

1. Алексин А.Г., Хромов В.Т. и др. Поиски залежей нефти и газа в ловушках неантиклинального типа. - М.: Недра, 1985. - 200 с.
2. Калинин А.К. О перспективах территорий, примыкающих к нефтегазоносным регионам // Советская геология. - 1984. - №1. - С.17-24.
3. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Закономерности блоковой делимости земной коры Урала // Геофизич. методы поисков и разведки рудных месторождений / Свердлов. горного ин-та. - Свердловск, 1990. - С.3-8.
4. Кассин Г.Г., Филатов В.В. Перспективы нефтегазоносности западной части Свердловской области // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. - 1994. - №9-10. - С.9-16.
5. Кассин Г.Г., Суворов В.В., Филатов В.В. Геофизические исследования в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Изв. Уральской гос. горно-геол. академии. Сер.: Геол. и геофизика. - 1996. - №5. - С.128-135.
6. Рудкевич М.Я. и др. Нефтегазоносные комплексы Западно-Сибирского бассейна. - М.: Недра, 1988. - 303 с.
7. Саньков В.А. Глубины проникновения разломов. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1989. - 136 с.
8. Современная геодинамика и нефтегазоносность / Сидоров В.С., Багдасарова М.В. и др. - М.: Наука, 1989. - 200 с.
9. Филатов В.В., Кассин Г.Г., Попов Б.А. Геофизические исследования на Верхнекамском месторождении солей // Изв. вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. - 1995. - №6. - С.150-161.
10. Филатов В.В., Кассин Г.Г. Тектоногравиметрия при изучении сдвиговых зон // Изв. Уральской гос. горно-геол. академии. Сер.: Геология и геофизика. Ст. в настоящем выпуске.

УДК 550.837

С.С.Сысков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖИН

В процессе интерпретации результатов электроразведочных наблюдений в анизотропных средах приходится учитывать влияние анизотропии электрических свойств горных пород, что обуславливает необходимость определения параметров анизотропной среды. Кроме того, сама анизотропность горных пород может являться объектом исследований и использоваться в прикладных целях [1,5,11]. Как следует из опыта применения скважинной электроразведки в рудных районах, гидротермально измененные рудовмещающие горные породы обладают, как правило, трехосной анизотропией электропроводности [1, 5].

Однако на практике нередко возникает необходимость оценки параметров анизотропной среды в произвольной плоскости, проходящей через источник тока. В частности, с такой задачей приходится иметь дело при определении параметров анизотропной среды по измерениям в методе электрической корреляции, а также при профильных измерениях по методу заряда на участках, ограниченных естественными и искусственными препятствиями.

В подобных условиях для оценки параметров анизотропной среды может быть использовано классическое решение обратной задачи для поля точечного источника в одноосной анизотропной среде, впервые полученное В.Р.Бурсианом и С.М.Шейнманом [2,11]. Рассмотрим возможные способы оценки параметров такой среды на основе анализа решения Бурсиана - Шейнманна.

Как известно [8,11], параметрами одноосной анизотропной среды являются ρ_n и ρ_t - удельные электрические сопротивления в направлении оси анизотропии (поперечное) и в плоскости, перпендикулярной этой оси (продольное); $\rho_m = \sqrt{\rho_n \rho_t}$ - среднее квадратичное удельное сопротивление; $\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_t}$ - коэффициент анизотропии электропроводности.

Рассмотрим основные особенности электрического поля погруженного источника тока на поверхности анизотропного полупространства с произвольным углом падения слоистости α . Совместим источник тока А, расположенный на глубине h , с началом декартовой системы координат x, y, z (рис.1). Ось x направим по простиранию слоистости (сланцеватости), ось y - вкrest простирания слоистости, в направлении ее падения, ось z - вертикально вверх. Выражение потенциала на дневной плоскости ($z=h$) в этом случае имеет вид [2, 8,10]:

