы общего сопротивления питающей цепи, состоящей из двух электродов, заземленных в однородном полупространстве, с удельным электрическим сопротивлением ρ (рис. 1а). Величина силы тока в этой цепи зависит от сопротивления проводов, сопротивления заземления электродов и сопротивления среды, соединенных между собой последовательно. Эквивалентная схема приведена на рис. 1б. В данной схеме сопротивление измерителя силы тока не рассматривается, так как величина силы тока в большинстве электроразведочных приборов постоянного тока измеряется путем измерения падения напряжения на сопротивлении $0,1 \text{ Ом}$, которое последовательно включено в питающую цепь. Помимо этого нами не учитывается сопротивление проводов из-за малой величины.

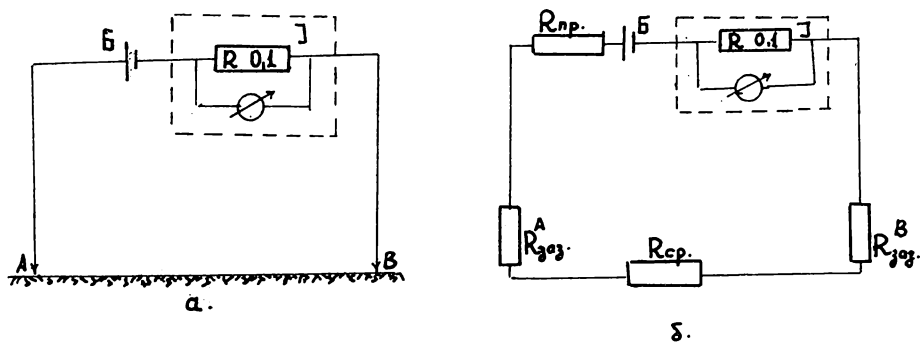


Рис.1. Реальная (а) и эквивалентная (б) схемы питающей цепи: Б — батарея, $R_{\text{заз}}^A$ и $R_{\text{заз}}^B$ — сопротивления заземления питающих электродов А и В, $R_{\text{ср}}$ — сопротивление среды, $R_{\text{пр}}$ — сопротивление проводов.

Если напряжение батареи Б равно U , сила тока определяется по формуле

$$I = \frac{U}{R_{\text{заз}}^A + R_{\text{заз}}^B + R_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{заз}}^A$ и $R_{\text{заз}}^B$ — сопротивления заземления питающих электродов А и В, $R_{\text{ср}}$ — сопротивление среды, заключенной между питающими электродами.

Сопротивление заземления стержневого электрода вычисляется по формуле

$$R_{\text{заз}} = C \frac{\rho}{2\pi_0} \lg \frac{2a}{b}, \quad (2)$$

где C — коэффициент прилегания, ρ — удельное электрическое сопротивление среды, a — длина заземленной части электрода, b — радиус электрода.

Удельное электрическое сопротивление и коэффициент прилегания для однородной среды можно принять приблизительно постоянными. Если допустить, что радиусы электродов А и В, а также глубина заземления одинаковы, то величины $R_{\text{заз}}^A$ и $R_{\text{заз}}^B$, рассчитанные по формуле (2) для пары заземлений А и В, принимают вид

$$R_{\text{ззз}}^{\text{AB}} = \frac{C\rho}{\pi_\alpha} \lg \frac{2a}{b} = KC\rho, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{1}{\pi_\alpha} \lg \frac{2a}{b}.$$

Значения K в зависимости от значений a и b приведены на рис.2.

Сопротивление среды, по которой течет электрический ток, принимаемый за линейный электрод, определяется по формуле

$$R_{\text{ср}} = \rho \frac{l}{S}, \quad (4)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление среды, L — расстояние между питающими электродами, S — площадь, через которую течет электрический ток. Величина L всегда известна. Для определения величины S воспользуемся расчетами, приведенными в работе [1], согласно которым 90% тока протекает в пласте мощностью $h = 3,15L$. Токовые линии будут распределяться в среде по форме полуэллипсоида вращения с большой полуосью, равной примерно $3L$. Площадь вертикального сечения полуэллипсоида вращения перпендикулярной линии, соединяющей заземления А и В, будет окружностью, радиус которой примерно равен $3L$. С учетом этого площадь, по которой течет основная часть тока, будет

$$S = \frac{\pi(3L)^2}{2} = \frac{9\pi L^2}{2} = 14,13L^2. \quad (5)$$

Подставляя величину S в формулу (4), получим

$$R_{\text{ср}} = \rho \frac{L}{14,13L^2} = 0,071\rho/L. \quad (6)$$

То есть с увеличением расстояния между питающими электродами уменьшается сопротивление среды протекающему по ней току.

