

РАЗВЕДОЧНАЯ ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

А. А. Редозубов, С. С. Сысков

ИЗУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД
В РУДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

Анизотропия горных пород и ее геологическая природа

Многие горные породы обладают анизотропией электромагнитных свойств — удельного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, магнитной проницаемости. В кондуктивной электроразведке значение имеют удельное сопротивление ρ и поляризуемость η . В статье излагаются результаты изучения анизотропии этих параметров, полученные на кафедре рудной геофизики Уральского горного института в последние годы.

В качестве модели анизотропной горной породы можно использовать слоистую среду или среду с эллипсоидальными включениями. Слоистая модель была предложена еще В. Р. Бурсианом и С. М. Шейнманном [7] и хорошо известна. Этой моделью могут быть описаны горные породы, представленные переслаивающимися маломощными прослойками, рассланцованные породы, зоны трещиноватости, если трещины имеют одинаковую ориентировку. Удельное сопротивление по направлению слоистости называют продольным (ρ_t), а по нормали к слоистости — поперечным (ρ_n). Часто используется среднее квадратичное удельное сопротивление $\rho_m = \sqrt{\rho_n \cdot \rho_t}$. Для характеристики степени проявления анизотропии используется коэффициент анизотропии $\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_t}$. Так как всегда $\rho_n \geq \rho_t$, коэффициент анизотропии $\lambda \geq 1$. Аналогично, если прослойки имеют различную поляризуемость, оказываются различными продольная поляризуемость η_t по направлению слоистости и поперечная поляризуемость η_n по нормали к слоистости. В отличие от анизотропии удельного сопротивления, когда всегда $\rho_n > \rho_t$, при анизотропии поляризуемости соотношение между η_n и η_t может быть любым [2, 3].

Для характеристики анизотропии поляризуемости можно использовать параметр, аналогичный коэффициенту анизотропии, характеризующему анизотропию удельного сопротивления, вычисляя величину $\lambda_{\text{вп}} = \sqrt{\eta_n / \eta_t}$. В отличие от λ , $\lambda_{\text{вп}}$ не имеет четкой связи с поведением электрического поля и не входит в уравнения, описывающие это поле. Нам представляется удобным характеризовать анизотропию поляризуемости параметром $\Lambda_{\text{вп}} = (\eta_t - \eta_n) / (\eta_t + \eta_n)$ [2]. Модуль этого параметра определяет относительное различие η_t и η_n в долях среднего

значения η , а его знак указывает тип анизотропии поляризуемости: при η_t больше η_n $\Delta_{\text{вп}}$ положителен; при обратном соотношении поляризуемостей — отрицателен.

Рассмотренная модель одноосной анизотропной среды (существует только одна особая ось, ориентированная нормально к слоистости) является частным случаем. Общим случаем является трехосная анизотропная среда. Такая среда получится, если рассмотренную выше слоистую модель рассечь системой трещин, пересекающих слоистость. Тогда в плоскости слоистости появится зависимость электрических параметров от направления, в котором они измеряются. Так, если трещины заполнены влагой, по направлению трещин, очевидно, удельное сопротивление имеет минимальное значение, как в плоскости слоистости, так и по отношению к его значениям по любым другим направлениям. Это значение соответствует продольному удельному сопротивлению. В плоскости слоистости по направлению вкрест трещин удельное сопротивление (обозначим его ρ_{tn}) имеет промежуточное значение между ρ_n и ρ_t и является третьим главным значением тензора удельного сопротивления. Для характеристики степени анизотропии в плоскости слоистости удобно использовать аналогичную λ величину $\lambda_t = \sqrt{\rho_{tn}/\rho_t}$, которую можно назвать коэффициентом анизотропии в плоскости слоистости [4]. Для характеристики анизотропии поляризуемости в плоскости слоистости следует использовать параметр $\Delta_{\text{вп}_t} = (\eta_t - \eta_{tn})/(\eta_t + \eta_{tn})$.

Авторами доказано широкое распространение в природе трехосных анизотропных сред [5]. Ранее их реальность не признавалась. Так, С. М. Шейнманн в своей основополагающей работе по электроразведке анизотропных сред [7], признавая мыслимость трехосных сред как комбинации из нескольких одноосных, отказывается от рассмотрения таких случаев, заявляя, что «...они не кажутся нам практически интересными».