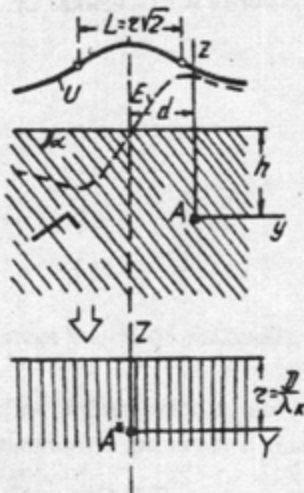


Рис.1. Схема расположения координат

$$U = \frac{\rho_m I}{2\pi} \left[x^2 + B \cdot y^2 + 2C \cdot y \cdot h + A \cdot h^2 \right]^{-1/2}, \quad (1)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A &= \sin^2 \alpha + \lambda^2 \cos^2 \alpha \\ B &= \cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha \\ C &= (\lambda^2 - 1) \sin \alpha \cos \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

α - угол падения слоистости (сланцеватости).

Выражение (1) можно преобразовать к виду

$$U = \frac{\rho_m I}{2\pi} \left[x^2 + B \cdot \left(y + \frac{C}{B} h \right)^2 + \frac{\lambda^2}{B} \cdot h^2 \right]^{-1/2} \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3) следует, что изолинии потенциала на поверхности однородного анизотропного полупространства представляют собой семейство подобных эллипсов, вытянутых по простиранию слоистости. Максимум потенциала и центр изолиний располагаются на проекции оси y на дневной поверхности и смещены относительно начала координат в сторону восстания слоистости на расстояние

$$d = -\frac{C}{B} \cdot h = -\frac{(\lambda^2 - 1) \sin \alpha \cos \alpha}{\cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha} \cdot h \quad (4)$$

Отношение полуосей изолиний потенциала $\frac{a}{b} = \sqrt{B}$ с изменением угла α от 0° до 90° монотонно меняется от 1 до λ . Отношение $\frac{a}{b}$ принято называть кажущимся коэффициентом анизотропии λ_k [11]. С учетом (2)

$$\lambda_k = \frac{a}{b} = \sqrt{B} = \sqrt{\cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha} \quad (5)$$

Если в выражении (3) свободный член под знаком радикала обозначить как

$$D = \frac{\lambda}{\sqrt{B}} \cdot h = \frac{\lambda}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \lambda^2 \sin^2 \alpha}} \cdot h, \quad (6)$$

то с учетом (4) и (5) выражение для потенциала точечного источника тока на поверхности однородного полупространства приобретает следующий вид:

$$U = \frac{\rho_m I}{2\pi} \left[x^2 + \lambda_k^2 \cdot (y - d)^2 + D^2 \right]^{-1/2} \quad (7)$$

Для определения параметров одноосной анизотропной среды - коэффициента анизотропии λ и угла падения слоистости α - В.Р.Бурсиан и С.М.Шейнманн предложили использовать модуль смещения d и отношение полуосей изолиний потенциала $\lambda_k = \frac{a}{b}$, определяемыми соотношениями (4) и (5). После совместного решения этих уравнений относительно неизвестных α и λ получаются следующие формулы для их определения [2,11]:

$$\alpha = \operatorname{arccctg} \frac{\lambda_k^2}{\lambda_k^2 - 1} \cdot \frac{d}{h}; \quad \lambda = \sqrt{\frac{\lambda_k^2 - \cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha}} = \lambda_k \sqrt{1 + \frac{d}{h} \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \quad (8)$$

Таким образом, для определения α и λ по способу Бурсиана - Шейнманна необходимо по результатам измерений на дневной поверхности электрического поля точечного источника тока, помещенного на глубине h , оценить величину смещения d эпицентра изолиний потенциала относительно проекции источника на дневную поверхность и отношение полуосей изолиний $\lambda_k = \frac{a}{b}$, а затем по формулам (8) вычислить искомые параметры анизотропной одноосной среды α и λ .

Этот способ, широко использующийся в производственной практике и являющийся с середины 30-х годов и по настоящее время единственным для определения параметров одноосной анизотропной среды по электрическому полю погруженного источника тока, имеет определенные ограничения.

