УДК 553.078.2:553.411 (470.22):550.379:550.837.31

ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ «НОВЫЕ ПЕСКИ»: РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СДВИГОВЫЕ ДИСЛОКАЦИИ И ИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

А. М. Ручьев, М. Ю. Нилов

Институт геологии Карельского научного центра РАН

Приводятся новые сведения об особенностях строения, формирования и поисковых признаках рудоконтролирующих структур золото-сульфидного проявления «Новые Пески» (Ведлозерско-Сегозерский архейский зеленокаменный пояс, Шотозерский участок). В качестве этих структур выделены локализующие сульфидную минерализацию разномасштабные пространственно дискретные, на некоторых участках исследованной площади сближенные (эшелонированные) крутопадающие зоны сдвиговых дислокаций северо-восточного и, главным образом, субмеридионального простирания. Геофизические исследования, выполненные на площади золоторудного проявления, свидетельствуют о применимости и целесообразности методики электротомографии сопротивления и вызванной поляризации для выявления рудоконтролирующих структур в коренных породах, перекрытых толщей четвертичных отложений.

Ключевые слова: золото, рудоконтролирующие сдвиговые зоны, структурнопарагенетический анализ, электротомография.

A. M. Ruch'yov, M. Yu. Nilov. NOVYE PESKI GOLD-SULPHIDE OCCUR-RENCE: ORE-CONTROLLING SHEAR DISPLACEMENTS AND THEIR GEOPHYSICAL TRAITS

New data on the structure, formation and prospecting signs of the ore-controlling structures of the Novye Peski gold-sulphide occurrence (Archean Vedlozero-Segozero greenstone belt, Shotozero prospect) are reported. Spatially discrete NE- and dominantly near-N-S-trending steeply dipping shear zones of varying size, closely-spaced (echelon-like) in some parts of the study area, are identified as these structures. Sulphide mineralization is emplaced in these zones. The geophysical study of the gold occurrence shows that the resistance electrotomography and induced polarization methods can and should be used to reveal ore-controlling structures in bedrock covered by Quaternary deposits. The method tested can be employed to reveal shear zones by local low-resistance anomalies triggered by the elevated fracturing and inundation of rocks in intense deformation zones; to draw conclusions on the occurrence of ore components in the zones on the basis of analysis of the induced polarization parameter distribution; and to geometrize a geophysically anomalous prospect by interpreting geoelectrical sections.

K e y w o r d s: Gold, ore-controlling shear zones, structural-paragenetic analysis, electrotomography.

90

Введение

Сдвиговая по своей физической сущности деформация горных пород является одним из главных механизмов тектонического структурообразования и в то же время фактором локализации процессов минерагенеза, приводящим, в частности, к концентрированию рудных компонентов в соответствующих тектонических структурах. По этой причине зоны сдвиговых дислокаций (сдвиговые зоны) рассматриваются в качестве наиболее важного типа деформационных рудоконтролирующих структур, универсального для разнообразных месторождений и проявлений полезных ископаемых. Определение особенностей строения, закономерностей формирования, идентификационных признаков рудоконтролирующих сдвиговых зон и систематизация информации о них актуальное направление металлогенических исследований, а в прикладном отношении неизбежная задача, правильное решение которой способствует успеху поисково-разведочных работ на каждом геологическом объекте.

Новые сведения о специфике рудоконтролирующих сдвиговых дислокаций и способе обнаружения их геофизическими методами, излагаемые далее, получены в результате изучения золоторудного проявления «Новые Пески» и могут быть применены при дальнейших работах на этом и аналогичных объектах.

Сведения о рудопроявлении

Золото-сульфидное проявление «Новые Пес-КИ» выявлено специалистами Карельской геологической экспедиции ПГО «Севзапгеология» [Сиваев, Горошко, 1988] на северном побережье Шотозера, в двух с половиной километрах запад-северо-западнее одноименных железнодорожной станции и поселка в Пряжинском административном районе Республики Карелия. В геологическом отношении такое местоположение соответствует южной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса и площади в его пределах, наименее детально изученной из-за слабой обнаженности коренных пород.

Согласно первоисточнику информации [Сиваев, Горошко, 1988], золоторудный объект локализован в лопийских супракрустальных образованиях шотозерской толщи, которые выполняют обрамленную архейскими гранитоидами автономную Улялегскую субмеридиональную троговую структуру (протяженность – около 19 км, ширина – 1–3,5 км), ограниченную продольными разломами и «срезаемую» на юге протерозойским массивом гранитов рапакиви.