Подставляя значения $R_{\text{ззз}}^{\text{AB}}$ и $R_{\text{ср}}$ в выражение (1), получим

$$I = \frac{U}{KC\rho + 0,071\rho/L}. \quad (7)$$

Рассмотрим отношение сопротивления заземления электродов к сопротивлению среды:

$$R_{\text{ззз}}^{\text{AB}}/R_{\text{ср}} = \frac{KC\rho}{0,071\rho/L} = \frac{KCL}{0,071} \quad (8)$$

Используя предельные значения коэффициента K (см. рис.2) и наиболее часто встречающиеся низкие значения прилегания ($C=1$ и $C=5$), характерные для почв и грунтов (Р.Куба), получим, что величина отношения $R_{\text{ззз}}^{\text{AB}}/R_{\text{ср}}$ изменяется от $35,2L$ при линейных значениях K и C ($K=2,5$, $C=1$) до $671,8L$ при максимальных значениях K и C ($K=9,54$, $C=5$). Если учесть, что при исследовании малых глубин L изменяется от 3 до $500-700$ м, то из формулы (8) увидим, что величина $R_{\text{ззз}}^{\text{AB}}$ на два-три порядка больше, чем сопротивление среды. Учитывая это, сопротивление заземления можно определить путем пропускания тока и расчета величины сопротивления по формуле (1).

Вышеуказанным методом определены сопротивление заземления и коэффициент прилегания для почв и грунтов участка «Ла Пальма» провинции Пинар дель Рио в Кубе. При определении этих параметров удельное электрическое сопротивление, входящее в формулу (2), определялось по данным ВЭЗ. При полевых работах глубина заземления электродов сохранялась постоянно. Коэффициент C рассчитан как отношение результата, полученного по формуле (1), к результату формулы (2)

для каждой точки измерения. Величина сопротивления заземления красных эродированных почв изменяется от 5,5 до 550 Ом, коэффициент прилегания — от 4,0 до 10,5. Для красных эродированных почв с включениями известняков сопротивление заземления изменяется от 1670 до 10000 Ом, а коэффициент прилегания — от 25,0 до 41,0.

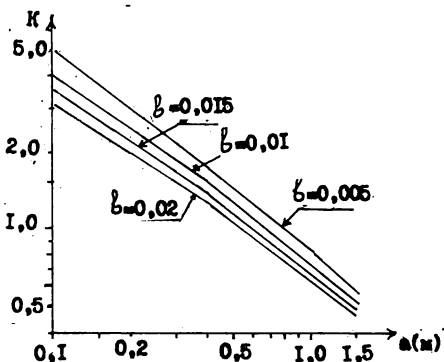


Рис.2. Номограмма определения значения K в зависимости от глубины забивания (a) и радиуса (b) электрода.

Когда почвенный слой обладает низкими значениями сопротивления заземления и коэффициента прилегания (влажные глины и глинисто-суглинистые образования) и геоэлектрический разрез представлен низкоомными породами, при сравнительно больших разносах ($AB \geq 200$ м) для уверенной регистрации разности потенциалов