В рудных районах широко распространены горные породы, содержащие включения, отличающиеся по своим электрическим свойствам. Такими включениями могут быть скопления рудной вкрапленности, участки, отличающиеся характером и степенью гидротермальной проработки и т. п. Еще А. Н. Заварицкий отмечал, что для колчеданных месторождений Урала характерно линзовидное строение геологической среды на всех уровнях от отдельного образца до месторождения в целом. Эти включения ориентированы в соответствии с общей структурой участка, то есть упорядоченно, что приводит к появлению анизотропии. Такие горные породы можно аппроксимировать средой, содержащей эллипсоидальные включения, теория электропроводности которой была достаточно хорошо разработана И. К. Овчинниковым. Основываясь на этой теории, не составляет труда перейти к поляризуемости подобных сред [2].

Главные оси тензоров электрических параметров в среде с упорядоченно ориентированными эллипсоидальными включениями ориентированы по направлению осей включений. Чтобы не усложнять терминологию, в дальнейшем при описании таких образований будем условно называть плоскостью слоистости плоскость, в которой расположены большая и средняя оси включений. Для коэффициента анизотропии в этой плоскости сохраним название коэффициент анизотропии в плоскости слоистости λ_t .

Возможные прикладные аспекты изучения анизотропии горных пород

Анализ геологической природы анизотропии горных пород позволяет оценить возможности использования ее в электроразведке и определить круг решаемых при ее изучении задач. При геологическом картировании изучение анизотропии электропроводности может быть использовано для картирования горных пород, различающихся по величине λ , в том числе и не дифференцированных по удельному сопротивлению. Объектами такого картирования могут быть зоны расщелачивания, зоны трещиноватости, ритмично-слоистые пачки и т. д. Принципиальным отличием картирования по параметру λ является возможность определения в каждой точке направления простираения слоистости, что позволяет при площадной съемке получать надежную информацию о структуре анизотропных зон в плане. При этом увязка результатов наблюдений по соседним профилям, как правило, не вызывает затруднений даже при относительно большом расстоянии между профилями. По результатам изучения других параметров в условиях сложного геологического строения такая увязка часто бывает неоднозначной даже при густой сети наблюдений.

Для картирования анизотропных горных пород могут применяться различные способы. Еще К. Шлюмберже указывал на возможность разделения горных пород с различным коэффициентом анизотропии по форме изолиний потенциала в поле точечного источника. Такие работы, по-видимому, впервые были проведены для картирования рудовмещающих кварцево-хлористо-серицитовых сланцев в Кировградском районе Г. П. Саковцевым и одним из авторов. Полученные результаты показали достаточную эффективность методики для решения этой задачи, однако при производственных работах такой способ едва ли применим из-за высокой трудоемкости. Значительно более технологичный способ кругового профилирования, успешно апробированный С. М. Шейнманом в условиях Кузбасса [7], в сложной геоэлектрической обстановке уральских колчеданных месторождений оказался совершенно неприемлемым из-за чрезвычайно сильного искажающего влияния дифференциации горных пород по удельному сопротивлению. Наиболее подходящим в таких условиях оказался способ крестообразной установки, чувствительность которого к неоднородностям среды по удельному сопротивлению сопоставима со способом прослеживания изолиний потенциала, а производительность существенно выше [6].

Если на участке есть скважины, возможно объемное изучение анизотропии, в результате которого определяются коэффициенты анизотропии λ и λ_1 и ориентировка осей тензора удельного сопротивления в пространстве, определяющая элементы залегания анизотропных горных пород. Эта информация может использоваться для решения ряда геологических задач. Как показывают расчеты, наличие нескольких систем трещин может привести к появлению анизотропии в плоскости слоистости с λ_1 максимум до 1,2—1,3. Более высокие значения λ_1 могут появиться только при наличии в горной породе неизометрических упорядоченно ориентированных включений, например, скоплений рудной вкрапленности [4]. Следовательно, аномально высокие значения λ_1 можно рассматривать как дополнительный критерий при оценке потенциальной рудоносности участка. Ориентировка скоплений вкрапленности или линз, отличающихся по характеру и степени гидротермальной проработки, по-видимому, отражает пути движения флюидов. Поэтому результаты определения ориентировки осей тензора удельного сопротивления в пространстве можно использовать для изучения структурных особенностей рудных полей в процессе поисков и разведки

месторождений [1, 5]. Для объемного изучения анизотропии могут быть использованы результаты метода заряда в безрудные скважины либо специальные измерения. Существенно отметить, что при таких исследованиях удается получить эффективную характеристику крупных блоков породы объемом в десятки миллионов куб. м и более.