Во-первых, как отмечал один из авторов способа [11], "... определение угла и азимута падения электрическим способом по одной разведочной скважине имеет смысл, когда падение не слишком мало". Действительно, при горизонтальной слоистости ($\alpha = 0^0$) изолинии потенциала становятся круговыми ($\lambda_k = 1$), смещение d оказывается равным нулю, т.к. эпицентр изолиний и экстремум потенциала совпадают с проекцией источника тока на плоскость наблюдений. В этом случае формулы (8) теряют смысл при любых возможных значениях λ . Следствием этого ограничения метода Бурсиана - Шейнманна явились, по-видимому, неверные методические рекомендации и выводы в некоторых работах. Так в [7] на стр. 77 указывается: "Если линия равного потенциала имеет форму, близкую к круговой, значит, породы на участке изотропны и никакие поправки вводить не нужно". В работе [4] на стр. 108 отмечается: "Если ось скважины параллельна или перпендикулярна плоскости сланцеватости, то анизотропия пород не проявляется". Ошибочность таких утверждений связана с тем, что условия $\lambda_k = 1$ и $d = 0$ не являются достаточными для суждения об изотропности среды.

Во-вторых, рассматриваемый способ не пригоден для оценки α и λ при электроразведочных наблюдениях по одиночным трассам (в скважине, шахтной выработке либо на участках дневной поверхности, ограниченных естественными и искусственными препятствиями). В этих условиях нельзя оценить величину $\lambda_k = \frac{a}{b}$; следовательно, система уравнений (4) и (5) не может быть разрешена, т.к. содержит три неизвестных - α , λ и λ_k . Определить один из двух искомых параметров анизотропной среды можно, полагая другой известным по дополнительным данным. Этот прием был использован А.В.Тарасовым [4] при оценке параметров α и λ по данным метода электрической корреляции, причем угол α определялся по данным бурения. Однако для независимого определения α и λ при наблюдениях по одиночной прямолинейной трассе этот способ, как справедливо отмечено в [6], оказывается непригодным.

В то же время на основании анализа приведенного выше решения для потенциала точечного источника тока в одноосной анизотропной среде можно предложить и другие способы оценки параметров такой среды, свободные от указанных недостатков. Действительно, для определения α и λ , наряду с выражениями (4) и (5), может быть взято также соотношение (6). Причину того, что оно до сих пор не использовалось для этих целей, можно связывать, пожалуй, с не столь явной очевидностью геометрического смысла параметра D и, соответственно, способа определения его величины. Для выяснения геометрического и физического смысла нового исходного параметра D введем новую систему координат XYZ , оси которой параллельны соответствующим осям прежней системы, а ее начало располагается на расстоянии $Z_0 = D$ от дневной поверхности в точке с координатами (рис. 1):

$$x = 0 ; y = d = -\frac{C}{B} \cdot h . \quad (9)$$

Тогда уравнение (7) примет вид

$$U = Q \cdot [X^2 + \lambda_k^2 \cdot Y^2 + D^2]^{-1/2} , \quad (10)$$

где $Q = \frac{\rho_m I}{2\pi}$ - мощность источника.

Выражение (10) можно трактовать как поле погруженного точечного источника A^* на поверхности однородного анизотропного полупространства с вертикальным падением слоистости ($\alpha = 90^0$) и коэффициентом анизотропии $\lambda = \lambda_k$. Параметр D при этом характеризует глубину погружения источника A^* относительно дневной поверхности. Поскольку выражения (3) и (10) описывают одно и то же поле, то отвечающие им геоэлектрические разрезы (при соответствующем расположении источников) являются эквивалентными (см. рис. 1).