Шотозерская толща в окрестностях поселка Новые Пески имеет следующие особенности. К нижней подтолще (мощность около 200 м) относятся биотитовые, амфибол-биотитовые, сульфидизированные графитсодержащие биотит-мусковитовые, а также андалузит-мусковитовые гнейсы и сланцы; к средней подтолще (мощность 100-110 м) - гранатовые, плагиоклазовые, эпидот-скаполитовые амфиболиты, тремолитовые (разновидности содержат в разных сочетаниях и пропорциях магнетит, тальк, кальцит, хлорит), магнетит-грюнерит-кварцевые сланцы; к верхней подтолще (мощность не менее 30 м) - графит-, сульфидосодержащие мусковитовые и двуслюдяные сланцы с пиритпирротиновыми рудными прослоями.

В районе золоторудного проявления выделены интрузивные образования: метаперидотиты и метагабброиды архейского силловодайкового комплекса Кайноойя; нормальные (гранит-порфиры, плагиопорфиры первой фазы внедрения), субщелочные (турмалиновые граниты второй фазы внедрения) лейкограниты и пегматиты позднеархейского, возможно, протерозойского посторогенного комплекса Виртаойя; протерозойские граниты рапакиви Улялегского подкомплекса (рис. 1).

С формированием малых интрузий комплекса Виртаойя связывалось развитие метасоматитов. С первой фазой внедрения синхронизировалась пропилитизация, лиственитизация и березитизация пород; со второй – образование калишпатовых метасоматитов, альбититов и скарноидов [Сиваев, Горошко, 1988].

В результате поисковых работ на участке, сложенном амфиболитами средней шотозерской подтолщи, было выявлено и опробовано три пункта золото-сульфидной минерализации в жильных актинолит-хлорит-кварц-эпидотовых метасоматитах: «расчистка № 61» (содержание золота' 11,8 г/т в интервале 0,3 м), «канава 189» (содержание золота 7,0 г/т в интервале 0,4 м), «обнажение № 4493» (содержание золота 3,9 г/т в интервале 1 м). Геофизические исследования методом заряженного тела позволили с учетом дисперсии показателя ρ_{κ} оконтурить аномальную площадь 180×500 м с серией субпараллельных субмеридиональных электроосей, одна из которых совпадала со створом ССВ ≈ 10° «расчистки № 61» и «канавы 189», расположенных в 45 м друг от друга. Были сделаны выводы о принадлежности соответствующих пунктов минерализации к единой рудной зоне и о потенциальной рудоносности оконтуренной территории. Однако опробование заверочных канав, расчисток и обнажений не дало дополнительных фак-

¹ Здесь и далее – данные пробирного анализа.

91



Рис. 1. Геологическая схема района золоторудного проявления «Новые Пески» (по [Сиваев, Горошко, 1988] с изменениями):

1 – гранито-гнейсы и мигматит-граниты сямозерского комплекса; подтолщи шотозерской толщи: 2 – нижняя;
 3 – средняя; 4 – верхняя; интрузивные тела кайноойского комплекса: 5 – метаперидотит; 6 – метагаббро; интрузивные тела виртаойского комплекса: 7 – лейкогранит-порфиры первой фазы внедрения; 8 – турмалиновые лейкограниты второй фазы внедрения; 9 – микроклин-плагиоклазовые пегматиты; 10 – граниты рапакиви улялегского подкомплекса; 11 – дизъюнктивные тектонические нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 12 – местоположение золоторудного проявления; 13 – линия геоэлектрического разреза (цифрами обозначены номера пикетов) и контур участка структурных исследований (прямоугольник)

тических данных, подтверждающих обусловленность осей зоны проводимости и точек повышенного потенциала наличием золото-сульфидной минерализации, что объяснялось предположительно пологим и «слепым» залеганием рудных зон. Участок был оценен как перспективный и рекомендован для дальнейшего изучения. Проявление отнесено к золото-сульфидному арсенопиритовому типу в жильных маломощных зонах пологого и крутого падения. Предполагалась возможность присутствия штокверков и богатых линзовидных тел. Оруденение рассматривалось как гидротермальное, связанное с формированием гранитов рапакиви [Сиваев, Горошко, 1988].

Позднее рудную минерализацию участка «Новые Пески» относили к формации медьсодержащих сульфидизированных метасоматитов зон дробления [Минерально-сырьевая база..., 2005. Табл. 2.2.4.1], затем [Кулешевич и др., 2012] – к генетическому типу эндогенных гидротермальных золоторудных объектов в сдвиговых зонах с гипо-, мезотермальными ру-

92

дами (выявлена высокотемпературная ассоциация арсенопирита, леллингита и золота).