Изучение анизотропии поляризуемости открывает интересные возможности для оценки перспективности площадей и классификации аномалий метода вызванной поляризации. Известно, что если поляризующийся материал распределен в горной породе равномерно, то независимо от наличия или отсутствия анизотропии электропроводности, по поляризуемости эта среда изотропна. Такое распределение рудного материала характерно для зон рассеянной вкрапленности, нередко вызывающих аномалии η_n , но не представляющих интереса с точки зрения рудоносности. Анизотропия поляризуемости появляется только в том случае, когда более интенсивная минерализация избирательно приурочена к более проводящим либо к более высокоомным компонентам горной породы. При этом, в зависимости от распределения рудной вкрапленности, наблюдаются разные типы анизотропии поляризуемости. В первом случае η_t больше η_n и $\Delta_{\text{вп}}$ положителен, во втором — η_t меньше η_n и $\Delta_{\text{вп}}$ отрицателен. Очевидно, при поисках месторождений различных типов критерии оценки перспективности аномалий вызванной поляризации могут быть разными. Например, на колчеданных месторождениях Среднего Урала вдали от рудных тел, где процессы концентрации рудного вещества проявились слабо, вкрапленность пирита тяготеет к наиболее окварцованным, то есть плохо проводящим компонентам. На таких участках, мало перспективных на оруденение, наблюдается тип анизотропии, при котором $\Delta_{\text{вп}}$ меньше нуля. Вблизи рудных тел во вмещающих породах обычно наблюдаются мелкие линзочки и прожилки убогой сульфидной вкрапленности, обладающие повышенной поляризуемостью и пониженным удельным сопротивлением. В этом случае наблюдается тип анизотропии, характеризующийся положительным $\Delta_{\text{вп}}$. Появление такого типа анизотропии может быть использовано в качестве критерия перспективности аномалии метода вызванной поляризации.

Для измерения анизотропии поляризуемости могут применяться установки различных типов. Наиболее удобной оказалась квадратная установка [2], применявшаяся ее автором для изучения сред, анизотропных по электропроводности [8]. При объемном изучении анизотропии поляризуемости принципиально возможна оценка содержания рудной вкрапленности в изучаемом блоке и геометрических параметров включений (соотношения осей эквивалентных эллипсоидов).

Другим аспектом рассматриваемого вопроса является влияние анизотропии на результаты наблюдений различными методами электроразведки. При интенсивном проявлении этого влияния могут наблюдаться существенные искажения результатов метода сопротивлений, потенциальных методов и метода вызванной поляризации. В таких случаях неучет этого фактора может привести к ошибочным выводам при интерпретации.

Результаты изучения анизотропии горных пород на Поварненско-Чусовском рудном поле

В геологическом отношении участок слагается различного состава порфиритами и их туфами, протягивающимися узкой полосой в меридиональном направлении от Поварненского рудопроявления на севере до Чусовского месторождения на юге. Среди них развиты сланцы кварцево-хлорито-серицитового состава, являющиеся непосредственно рудо-

вмещающими. Оруденение представлено небольшими линзами колчеданных руд, круто падающими на восток согласно с зонами расланцевания. С запада и востока рудовмещающая толща ограничена массивами серпентинитов. Вблизи восточного контакта с серпентинитами развиты узкие полоски углисто-кварцевых сланцев (рис. 1а). Все горные породы в той или иной мере расланцованы. По геофизическим