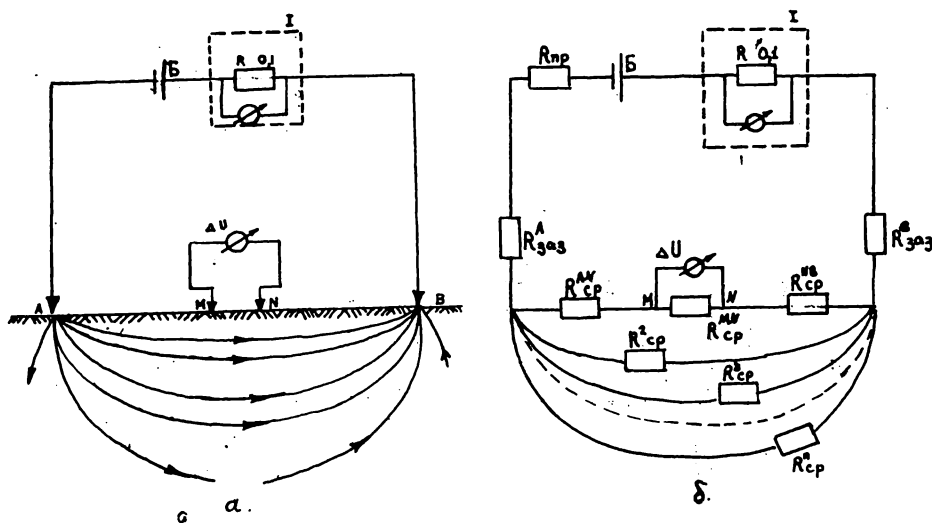


Рис.3. Реальная (а) и эквивалентная (б) схемы электроразведочной четырехэлектродной установки: Б — батарея; $R_{заз}^A$ и $R_{заз}^B$ — сопротивления заземления питающих электродов А и В, $R_{ср}^1, \dots, R_{ср}^n$ — сопротивление среды, $R_{АМ}, R_{МН}, R_{НВ}$ — сопротивления среды вблизи дневной поверхности, заключенной между электродами АМ, МН, NB соответственно.

необходимо увеличить силу тока до 150 сА и более. Увеличение силы тока за счет включения в питающую цепь дополнительных батарей приводит к нестабильности силы тока, выражающейся в непрерывном уменьшении

величины силы тока, иногда за короткий промежуток времени доходящей до нуля. Для увеличения силы тока необходимо уменьшить сопротивление заземления путем увеличения глубины заземления питающих электродов, что способствует уменьшению удельной плотности тока, являющейся причиной описанного явления, и исключает ее [5].

Для изучения роли сопротивления заземления и сопротивления среды при формировании разности потенциалов рассмотрим реальную и эквивалентную схемы (рис.3.) электроразведочной установки несколько подробнее, допуская при этом, что сфера является однородной. Реальную схему можно представить в виде параллельно соединенных сопротивлений. Величина силы тока, протекающего через эти сопротивления, обратно пропорциональна величине этих сопротивлений. Не останавливаясь на определении величины каждого сопротивления, отметим, что сопротивление R_1 представляет собой последовательно соединенные сопротивления R_{AM}, R_{AN}, R_{NB} .

Как видно из эквивалентной схемы 3б, измеряемая разность потенциалов есть падение потенциала на сопротивлении R_{NB} и зависит от величины I_1 и R_{MN} . Отметим, что величина I_1 зависит от сопротивлений R_1, R_2, \dots, R_n , т.е. параметров геоэлектрического разреза.

Величина сопротивления среды, заключенной между приемными электродами М и N (R_{cp}^{MN}), зависит от удельного электрического сопротивления среды, расстояния между приемными электродами (L) и поперечного сечения (S), по которому течет ток:

$$R_{cp}^{MN} = \rho \cdot l/S. \quad (9)$$

При электропрофилеировании величина L всегда постоянна. Величина будет постоянной только в однородных средах. Поэтому для однородных сред отношение L/S обозначим коэффициентом D:

$$R_{cp}^{MN} = D\rho, \quad (10)$$

откуда значение удельного электрического сопротивления будет

$$\rho = R_{cp}^{MN}/D \quad (11)$$

В случае, если первый геоэлектрический слой неоднороден по удельному электрическому сопротивлению, в различных точках измерения ρ будет изменяться и вызовет, в свою очередь, изменение величины сопротивления вдоль профиля от точки к точке, которое приведет к изменению величины падения потенциала (ΔU). Причем изменение ΔU в большей степени зависит от сопротивления среды, чем от изменения параметров геоэлектрических слоев, залегающих более глубоко.

Исключение влияния изменения удельного электрического сопротивления непосредственно вблизи дневной поверхности возможно путем нормирования значения кажущегося удельного электрического сопротивления среды в данной точке измерения.

Как известно, измерение сопротивления среды, заключенной между приемными электродами, затруднительно. Поэтому вместо сопротивления среды возможно использовать величину общего сопротивления приемной цепи путем пропускания в приемную цепь электрического тока и измерения силы тока (I) и напряжения батареи (U). Расчет общего сопротивления выполняется по формуле

$$R_{общ}^{MN} = U/I.$$

В качестве примера приведены кривые ВЭЗ, искаженные поверхностными неоднородностями (рис.4а) и после исключения влияния поверхностных неоднородностей (рис.4б, $\rho_k/R_{общ}^{MN}$). Кривая $\rho_k/R_{общ}^{MN}$ более пригодна для интерпретации, чем ρ_k .