Таким образом, из сказанного следует, что параметр D определяет глубину погружения точечного источника в некоторой эквивалентной анизотропной одноосной среде с вертикальным падением слоистости, из чего вытекают и приемы оценки этого параметра. В частности, для трассы $Y=0$ на дневной поверхности величину D можно определить по расстоянию L между экстремумами графика градиента потенциала (или точками перегиба графика потенциала), связанному с ним известным соотношением $L = D\sqrt{2}$. Другие способы оценки исходных параметров D и Q для поля точечного источника тока рассматриваются в [10]. Следует отметить, что все указанные исходные параметры (λ_k, d, D и Q) сравнительно просто определяются непосредственно по полю точечного источника на плоскости или одиночной прямолинейной трассе и в дальнейшем могут быть использованы не только для оценки параметров анизотропной среды, но и для других целей при обработке и интерпретации результатов электроразведки в анизотропных породах. В частности, выражение (10) удобно применить для учета влияния анизотропии в различных модификациях скважинной и шахтной электроразведки. Однако рассмотрение этого вопроса выходит за рамки настоящей работы, в связи с чем ограничимся лишь использованием этих данных для определения параметров одноосной анизотропной среды с учетом дополнительного исходного параметра D .

Необходимо отметить, что искомые параметры среды α и λ характеризуют сечение, проходящее через источник тока перпендикулярно простиранию слоистости, т.е. плоскость $X = 0$. В этом случае, как нетрудно видеть из (10), по графику потенциала или его градиента определяется не D , а величина $D/\lambda_k = r$. Этот параметр и используется в дальнейшем в качестве исходного (см. рис.1).

Допустим, что по наблюдаемому электрическому полю погруженного источника определены исходные параметры λ_k, d, r , связь которых с искомыми значениями α и λ определяется формулами (4), (5) и (6); кроме того, должно быть известно расстояние h от источника тока до плоскости или профиля наблюдений.

Как следует из (4) - (6), для определения α и λ достаточно взять три любых исходных параметра из имеющихся четырех - λ_k, d, r и h . Наличие одного избыточного параметра позволяет выполнить определение коэффициента анизотропии λ и угла падения слоистости α четырьмя различными независимыми способами. Рассмотрим поочередно все эти способы.

Исходные параметры: λ_k, d и h

Этот случай рассмотрен ранее как способ Бурсиана - Шейнманна. Определение параметров анизотропной среды производится здесь по формулам (8). По этим же исходным параметрам значения α и λ можно определить также оригинальным графическим способом, предложенным В.М.Сапожниковым [9].

Исходные параметры: r, d и h

Вводя для удобства $\bar{r} = \frac{r}{h}$ и $\bar{d} = \frac{d}{h}$, из (4) и (6) получаем следующие формулы для определения параметров анизотропной среды:

$$\lambda = \frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - 1}; \quad \alpha = \text{arcctg} \left(\frac{\lambda}{\lambda - r} \cdot \bar{d} \right), \quad (11)$$

где
$$p = \frac{\bar{d}^2 + \bar{r}^2 + 1}{\bar{r}}. \quad (12)$$

Исходные параметры: r , λ_k и h

Искомые параметры α и λ из (5) и (6) определяются по следующим формулам:

$$\lambda = \lambda_k^2 \cdot \bar{r}; \quad \alpha = \text{arcctg} \left\{ \lambda_k \left[\left(\lambda_k^2 \cdot \bar{r}^2 - 1 \right) / \left(\lambda_k^2 - 1 \right) \right]^{-1/2} \right\}. \quad (13)$$

Исходные параметры: r , λ_k и d

Коэффициент анизотропии и угол падения слоистости с учетом (4), (5) и (6) определяются по формулам:

$$\lambda = \lambda_k \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{r} \right)^2 \cdot \frac{1}{\lambda_k^2 - 1} \right]^{-1/2}; \quad \alpha = \text{arcctg} \left(\frac{\lambda}{\lambda_k^2 - 1} \cdot \frac{d}{r} \right). \quad (14)$$

Если анизотропная среда является одноосной, то при определении α и λ все четыре способа должны дать одинаковый результат. После исключения из (4) - (6) α и λ получается следующая формула связи между всеми четырьмя исходными параметрами:

$$\frac{h^2}{\lambda_k^2} + \frac{d^2}{\lambda_k^2 - 1} = r^2 = \frac{D^2}{\lambda_k^2}. \quad (15)$$

Выражение (15) представляет собой критерий одноосности анизотропной среды. Частным его случаем является условие однородности и изотропности среды: $\lambda_k = 1$; $d = 0$; $D = h$. При $\lambda_k = 1$ и $d = 0$, но при $D > h$ среда будет одноосной анизотропной. В случае измерений по прямолинейной одиночной трассе при $d = 0$ критерием одноосной анизотропии среды будет условие $D \neq h$.