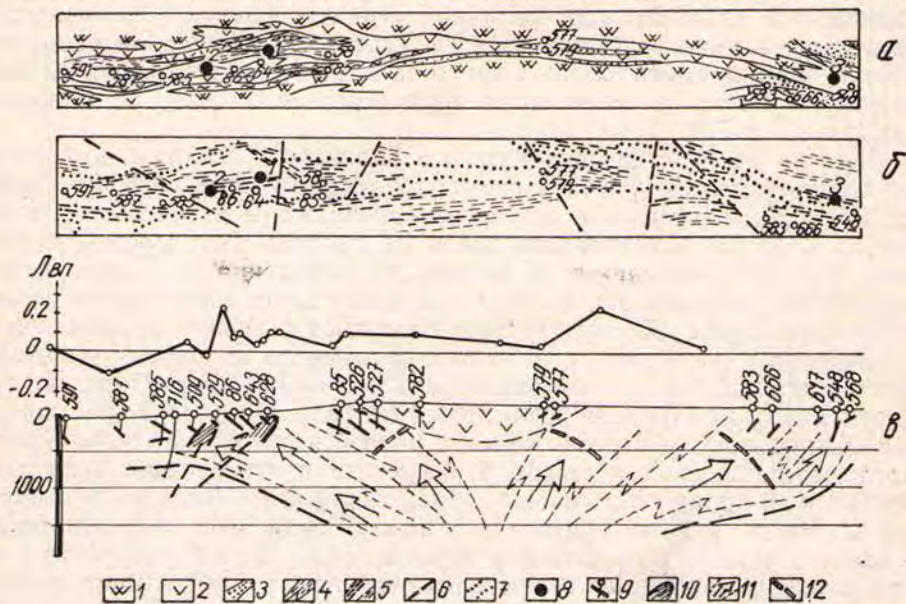


Рис. 1. Результаты изучения анизотропии горных пород на Поварненско-Чусовском рудном поле:

а — схематизированная геологическая карта (по С. А. Костромкину, В. П. Хренову, О. Н. Юрпалову и др.); б — схема расположения зон повышенной анизотропии; в — график $\Delta\lambda$ и предполагаемый продольный разрез рудного поля.

1 — серпентиниты; 2 — порфириты различного состава; 3 — туффиты и туффопесчаники; 4 — сланцы кварцево-хлорито-серпентинитового состава; 5 — зоны повышенной анизотропии (короткие штрихи — $\lambda = 1,3-1,6$, длинные штрихи — λ_k больше 1,6, длинные штрихи с точкой — λ_k больше 2,5); 6 — тектонические нарушения, выделяющиеся по результатам картирования анизотропных пород; 7 — область низких значений магнитного поля, соответствующая рудовмещающей толще; 8 — месторождения и рудопроявления (1 — Чусовское, 2 — Южно-Чусовское, 3 — Поварненское); 9 — ориентировка осей наибольшей электропроводности (длины отрезков пропорциональны λ_k); 10 — обобщенные проекции рудных тел; 11 — предполагаемое положение путей движения флюидов; 12 — участки возможного рудоотложения

данном рудовмещающая толща хорошо картируется пониженными значениями магнитного поля (рис. 1, б).

В пределах всей полосы было выполнено картирование анизотропных пород с крестообразной установкой [6] размером 50 м. Полученные результаты в виде геоэлектрической схемы показаны на рис. 1, б. На схеме выделены зоны повышенной анизотропии, разделенные по величине кажущегося коэффициента анизотропии λ_k на три группы. При этом ориентировка штрихов соответствует направлению простирания сланцеватости в соответствующих точках. Зоны с λ_k больше 1,6 соответствуют типичным сланцам. Штрихами с точкой выделены зоны, характеризующиеся очень высокими значениями λ_k , превышающими 2,5. Они картируют полосы углистых сланцев. Значениям λ_k от 1,3 до 1,6 соответствуют сильно расланцованные порфириты и некоторые сланцы.

Из геоэлектрической схемы следует, что участок имеет сложное блоковое строение. По тупым выклиниваниям, смещениям зон повышенной анизотропии, по появлению локальных секущих зон выделяется несколько нарушений, являющихся границами блоков. Часть

этих нарушений подтверждается результатами магниторазведки, некоторые установлены геологическими методами. В пределах каждого блока зоны рассланцевания также имеют сложное строение, часто разделяясь на параллельные зонки, образуя изгибы. Так, по результатам картирования отчетливо устанавливается, что Чусовское месторождение и Южно-Чусовское оруденение располагаются в разных зонах рассланцевания, сливающихся лишь на северном фланге. Описываемые результаты позволяют также сделать вывод, что в северной половине участка сланцы имеют более широкое развитие, чем показано на геологической карте, и появляются непосредственно севернее профиля скважин 577 и 579.