Фактический материал и его обсуждение

Тектоноструктурные исследования проводились на площади поисково-разведочных работ в 1983-88 гг., где были обнаружены пункты золоторудной минерализации, и на территории южнее нее (см. рис. 1). Здесь, на возвышенности дочетвертичного палеорельефа, в естественных обнажениях и расчистках можно наблюдать разновидности горных пород, которые ранее [Сиваев, Горошко, 1988] рассматривались как образования нижней и средней шотозерских подтолщ, а также второй фазы интрузий комплекса Виртаойя (микроклин-плагиоклазовые гранитные пегматиты). В статье приводятся сведения лишь об особенностях деформационной структуры амфиболитов, вскрытых железнодорожной врезкой, а также расчистками к северу и к югу от нее (см. рис. 1).



Рис. 2. Рудная минерализация в рассланцованных амфиболитах:

a – пункт золоторудной минерализации в северном борту железнодорожной выемки: белым прямоугольником выделено место отбора образца, показанное в ином ракурсе и с большим увеличением на фотографии **б**, длина шариковой ручки \approx 15 см; **б** – распределение сульфидов (светлые сегрегации – преимущественно арсенопирит) конформно плоскостям субмеридиональной сланцеватости амфиболита; **в**, **г** – ассоциации рудных минералов в образце (аншлиф, BSE-изображение: микроскоп «VEGA II LSH», микроанализатор «INCA Enerdgy 350»): **в** – арсенопирит (Asp), пирит (Py), халькопирит (Cp), золото (Au) в арсенопирите (Au – 92,25 %, Ag – 7,75 %) и «свободное» (Au – 92,62–92,49 %, Ag – 7,38–7,51 %,); **г** – золото (Au – 94,34 %, Ag – 5,66 %) и висмутовая фаза (висмутин ?) – неподписанные белые зерна и тонкие жилки во вмещающем зерне арсенопирита

Для исследованной площади характерен ярко выраженный доминирующий сдвиговый механизм деформации горных пород. Их эндогенная субплоскостная анизотропия проявлена в виде сланцеватости, маркируемой различными минеральными новообразованиями (амфибол, биотит, хлорит и др.), дифференционной полосчатости, морфологически разнообразных сдвиговых зон, жильных обособлений, «залеченного» кливажа. Обилие визуально сходных структурных элементов с близкой пространственной ориентировкой затрудняет полевую оценку их возрастных соотношений и принадлежности к тем или иным парагенезисам.

Признаки тектонического контроля локализации оруденения вполне очевидны. Так, например, в северном борту железнодорожной выемки, в одном из пунктов золотой минерализации (GPSкоординаты (WGS 84): N61°50′18″, E032°54′19,4″) сопутствующие золоту сульфиды в амфиболитах



Рис. 3. Зоны сдвиговой деформации в апогаббровых амфиболитах, контролирующие рудную минерализацию: **a** – субмеридиональная (ССВ ≈ 20°) зона тонкого рассланцевания, видимая мощность – не менее 3 м; **б** – субмеридиональная сдвиговая зона в апогаббровых амфиболитах (направление главного сдвигания – 13°∠53°/СЗ) и «наложенные» на нее сколы северо-западного простирания, маркируемые лейкократовым материалом; вид сверху; масштабная линейка ориентирована на север, цена деления – 1 см

распределяются конформно плоскостям крутопадающей субмеридиональной сланцеватости и маркируют их (рис. 2). Во многих расчистках выходов коренных пород можно наблюдать, что макроскопически различимая сульфидная вкрапленность (арсенопирит, кобальтин, пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит) сосредоточена в зонах сдвиговой деформации с интенсивным рассланцеванием амфиболитов (рис. 3) и отсутствует в обрамляющих породах.

Наиболее отчетливо проявлена связь процессов рудогенеза со сдвиговыми зонами субмеридионального простирания (см. рис. 3). В субмеридиональном (≈ CB 10–15°) створе точек золото-сульфидной минерализации, в полосе, длина которой (между пунктами с GPS-координатами (WGS 84) N61°50′19,4″, E032°54′20,1″ («канава № 189») и N61°50′11,8″, E032°54′18,4″) составляет около 150 м, а ширина – 15–20 м, сосредоточены пространственно сближенные дискретные субмеридиональные зоны сдвиговых дислокаций и сульфидной минерализации амфиболитов. Похожие сдвиговые деформации развиты в амфиболитах и в 70–80 м западнее. При полевых исследованиях получены фактические данные о пространственной ориентировке базисных участков структурных элементов амфиболитов (рис. 4, а), их возрастных соотношениях и минеральном выполнении, т. е. собран исходный материал, необходимый для структурно-парагенетического анализа.