Если наблюдаемое поле имеет характерный для анизотропных пород вид, но условие (15) не выполняется, то среда является трехосной анизотропной. Для определения параметров последней автором предложено иное аналитическое решение [1].

Из всех рассмотренных способов оценки параметров одноосной анизотропной среды наибольший интерес представляет способ " r, d, h ", поскольку он позволяет выполнить оценку анизотропии электропроводности по измерениям на одиночных прямолинейных трассах и может быть реализован в процессе наблюдений различными модификациями скважинной и шахтной электроразведки. В отличие от трех других описанных выше способов, с его помощью можно выполнять определение эффективных

параметров анизотропии электропроводности для плоскостей, проходящих через источник тока, но произвольно ориентированных относительно простирания слоистости. Кроме того, этот способ пригоден и для оценки параметров трехосной анизотропной среды в плоскостях, образованных главными направлениями тензора электропроводности. Он успешно применялся при изучении анизотропии в плоскости расланцевания крутопадающих зон рудовмещающих метасоматитов на многих колчеданных месторождениях Среднего Урала [5].

Рассмотрим применение этого способа на некоторых практических примерах.

В первом из них для определения параметров α и λ использованы результаты межскважинного варианта метода электрической корреляции (МЭК) на одном из медноколчеданных месторождений Среднего Урала. Разведочные скважины 1 и 2, показанные на рис.2,а, были пройдены в пределах мощной пачки сланцев хлоритосерицититового состава. В призабойной части обеих скважин встречено колчеданное оруденение. В скв. 1 выполнялись измерения потенциала при заземлении в скв. 2 на глубине 102 м (заземление A_1 на рис.2,а); аналогичные измерения по скважине 2 были проведены при заземлениях в скв. 1 на глубинах 162 и 227 м (заземления A_2 и A_3 соответственно). На рис. 2,а приведена корреляционная потенциальная кривая только для заземления A_1 , а для двух других показаны корреляционные оси - линии со стрелками, проведенные из точек заряда в точки экстремумов потенциала в измерительных скважинах.