Наличие на участке значительного количества скважин позволило достаточно детально изучить структуру рудного поля способом, описанным в [1]. Полученные результаты изображены на рис. 1, в в виде осей наибольшей электропроводности на продольном разрезе рудного поля. Эти оси, отнесенные к точкам расположения источника поля, показывают направления, по которым среда имеет наименьшее удельное сопротивление. Длины отрезков отражают величину коэффициента анизотропии в плоскости слоистости λ_l . Как видно из рисунка, в южной части участка все оси закономерно наклонены на север. Полагая, что их ориентировка отражает пути движения гидротермальных растворов, был сделан вывод о расположении корневой части рудной зоны Чусовского месторождения к северу от него, что противоречило существовавшим в то время геологическим представлениям. Последующее бурение глубоких скважин подтвердило вывод, сделанный по результатам объемного изучения анизотропии горных пород. В северной части участка наблюдается южное скатывание осей наибольшей электропроводности, указывающее на расположение корневой части Поварненского рудопроявления в этом направлении. Полученная картина позволяет предполагать, что Чусовское месторождение и Поварненское рудопроявление представляют собой ветви единого рудного поля с корневой частью несколько южнее профиля скважин 577 и 579. Отсюда следует вывод о вероятной рудоперспективности средней части участка, частично перекрытой порфиритами.

Рассмотрим несколько подробнее результаты объемного изучения анизотропии на участке Чусовского месторождения. Над южной, погруженной частью рудного тела Чусовского месторождения наблюдаются высокие значения λ_l . При наземной съемке здесь отмечены весьма высокие значения λ_n . Повышение анизотропии горных пород в этой части можно объяснить прорывом отдельных струй флюидов через барьер, перед которым происходило рудоотложение. Это привело к образованию в среде сильно вытянутых («трубчатых») включений, которые и обусловили весьма высокую анизотропию. Совершенно аналогичная картина наблюдается несколько южнее при измерениях с заземлениями в скважине 585. Ориентировка осей наибольшей электропроводности и величина значений λ_l в этой части участка оказались примерно такими же, что и при измерениях в скважинах 86 и 643 над погруженной частью Чусовского месторождения. Результаты объемного изучения анизотропии в районе скважины 585 послужили основанием для проведения поисковых геофизических и геологоразведочных работ, завершившихся открытием Южно-Чусовского оруденения.

Очень высокие значения λ_l наблюдаются на северном фланге Чусовского месторождения, отделенном от самого месторождения тектоническим нарушением. В пробуренных здесь скважинах встречена довольно обильная вкрапленность пирита, иногда переходящая в мало-мощные линзы прожилково-вкрапленных руд. Не исключено, что на большей глубине здесь может располагаться и более значительное

оруденение. Однако нельзя исключить и альтернативный вариант, согласно которому этот блок приподнят и к поверхности земли выходит подрудная часть зоны.

В связи с широким развитием сульфидной вкрапленности на значительной части площади наблюдаются аномальные значения кажущейся поляризуемости η_k по результатам площадной съемки по методу вызванной поляризации. При этом на некоторых заведомо безрудных

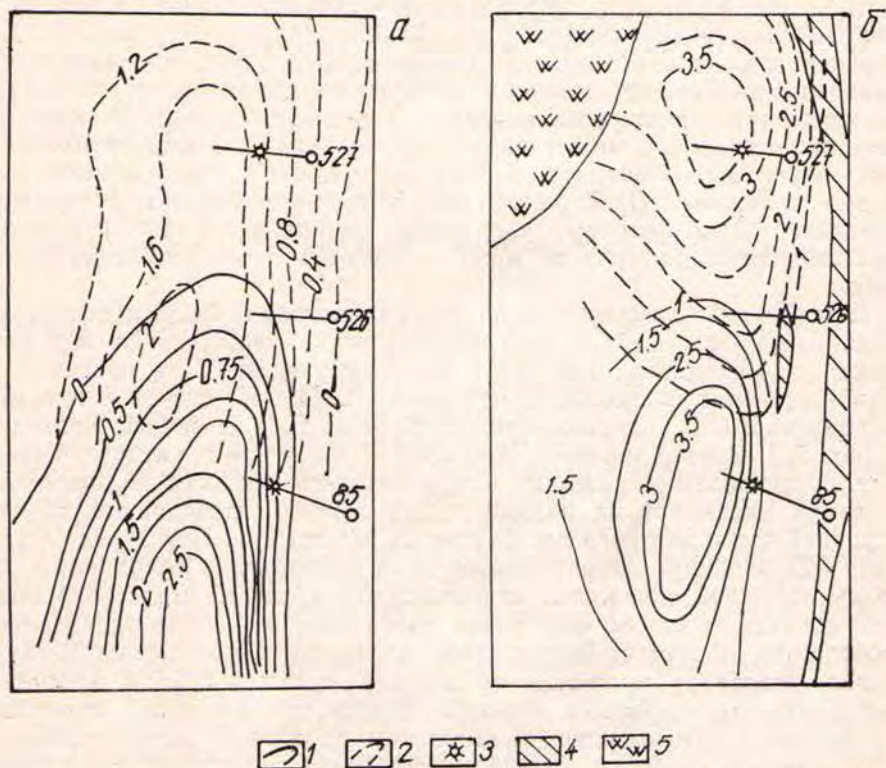


Рис. 2. Пример влияния анизотропии на результаты метода заряда (северный фланг Чусовского месторождения).