На рис.5 приведен график электропрофилирования ρ_k , полученный в провинции Гавана, для выявления закарстованных зон [6]. На графике электропрофилирования ρ_k четко и уверенно выделить закарстованные зоны невозможно, в то время как на графике $\rho_k/R_{\text{общ}}^{MN}$ закарстованная

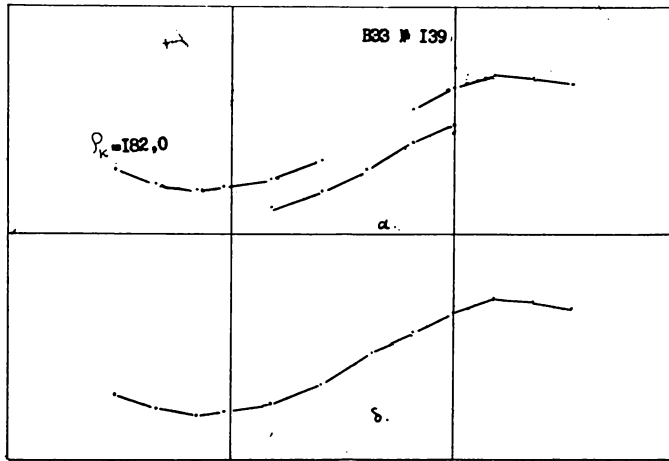


Рис.4. Кривые ВЭЗ: (а) — искаженная поверхностными неоднородностями и (б) — после исключения их влияния.

зона выделяется в виде завышенных значений $\rho_k/R_{\text{общ}}^{MN}$ с характерной для закарстованных зон «пилообразной» формой графиков.

Кафедра геофизических методов
поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых

Поступила 26.05.1988

ЛИТЕРАТУРА

1. Дахнов В.М. Электроразведка нефтяных и газовых месторождений. М.-Л: Гостоптехиздат, 1953.
2. Забаровский А.М. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1968.
3. Якубовский Ю.В. Электроразведка. М.: «Недра», 1980.
4. Матвеев Б.К. Электроразведка при поисках месторождений полезных ископаемых. М.: «Недра», 1982.
5. Хачатрян Д.А. Некоторые особенности первого геоэлектрического горизонта при проведении работ методом сопротивления в условиях Армении. - Уч. записки ЕГУ, 1981, №2.
6. Jachatrian D.A. N Pinero Marales - Algunos problemas en la separacion de anomalias utiles en cartas medios no homogenios - mediante la aplicacion de perfilaje electrico. - Rev. Voluntad Hidraulico. Habana, 1984, №64.

Ամփոփում

Հաստատուն հոսանքի էլեկտրահետախուզական մեթոդների իրական և համարժեք (էկվիվալենտ) շղթայի վերլուծության հիման վրա տրվում են հողակցման դիմադրության և միջավայրի դիմադրության հարաբերակցությունը հսկայական գործակցի մի քանի արժեքներ Կուբայի հանրապետության Վինյալես մունիցիպալիտետի գետնահողերի համար:

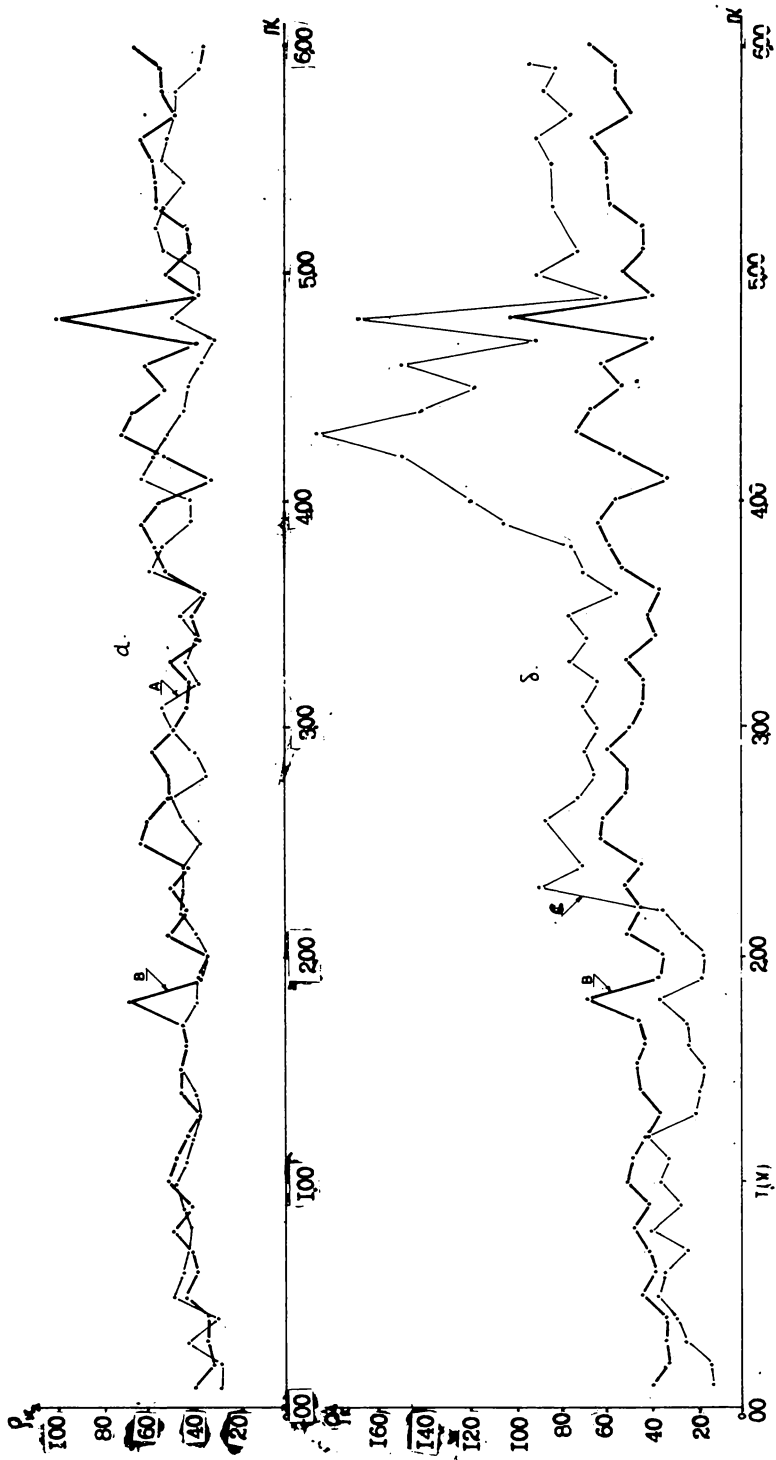


Рис.5. Графики ρ_k электропрофилирования: а-рядового (А) и контрольного (Б), б — график $\rho_k/R_{\text{общ}}$ (С).

Դիտարկվում են հողակցման դիմադրության և հպման գործակցի բարձր և ցածր արժեքներով պայմանավորված երևույթները հաստատուն հոսանքի մեթոդների դաշտային աշխատանքների ժամանակ, տրվում են դաշտային չափումների ճշտության բարձրացման ուղիները: Հոդվածում ցույց է տրվում, որ պոտենցիալների տարբերության արժեքի վրա մեծ ազդեցություն է գործում այն միջավայրի դիմադրությունը, որը սահմանափակված է չափիչ էլեկտրոդների միջև: Այդ պատճառով, երբ առաջին շերտը անհամասեռ է, այն մեծ ազդեցություն է գործում էլեկտրահետախուզական աշխատանքների վրա:

Բերվում են աղավաղված ուղղաձիգ էլեկտրական զոնդավորման և էլեկտրապրոֆիլացման գրաֆիկներ: Անհամասեռության աղավաղումը վերացնելուց հետո ուղղաձիգ էլեկտրական զոնդավորման կորի և էլեկտրապրոֆիլացման գրաֆիկի մեկնաբանումը դժվարություն չի ներկայացնում:

SUMMARY

On the basis of the analysis of real and equivalent circuits by the methods of electrical scanning with direct current the relation of earthing resistance and environment resistance and some values of adhesion coefficient are given for soils in Vinales municipality, Cuba.

Occurrences, connected with high and low values of earthing resistance and adhesion coefficient are considered when works are carried out in the field by methods of direct current. Ways are suggested to improve the accuracy in field measurements.

In the paper some examples of SEV—curves and electric logging graphics, deformed in the result of the influence of surface heterogeneities are presented.