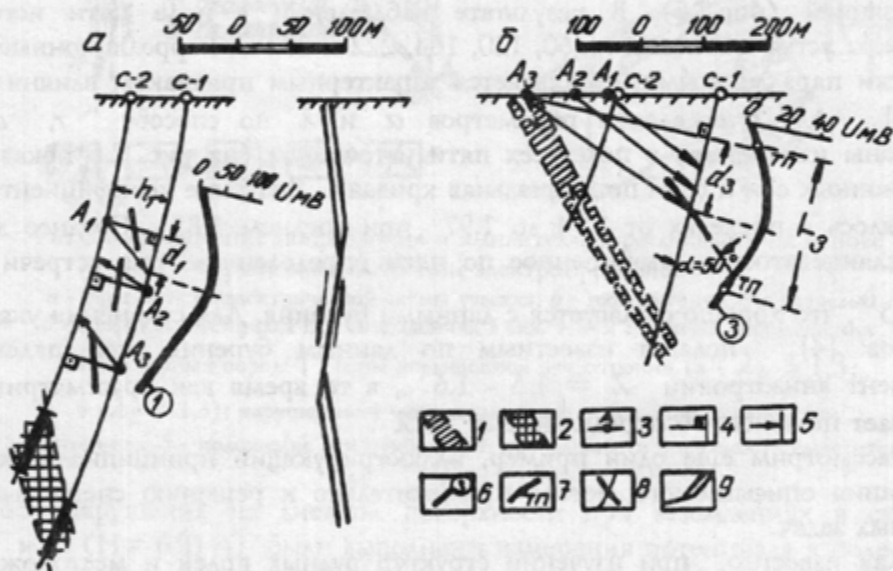


Рис.2. Определение параметров анизотропной среды по данным МЭК: а - на медноколчеданном рудопроявлении; б - на золоторудном месторождении (по А.К.Козырину и др., 1962). 1 - электропроводная зона расланцевания; 2 - колчеданная руда; 3 - токовые заземления; 4 - перпендикуляры к трассам измерений, проведенные из точек зарядов; 5 - корреляционные оси; 6 - потенциальные кривые; 7 - точки перегиба графиков потенциала; 8 - схема тектонической флексуры

При оценке параметров анизотропной среды были получены следующие данные: для заземления A_1 - $\alpha = 12^0$, $\lambda = 1.89$; для заземления A_2 - $\alpha = 12^0$, $\lambda = 1.95$; для заземления A_3 - $\alpha = 12^0$, $\lambda = 2.20$. Результаты определения параметров α и λ представлены на рис.2,а в виде отрезков, длина которых пропорциональна величине λ ;

эти отрезки построены на серединах перпендикуляров, проведенных из заземления к трассе наблюдений (с учетом угла α между осью измерительной скважины и направлением расщепления в окрестности заземления).

Рост коэффициента анизотропии с глубиной можно объяснить увеличением интенсивности расщепления по мере приближения к рудной залежи. Это согласуется с результатами изучения анизотропных образований в рудных районах [1,5], которые свидетельствуют о возрастании анизотропии пород при переходе от периферийных к внутренним частям метасоматической колонки.

По изменению угла α в межскважинном пространстве можно предполагать в интервале глубин 100 - 250 м наличие флексурного перегиба сланцевой пачки. Верхняя и нижняя части флексуры более пологие, чем центральная; к нижней, выположенной, ее части приурочено рудное подсечение. Сведения о подобных особенностях строения рудовмещающих пород могут представлять значительный интерес при поисках и разведке рудных месторождений. В частности, для рассматриваемого примера можно высказать гипотезу о том, что в пределах описываемой сланцевой зоны сбросо-сдвиговая тектоника проявилась в виде правого взбросо-сдвига (см. рис.2,а), при котором более пологие участки сланцевого разлома оказались разгруженными и благоприятными для рудоотложения.

В другом примере использованы приведенные в работе [4] результаты наблюдений поисково-картировочного варианта МЭК на одном из золоторудных месторождений Свердловской области. Геологический разрез представлен расщепленными плагиогранитами и порфиритами, вмещающими кварцевые жилы с рудной минерализацией (рис.2,б). В результате наблюдений в поле пяти источников тока, удаленных от устья скважины на 60, 120, 164, 222 и 282 м, корреляционные оси оказались практически параллельными, что является характерным признаком влияния анизотропии среды [4]. Для определения параметров α и λ по способу " r, d, h " были использованы измерения в поле всех пяти источников (на рис. 2,б показаны лишь три корреляционных оси и одна потенциальная кривая). Значение коэффициента анизотропии λ изменялось в пределах от 1.74 до 1.97 при среднем 1.85. Среднее значения угла падения сланцеватости, вычисленное по пяти определениям угла встречи α , оказалось равным 55° , что хорошо согласуется с данными бурения. Для сравнения укажем, что один из авторов [4], полагая известным по данным бурения угол падения, оценил коэффициент анизотропии $\lambda = 1.5 - 1.6$, в то время как рассматриваемый способ обеспечивает независимое определение α и λ .

Рассмотрим еще один пример, иллюстрирующий принципиальную возможность использования описываемого метода применительно к решению специфических геолого-структурных задач.