С учетом специфики тектонических деформаций для анализа применен метод идентификации структурных элементов сдвиговых дислокаций и решения обратной тектонофизической задачи подбором модельного парагенезиса [Ручьев, 2008; 2009а, б; 2012]. Он основан на представлениях о пространственной ориентировке элементов идеализированного сдвигового структурного парагенезиса (ИССП), описываемых тектонофизической моделью средней части зоны скалывания [Гинтов, Исай, 1988], а прототипом его является метод структурных парагенезисов [Гинтов, 2005] (ранее метод усредненных характеристик [Гинтов, Исай, 1988]). Отличия выбранного метода от прототипа - иной инструментарий, а также принятое ограничение, устраняющее произ-



Рис. 4. Пространственная ориентировка эндогенных субплоскостных структурных элементов амфиболитов:

a – гномостереографические проекции базисных участков структурных плоскостей, 513 замеров; **б** – πSдиаграмма, построенная с помощью программы «StereoNet» (Version 2.02) в режиме максимальной детальности (cosine exponent – 1000, Grid Resolution – 30), 513 замеров, изолинии значений функции случайного распределения – 1,3–2,6...13; **в** – максимумы функции распределения (косые кресты), они же – гномостереографические проекции статистических структурных плоскостей; крупными значками показаны проекции плоскостей, отвечающих наиболее часто встречающимся структурным элементам; число концентрических кругов вокруг точек максимумов равно числу сдвиговых парагенезисов, в которых участвуют соответствующие кинематические плоскости, и на единицу больше числа фаз тектонической активизации этих плоскостей; **г** – сопоставление ориентировки субплоскостных структурных элементов рудоконтролирующих сдвиговых зон (гномостереографические проекции – черные кружки, 94 замера) с ориентировкой всех структурных элементов амфиболитов; равноугольная стереографическая проекция, верхняя полусфера

вольность конечных выводов: с использованием критерия закономерности угловых соотношений элементов ИССП возможно корректное обоснование парагенетичности только трех и большего числа статистических плоскостей. Метод позволяет выявлять природные сдвиговые парагенезисы структурных элементов, идентифицировать их, вычислять угол скалывания горных пород в природных условиях сдвиговой деформации, реконструировать пространственную ориентировку потенциальных (не наблюдавшихся) структурных элементов и осей главных нормальных напряжений.

Эндогенная субплоскостная анизотропия амфиболитов характеризуется сложной *п*S-диаграммой (рис. 4, б), позволяющей в режиме максимальной детальности обработки исходных данных выделить сто двадцать семь максимумов предпочтительной пространственной ориентировки структурных элементов (рис. 4, в).

В результате анализа диаграммы гномостереографических проекций статистических плоскостей (см. рис. 4, в) выявлены 124 сдвиговых парагенезиса структурных элементов; из них идентифицированы 105 (табл. 1); тип 19 парагенезисов (табл. 2) определить не удалось. Установлен факт функционирования одних и тех же плоскостей в составе различных эндогенных сдвиговых парагенезисов, что свидетельствует о многократной тектонической активизации структурных элементов горных пород (см. рис. 4, в). С учетом пространственной ориентировки плоскости главного сдвигания (L) в географических координатах идентифицированные парагенезисы (см. табл. 1) подразделяются на четыре <u>условные</u> группы: северо-западные (СЗ 293–ЗЗ7°), субмеридиональные (СЗ 338° – СВ 22°), северо-восточные (СВ 23–67°) и субширотные (СЗ 270–292°, СВ 68–90°). К северозападным относится 23 парагенезиса (21,9 % от общего числа), к субмеридиональным – 35 (ЗЗ,ЗЗ %), к северо-восточным – 36 (З4,29 %), к субширотным – 11 (10,48 %).

Полученные результаты (см. рис. 4, б; табл. 1) позволяют выделить наиболее значимые в строении геологического объекта парагенезисы структурных элементов. Они относятся преимущественно к группам структур северо-восточного и субмеридионального простирания. Группа главных субмеридиональных сдвиговых зон включает потенциальные и наблюдавшиеся локальные структуры со статистическими элементами залегания, такими же, как у соответствующих L-сколов: 14,1°∠78,2° СЗ (см. табл. 1, парагенезисы № 12, 28, 58, 96), 19,6°∠69° СЗ (см. табл. 1, № 5, 23), 20,9°∠81° СЗ (см. табл. 1, № 69, 91), 10°∠89,9° СЗ (см. табл. 1, № 6, 92), 10,1°∠81° ЮВ (см. табл. 1, № 32, 68). К группе главных северо-восточных относятся сдвиговые зоны с элементами залегания: 27,9°∠81° СЗ (см. табл. 1, № 3, 15, 16), 34,6°∠78,1° СЗ (см. табл. 1, № 19, 85), 33,8°∠47,8° СЗ (см. табл. 1, № 22). В группе северо-западных наиболее статистически значимы сдвиговые зоны с падением 218,4°∠75° (см. табл. 1, № 13).