а — изолинии потенциала наблюдаемого поля (по С. А. Костромкину); *б* — изолинии потенциала поля, исправленного за влияние анизотропии.

1 — изолинии потенциала при заряде в скважину 85; 2 — то же, при заряде в скважину 527; 3 — проекции заземлений на дневную поверхность; 4 — углисто-кварцевые сланцы; 5 — серпентиниты

участках значения η_k даже выше, чем над месторождением. Существенную помощь в классификации аномалий метода вызванной поляризации может оказать изучение анизотропии поляризуемости. Как следует из рис. 1, *б*, над Чусовским месторождением и Южно-Чусовским оруденением наблюдаются устойчивые повышенные положительные значения $\Delta_{вп}$. К югу от оруденения коэффициент $\Delta_{вп}$ отрицателен либо близок к нулю. $\Delta_{вп}$ понижается почти до нуля и к северу от месторождения, после чего вновь несколько повышается, а затем снова постепенно понижается.

Резкое повышение $\Delta_{вп}$ наблюдается к северу от профиля скважин 579 и 577, после чего он снова понижается почти до нуля. При картировании в пределах этого блока выявлена зона повышенной анизотропии. Полученные результаты позволяют предполагать, что здесь развиты рудовмещающие сланцы, содержащие скопления рудной вкрапленности. Поэтому участок следует рассматривать как перспективный на оруденение.

Высокая анизотропия горных пород приводит к интенсивному ее влиянию на результаты электроразведочных методов. На рис. 2, а приведены результаты метода заряда на северном фланге Чусовского месторождения.

При заряде в маломощное рудное подсечение скважины 85 эпицентр поля смещается на юг, что позволяет сделать вывод о распространении оруденения в этом направлении и о приближении его здесь к поверхности земли. Аномалия, наблюдающаяся непосредственно к северу от профиля скважины, указывает на наличие здесь незаряженного хорошо проводящего объекта. В скважине 527 заряд располагался в кварцево-серицитовых сланцах с сульфидной вкрапленностью. Смещение эпицентра в южном направлении и сильная вытянутость изолиний потенциала к северу может указывать на наличие здесь крупного хорошо проводящего объекта, близко подходящего к заземлению в зарядной скважине. Пробуренная же в области эпицентра скважина встретила только кварцево-серицитовые сланцы с небольшой пиритной вкрапленностью, которая не может объяснить столь интенсивную аномалию.

Для введения поправки за влияние анизотропии были использованы средние значения λ , λ_i и элементов залегания, полученные при измерениях в нескольких скважинах на этом участке. При введении поправки применялся принцип, описанный в [4]. Изолинии потенциала, исправленного за влияние трехосной анизотропии среды, приведены на рис. 2, б. В поле заряда в скважину 85 эпицентр практически совпадает с профилем скважины. Сохранившаяся высокая эллиптичность изолиний указывает на наличие здесь хорошо проводящего объекта, в средней части которого располагается заземление. При заряде в скважину 527 эпицентр исправленного поля практически совпадает с профилем зарядной скважины, эллиптичность изолиний мала. Это позволяет сделать вывод об отсутствии здесь сколько-нибудь значительных проводящих объектов. Вытягивание изолиний в южном направлении можно объяснить влиянием оруденения скважины 85 и небольшой линзы углисто-кварцевых сланцев. Искажение изолиний потенциала в западной части вызвано, по-видимому, развитыми здесь серпентинитами, имеющими более низкий коэффициент анизотропии и высокую электропроводность. «Сплющивание» изолиний обоих зарядов в восточной части объясняется полосой углисто-кварцевых сланцев, обладающих очень высокой анизотропией и электропроводностью.