Как известно, при изучении структур рудных полей и месторождений важной проблемой является определение направления движения в плоскостях сместителей, на основании чего можно оценивать амплитуды сдвиговых перемещений. Для этой цели рекомендуется применять специальные микроструктурные исследования, предпосылкой для которых являются характерные изменения структуры и текстуры горных пород, возникающие за счет тектонических деформаций. Действие последних обуславливает ориентировку некоторых компонентов (кальцит, кварц) по внутреннему строению, характерному для тектонитов, а также ориентировку других порообразующих минералов по форме зерен [3].

Есть основания предполагать, что подобные изменения в пределах плоскости скольжения должны приводить к заметной анизотропии электропроводности в пределах этой плоскости, причем направление в ней оси наибольшей электропроводности должно, по-видимому, совпадать с линией скольжения. Последнее может служить предпосылкой для оценки направления перемещения в плоскости сместителя по результатам изучения анизотропии электропроводности в этой плоскости. Другой благоприятной предпосылкой

следует считать тот факт, что в пределах дизъюнктивных (особенно - пострудных) нарушений имеет место заметное понижение удельного сопротивления.

Так, на Калугинском участке в Свердловской области по геофизическим данным, подтвержденным буровыми работами, было установлено несколько крупных тектонических нарушений северо-восточного простирания. Одно из них, разграничивающее Пестовский и Калугинский блоки (рис.3,а), было пересечено несколькими скважинами, что позволило установить его юго-восточное падение под углом $\alpha = 60^{\circ}$. По данным электрокаротажа КС удельное сопротивление тектонической зоны в 3 - 5 ниже, чем сопротивление вмещающих пород; при документации керна в пределах зоны зафиксированы милониты.

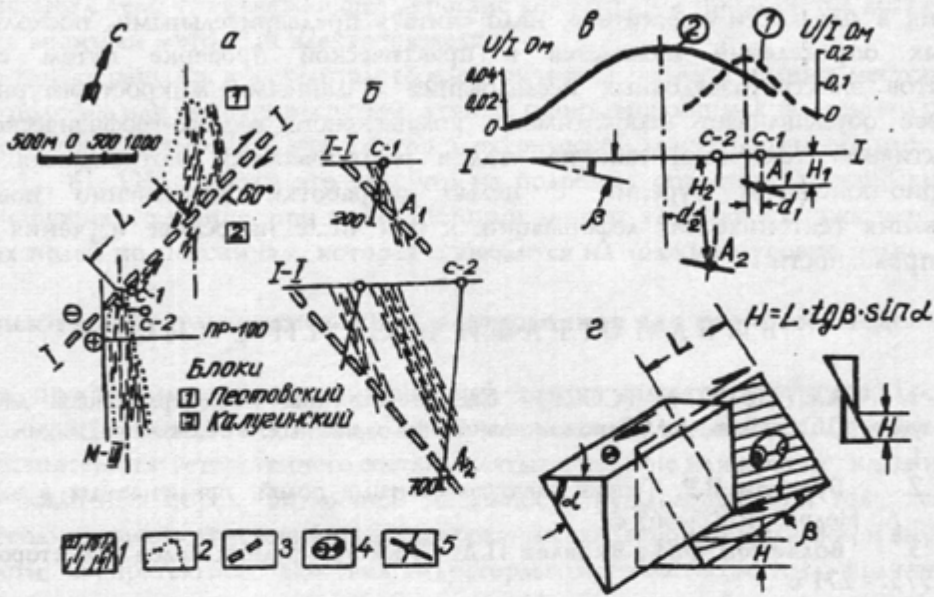


Рис.3. Определение направления и амплитуды сбросо-сдвига на основе изучения анизотропии электропроводности:

а - фрагмент геоэлектрической схемы участка; б - геоэлектрические разрезы; в - графики потенциала при заземлениях в скв. 1 и 2; г - схема перемещения

блоков горных пород: 1 - зоны повышенной анизотропии ($\lambda_k > 1,3$;

2 - $\lambda_k < 1,3$); нарушение; 4 - предполагаемое положение главной оси

S-тектонитов; 5 - положение оси наибольшей проводимости в плоскости сместителя

Вдоль оси нарушения на дневной поверхности при заземлениях в скважинах 1 ($H = 130$ м) и 2 ($H = 650$ м) были выполнены измерения потенциала в поле каждого из заземлений, а затем определены параметры анизотропной среды способом "r, d, h". Оказалось, что при заземлении в обе скважины угол β между осью наибольшей электропроводности в плоскости нарушения и его следом на дневной поверхности (рис. 3,в) составил около 12° (северо-восточное скатывание), а коэффициент анизотропии $\lambda = 1.45 - 1.75$.