Nº	Тип		Харак-	Ориентировка статистических структурных элементов сдвигового парагенезиса			парагенезиса	
п/п	параге-	a_{o}	тер	L	R'	R	Р	т
1	незиса 2	3	сдвига 4	5	6	7	8	9
1	 R'RL	39	ت	44.4/87/C3	307.8/89.6/ЮЗ	50.7/86.9/C3	-	-
2	R'PT	39	U	-	306,5∠84,1/CB	-	38,5∠84/ЮB	88,9∠89,8/C3
3	R'PL	38	ŭ	<u>27,9∠81/C3</u>	290,6∠87/CB	-	<u>20,9∠81/C3</u>	-
4	R'PL	38	U	11,8∠69,2/C3	290,6∠87/CB	-	<u>19,6∠69/C3</u>	-
5	R'RL	38	U	<u>19,6∠69/C3</u>	294,8∠87,1/Ю3	11,8∠69,2/C3	-	-
6	R'PL	37	0	<u>10∠89,9/C3</u>	292,9∠39,2/Ю3	-	15∠83,9/ЮВ	-
/		37		297,9∠84,1/CB	35,3236,1/03	293,1∠78,2/CB	-	
 	D'DI	30	0	- 367/273/ЮВ	<u>303,4∠01,1/103</u> 47.8 ∕52 1/03	-	38.8/38.7/ЮВ	00,9209,0/03
10		34	0	349/56 9/CB	342/44 5/103	- 348.4./69.1/CB		
11	RTL	34	Ŭ	<u>36.7/27.3/ЮВ</u>	-	38.8/38.7/ЮB	-	42.5/72.1/ЮB
12	PTL	33	Ū	<u>14,1∠78,2/C3</u>	-	-	<u>10∠89,9/C3</u>	35,3∠36,1/C3
13	R'RL	33	U	308,4∠75/ЮЗ	38,8∠38,7/ЮВ	300,1∠66,1/ЮЗ	-	-
14	R'RL	32	U	276,2∠57,2/CB	<u>14,1∠78,2/C3</u>	80,2∠56,9/C3	-	-
15	R'PL	31	U	<u>27,9∠81/C3</u>	281,4∠77,9/ЮЗ	-	<u>14,1∠78,2/C3</u>	-
16	R'RL	31	U	<u>27,9∠81/C3</u>	308,4∠75/ЮЗ	<u>14,1∠78,2/C3</u>	-	-
17	R'RL	31	0	47,2∠62,8/C3	344,6∠24,1/CB	54,4∠50,9/C3	-	-
18	R'RL	31		315,3∠/4,//CB	34,8∠75/ЮB	$330 \angle 72,7/CB$	-	-
20		30	0	<u>34,0/70,1/C3</u>	293,1270,2/CB	49,1∠74,9/C3	20,9281/63	-
20	R'RI	29	0	64.2 / 41.9 / C3	10 1 /81/ЮВ	47.8/52.1/03		
22	B'BL	29	J	33.8/47.8/C3	316.8/80.7/ЮЗ	12.5/50.9/C3	-	-
23	R'RL	28	Ŭ	19,6∠69/C3	307,8∠89,6/Ю3	2,6∠71,9/C3	-	-
24	R'RL	27	U	321,2∠61,8/Ю3	307,6∠47,6/CB	316,8∠80,7/Ю3	-	-
25	R'PL	25	U	344,6∠24,1/CB	89,6∠74,8/C3	-	30,2∠30,1/ЮВ	-
26	R'PL	25	С С	49,1∠74,9/C3	287,2∠63/ЮЗ	-	30,1∠63/C3	-
27	R'RL	25	U	88,9∠89,8/C3	329,8∠45,1/CB	282,2∠75/CB	-	-
28	R'RTL	25	ڻ ا	<u>14,1∠78,2/C3</u>	85,5∠84/C3	<u>34,6∠78,1/C3</u>	-	59∠81,1/C3
29	R'RL	24	U U	<u>314,5∠68,7/Ю3</u>	344∠63,1/CB	332,1∠81/CB	-	-