Таким образом, результаты изучения анизотропии горных пород на Чусовском участке указывают на возможность и целесообразность таких исследований для решения целого ряда геологических задач. В то же время, поскольку анизотропия оказывает существенное влияние на результаты электроразведочных методов, необходимо производить ее оценку и в случае необходимости учитывать при интерпретации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1619214 (СССР). Способ поисков гидротермальных рудных месторождений / А. А. Редозубов, С. С. Сысков, В. М. Сапожников, П. Н. Коврижных, И. Г. Сквородников. Оpubл. В БИ. 1991. № 1.

2. Коврижных П. Н., Редозубов А. А., Сысков С. С. Использование анизотропии поляризуемости для классификации аномалий метода вызванной поляризации // Электрометрические исследования на рудных месторождениях / Ин-т геофизики УрО АН СССР.— Свердловск, 1988.— С. 18—19.— Рукопись деп. в ВИНТИ 18.01.88. № 387—В—88.

3. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. 2-е изд., перераб. и доп.— Л.: Недра, 1980.—391 с.

4. Редозубов А. А. К вопросу применения электроразведки в анизотропных породах // Вопросы рудной геофизики: Труды Свердл. горного ин-та, вып. 105.— Свердловск, 1973.— С. 18—32.

5. Редозубов А. А., Сысков С. С. Использование анизотропии электропроводности при изучении рудных полей колчеданных месторождений // Геология метаморфических комплексов Урала, вып. 127.— Свердловск: изд. УПИ, 1976.— С. 106—111.

6. Редозубов А. А., Сысков С. С. Методическое руководство по картированию анизотропных пород электроразведкой / Свердлов. горный ин-т.— Свердловск, 1989.— 101 с.— Рукопись деп. в ВИНТИ 15.03.89, № 272—В 89.

7. Шейнманн С. М. Элементы теории электроразведки анизотропных сред // Мат-лы ВСЕГЕИ, Геофизика, 9—10.— М.— Л.: Госгеолыздат, 1941.— С. 105—114.

8. Habberjam G. M. The effects anisotropy on square array resistivity measurements // Geophysical prospecting, vol. 20, 1972, p. 2, pp. 247—269.

УДК 550.837

А. К. Козырин, А. И. Минцев

КАРОТАЖ РУДНЫХ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛОННЫ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Полноценные поиски и разведка бурением месторождений полезных ископаемых, в частности, медноколчеданных и полиметаллических руд, возможны только с применением геофизических исследований скважин (ГИС) и скважинной геофизики. Основной составной частью ГИС является каротаж — совокупность геофизических методов геологического документирования разрезов скважин, тогда как скважинная геофизика предназначена для исследования околоствольных, междуствольных и подзобойных пространств скважин. Для решения задач каротажа применяют соответствующие комплексы методов. В случае рудных месторождений минимальный комплекс состоит из каротажа по методу сопротивлений и метода электродных потенциалов — МЭП или естественного поля — ПС.

При проведении геофизических исследований в скважинах или с использованием скважин, как, например, в методе заряда — МЗ, зонды, электроды и приборы опускают в скважины и перемещают в них при помощи геофизических кабелей — КГ. В практике эта операция не так уж редко становится невозможной вследствие обрушения стенок скважины или сильного выколачивания ее ствола, вплоть до отрицательной кривизны. В таких случаях проникнуть в скважину возможно только с помощью колонны бурильных труб. Однако разработанные к настоящему времени способы каротажа на бурильных трубах предназначены лишь для исследования скважин турбинного и роторного бурения в процессе их проводки [9]. При этом беспроводный способ и система с хранением информации в автономном скважинном приборе требуют применения весьма сложной аппаратуры.

Поэтому несколько лет тому назад трест «Уралцветметразведка», на некоторых поисковых и разведочных участках которого сложилась аналогичная описанной ситуация, обратился к кафедре рудной геофизики УГИ с предложением разработать в минимальные сроки максимально простой способ производства каротажа по методу сопротивлений, а также метода заряда [4] для производства исследований в этих технологически сложных условиях. Впоследствии каротаж по методу сопротивлений, для краткости обозначенный КС КБТ [5], был дополнен до минимального комплекса по просьбе того же треста методом электродных потенциалов на бурильных трубах — МЭП КБТ.

Метод КС КБТ был разработан в четырех вариантах, которые далее обозначаются упомянутой аббревиатурой с указанием номера варианта. В КБТ-1 и КБТ-2 по вольт-амперной схеме измеряется сопротивление R_L колонны бурильных труб, находящейся в буровом рас-