На основании отмеченного выше предположения о совпадении направления оси наибольшей электропроводности в плоскости нарушения с линией скольжения оказалось возможным сделать некоторые выводы о характере перемещений блоков вдоль описываемого тектонического нарушения. В плане смещение имеет характер правого сдвига с горизонтальной амплитудой L около 1500 м (см.рис.3,а). По полученным данным вертикальная амплитуда смещения блоков была вычислена как $H = L \cdot \text{tg} \beta \cdot \sin \alpha$ и составила около 300 м (рис.3,г). Перемещение вдоль нарушения можно квалифицировать как правый взбросо-сдвиг, причем Калугинский блок, вмещающий медноколчеданное месторождение, является приподнятым, а Пестовский - опущенным.

Из этого можно заключить, что при разведке зон метасоматитов Пестовского бассейна глубина поисковых скважин была недостаточной.

Выводы

1. Предложенные в настоящей работе дополнительные способы определения параметров одноосной анизотропной среды существенно расширяют возможности электроразведки при изучении анизотропных образований, сформировавшихся в процессе тектогенеза и рудного метасоматоза.

2. Рекомендации, сделанные на основе примера по установлению направления движения в плоскости сместителя, надо считать предварительными, поскольку методика подобных определений нуждается в практической проверке путем сопоставления результатов электроразведочных исследований с данными микроструктурного анализа. Последнее обуславливает необходимость комплексного геолого-геофизического изучения дизъюнктивной тектоники как на стадии геологического картирования, так и при структурно-поисковом бурении с целью разработки качественно новых методов исследования тектонических деформаций, в том числе на основе изучения анизотропии электропроводности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 1619214 (СССР). Способ поисков гидротермальных месторождений / А.А.Редозубов, С.С.Сысков, В.М.Сапожников, П.Н.Коврижных, И.Г.Сковородников. Оpubл. в БИ, 1991, № 1.
2. Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Изд. 2-е. - Л.: Недра, 1972. - 367 с.
3. Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений. - М.: Недра, 1975. - 125 с.
4. Козырин А.К., Мунтян В.М., Тарасов А.В., Гуревич Ю.М., Брук-Левинсон С.Л. Временное руководство по методу электрической корреляции (МЭК). - Свердловск : СГИ, 1964. - 125 с.
5. Редозубов А.А., Сысков С.С. Изучение анизотропии горных пород в рудной электроразведке // Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. Екатеринбург: УГИ, 1993. - С. 163 - 171.
6. Родионов П.Ф. Электроразведка методом заряда. - М.: Наука, 1971. - 264 с.
7. Саковцев Г.П., Редозубов А.А. Методы скважинной электроразведки при поисках и разведке рудных месторождений. - М.: Недра, 1968. - 128 с.
8. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. - Л.: Недра, 1980. - 446 с.
9. Семенов М.В., Сапожников В.М., Авдевич М.М. и др. Электроразведка рудных полей методом заряда. - Л.: Недра, 1984. - 216 с.
10. Сысков С.С. Электроразведка: Учебное пособие. Часть 1. Поле точечного источника и диполя в однородной изотропной среде: - Екатеринбург: Изд-во Уральской гос. горно-геол. академии, 1995. - 73 с.
11. Шейнманн С.М. Элементы теории электроразведки анизотропных сред // Материалы ВСЕГЕИ. Сер.: Геофизика, 9 -10. - М.-Л.: Госгеоиздат, 1941. - С. 105 - 144.