30	R'RL D'DI	24	0	338,5∠63,1/Ю3	340,9∠48,1/CB	<u>338,7284/ЮЗ</u>	-	-
31		24		306,5284,1/CB	$64,2\angle 41,9/C3$	291,3269,2/CB	-	-
33	B'BI	23	U U	38.5/84/ЮВ	329 8 / 45 1/CB	22.3/68.9/ЮВ	-	
34	R'RL	23	U U	288.9∠48.1/CB	330∠75/Ю3	305.5∠65.9/CB	-	_
35	R'RL	23	U	274∠86,8/Ю3	317,4∠26,9/ЮЗ	280,9∠65,9/Ю3	-	-
36	R'RL	23	ŭ	294,8∠87,1/Ю3	2,6∠71,9/C3	316,8∠80,7/Ю3	-	-
37	R'RL	23	С С	34∠47,8/ЮВ	85,5∠84/C3	55,2∠61,9/ЮВ	-	-
38	R'RL	22	ڻ ا	352,7∠87/CB	35,3∠36,1/C3	2,6∠71,9/C3	-	-
39	R'RL	22	U U	54,4∠50,9/C3	<u>281,4∠77,9/Ю3</u>	74,5∠68,8/C3	-	-
40	R'RL	22	0	58,5∠56,9/ЮB	318,2∠29,9/CB	38,8∠38,7/ЮВ	-	-
41	R PL P'RI	21 21	0	49,1∠14,9/03	325 Q /11 Q/102	-	04,4∠00,9/C3 -	-
43	R'RI	21	ŭ	319.4/69.1/CB	63.3/33.1/03	301.8/51.3/CB	-	
44	R'P(T)L	21	Ū	11,8∠69.2/C3	300,1∠66.1/Ю3	-	34,6∠78.1/C3	321,2∠61.8/Ю3
45	RTL	21	U	38,5∠84/ЮB	-	39∠59,6/ЮВ	-	38,8∠38,7/ЮB
46	R'PL	20	ŭ	281,4∠81/CB	348,4∠69,1/CB	-	78∠89,8/C3	-
47	R'P(T)L	20	<u>v</u>	45,2∠84/ЮB	63,3∠33, <mark>1/C3</mark>	-	39∠59,6/ЮВ	54,4∠50,9/C3
48	R'RL	20	ں ت	57,5∠71,9/C3	307,6∠47,6/CB	80,2∠56,9/C3	-	-
49	R'RL	20	U U	287,2∠63/Ю3	307,9∠56,6/CB	<u>294,8∠87,1/Ю3</u>	-	-
50	R'RL	20	0	<u>300,1∠66,1/Ю3</u>	<u>36,7∠27,3/ЮВ</u>	<u>281,8∠44,9/Ю3</u>	-	-
52	R KL	20	- 0	41,2202,8/U3	290,0207/CB	14,5∠08,8/U3	-	-
52		19	<u>0</u>	00,0∠04/03 12.5 ∕ 50 0/03	- 20,9201/03	14.1/78.2/C2	230,0∠07/CB -	- 15/83.9/IOB
54	R'RPL	18	ŭ	331.9/89.6/ЮЗ	281.8/44.9/ЮЗ	314.5/68.7/Ю3	348.4/69.1/CB	-
55	R'RL	18	้บ	45∠24/C3	50,7∠86,9/C3	47,8∠52,1/C3	-	-
56	R'RL	18	U	292,9∠39,2/ЮЗ	2,6∠71,9/C3	<u>303,1∠</u> 47,6/ЮЗ	-	-
57	R'RL	18	ŭ	11,8∠69,2/C3	19,5∠51/ЮB	<u>15∠83,9/ЮВ</u>	-	-
58	R'RL	18	<u>ں</u>	<u>14,1∠78,2/C3</u>	48,8∠47,9/ЮB	27,5∠78, <mark>1/Ю</mark> В	-	-
59	R'RL	17	U	34,8∠75/ЮB	0,1∠53,9/C3	<u>20,9∠81/C3</u>	-	-
60	R'RL	17	U U	283∠41,8/CB	297,7∠77,8/ЮЗ	291,3∠69,2/CB	-	-
61	R'RL	17	U U	312,6∠83,9/CB	14,4∠69/ЮB	339,9∠74,9/CB	-	-

96

Таблица 1. Идентифицированные парагенезисы структурных элементов в амфиболитах

	Окончание т	абл.	1
--	-------------	------	---

R'RL	17	U	296,4∠75,2/CB	281,8∠44,9/ЮЗ	290,6∠77,7/ЮЗ	-	-
R'PL	17	С С	34,8∠75/ЮВ	275,2∠32,8/ЮЗ	-	<u>20,9∠81/C3</u>	-
R'PL	16	U	34,8∠75/ЮВ	279,5∠57/ЮЗ	-	<u>10∠89,9/C3</u>	-
R'PL	16	ບ	343,9∠78/ЮЗ	19,5∠51/ЮВ	-	326,6∠53,7/ЮЗ	-
R'RL	16	ວ	353∠23,8/ЮЗ	<u>20,9∠81/C3</u>	12,5∠50,9/C3	-	-
R'RTL	15	ວ	89,6∠74,8/C3	294,9∠51,1/ЮЗ	281,4∠77,9/ЮЗ	-	287,2∠63/ЮЗ
R'PL	14	ບ	10,1∠81/ЮВ	47,8∠52,1/C3	-	349∠56,9/CB	-
R'PTL	14	U	<u>20,9∠81/C3</u>	45∠24/C3	-	14,4∠69/ЮВ	35,3∠36,1/C3
R'RL	14	U	350,8∠63/ЮЗ	294,8∠87,1/ЮЗ	318,1∠75,3/ЮЗ	-	-
R'RL	14	G	59∠81,1/C3	45∠24/C3	54,4∠50,9/C3	-	-
R'RL	14	U	330∠72,7/CB	303,1∠47,6/ЮЗ	330∠75/ЮЗ	-	-
R'RL	14	U	19,5∠51/ЮВ	2,6∠71,9/C3	10,1∠81/ЮВ	-	-
R'RL	14	G	303,4∠81,1/ЮЗ	80,2∠56,9/C3	282,2∠75/CB	-	-
R'RL	13	U	7,6∠48,2/C3	300,1∠66,1/ЮЗ	326,6∠53,7/ЮЗ	-	-
R'RL	13	U U	342∠44,5/ЮЗ	74,9∠36,1/C3	30,1∠29,8/C3	-	-
R'RL	13	U	315,3∠74,7/CB	279,5∠57/ЮЗ	297,7∠77,8/ЮЗ	-	-
R'RL	13	U U	317,4∠26,9/ЮЗ	54,4∠50,9/C3	30,1∠29,8/C3	-	-
R'RL	13	J	32,9∠57,1/ЮB	2,6∠71,9/C3	<u>15∠83,9/ЮВ</u>	-	-
R'RL	13	U U	350,8∠63/ЮЗ	63,3∠33,1/C3	21,4∠42,2/C3	-	-
R'RL	12	U	45∠24/C3	2,6∠71,9/C3	12,5∠50,9/C3	-	-
R'PL	12	U	0,1∠53,9/C3	275,2∠32,8/ЮЗ	-	<u>20,9∠81/C3</u>	-
R'PL	12	G	<u>10∠89,9/C3</u>	329,8∠45,1/CB	-	30,1∠63/C3	-
R'PL	11	с С	39∠59,6/ЮВ	292,9∠39,2/ЮЗ	-	<u>15∠83,9/ЮВ</u>	-
R'RL	11	G	<u>34,6∠78,1/C3</u>	<u>338,7∠84/ЮЗ</u>	1,1∠81/C3	-	-
R'RL	11	С	7,6∠48,2/C3	27,5∠78,1/ЮВ	<u>20,9∠81/C3</u>	-	-
R'RL	11	G	30,2∠30,1/ЮB	<u>15∠83,9/ЮВ</u>	18,5∠63/ЮВ	-	-
R'RL	11	С	356,1∠68,9/CB	58,5∠56,9/ЮB	32,9∠57,1/ЮВ	-	-
R'RL	11	U	305,9∠75/CB	74,9∠36,1/C3	281,4∠48,4/CB	-	-
R'PL	10	С	46,2∠78,1/ЮB	80,2∠56,9/C3	-	19,5∠51/ЮВ	-
R'RL	10	U U	<u>20,9∠81/C3</u>	58,5∠56,9/ЮB	42,5∠72,1/ЮВ	-	-
R'PL	9	U	<u>10∠89,9/C3</u>	316,8∠80,7/ЮЗ	-	45,2∠84/ЮВ	-
R'PL	8	G	356,1∠68,9/CB	326,6∠53,7/ЮЗ	-	19,5∠51/ЮВ	-
R'RL	8	ບ	19,5∠51/ЮВ	34,6∠78,1/C3	30∠87,1/ЮВ	-	-
R'RL	7	ں م	321,2∠61,8/ЮЗ	<u>14,1∠78,2/C3</u>	2,6∠71,9/C3	-	-
R'RL	7	U	<u>14,1∠78,2/C3</u>	349∠56,9/CB	356,1∠68,9/CB	-	-
R'RL	7	U	356,5∠81/CB	305,5∠65,9/CB	319,4∠69,1/CB	-	-
R'RL	6	U	46,2∠78,1/ЮB	36,7∠27,3/ЮВ	38,8∠38,7/ЮВ	-	-
R'RL	6	U	312,6∠83,9/CB	1,1∠81/C3	349,4∠84,1 /ЮЗ	-	-
R'RL	6	U U	21,4∠42,2/C3	30∠87,1/ЮВ	27,9∠81/C3	-	-
R'PL	6	ں ک	<u>27,9∠81/C3</u>	34∠47,8/ЮВ	-	21,4∠42,2/C3	-
R'RL	5	U	69,7∠80,9/ЮB	291,3∠69,2/CB	282,2∠L75/CB	-	-
R'PL	4	U	303,4∠81,1/ЮЗ	276,2∠57,2/CB	-	303,1∠47,6/ЮЗ	-
	3	U	279 5 / 57/103	282.2 / 75/CB	281 4 / 81/CB	-	-
R'RL	v	•	210,0201/100	L0L,L210/0B	201,1201/08		
	К КЦ R'PL R'PL R'PL R'RL R'RTL R'PL R'RTL R'PL R'PL R'RL R'RL <tr td=""></tr>	R RL 17 R'PL 16 R'PL 16 R'PL 16 R'PL 16 R'RL 15 R'PL 14 R'RL 14 R'PL 14 R'PL 14 R'PL 14 R'PL 14 R'RL 13 R'RL 13 R'RL 13 R'RL 13 R'RL 12 R'PL 12 R'PL 12 R'PL 11 R'RL 11 R'RL 11 R'RL 11 R'RL 11 R'RL 10 R'RL	R'RL 17 0 R'PL 16 0 R'PL 16 0 R'PL 16 0 R'RL 16 0 R'RL 16 0 R'RL 16 0 R'RL 14 0 R'PL 14 0 R'PL 14 0 R'RL 14 0 R'RL 14 0 R'RL 14 0 R'RL 13 0 R'RL 11 0 R'RL 10 0 R'RL <	R'RL 17 C $246,4273,2/CB$ R'PL 17 U $34,8275/NOB$ R'PL 16 U $34,8275/NOB$ R'PL 16 U $343,9278/NO3$ R'RL 16 U $353,223,8/NO3$ R'RL 16 U $353,223,8/NO3$ R'RL 14 U $10,1,281/NOB$ R'PL 14 U $20,9281/C3$ R'RL 14 U $350,8263/NO3$ R'RL 14 U $350,8263/NO3$ R'RL 14 U $330,272,7/CB$ R'RL 14 U $330,272,7/CB$ R'RL 14 U $330,4281,1/NO3$ R'RL 13 U $315,3274,7/CB$ R'RL 13 U $317,426,9/NO3$ R'RL 13 U $317,426,9/NO3$ R'RL 13 U $32,92,57,1/NOB$ R'RL 13 U $320,92,63(NO3$ <th< th=""><th>H'RL 17 U $34,82/75/10B$ $281,82/49,19/103$ R'PL 16 U $34,82/75/10B$ $275,2232,8/103$ R'PL 16 U $343,92/78/103$ $19,5251/10B$ R'RL 16 U $343,92/78/103$ $20,9/281/C3$ R'RL 16 U $353/23,8/103$ $20,9/281/C3$ R'RL 14 U $10,1/281/10B$ $47,8/52,1/C3$ R'PL 14 U $20,9/281/C3$ $45/224/C3$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,1003$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,1003$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,0/03$ R'RL 13 U $306,72,7/CB$ $303,1/247,6/103$ R'RL 13 U $315,3/74,7/CB$ $26/271,9/C3$ R'RL 13 U $315,3/274,7/CB$ $279,5/257/103$ R'RL 13 U $320,9/257,1/10B$ $26/271,9/C3$</th><th>HRL 17 O 299,42/15,2/CB 281,8244,9//C3 299,62/17,7//C3 R'PL 16 O 34,82/75//OB 275,223,8//O3 - R'PL 16 O 34,82/75//OB 279,5257//O3 - R'PL 16 O 34,82/75//OB 20,9281/C3 12,5250,9/C3 R'RL 16 O 353/23,8//O3 20,9281/C3 281,42/77,9//O3 - R'PL 14 O 10,1281//OB 47,8252,1/C3 - - R'PL 14 O 300,272,7/CB 303,1247,6/O3 338,1275,3/O3 R'RL 14 O 303,272,7/CB 303,1247,6/O3 330,275//O3 R'RL 14 O 303,24281,1/O3 80,2256,9/C3 282,275//O3 R'RL 13 O 7,6248,2/C3 30,1229,8/C3 30,1229,8/C3 R'RL 13 O 315,3274,7/CB 27,527/O3 29,77277,8//O3 R'RL 13 O 312,92/57,1/OB 2,6271,9/C3 30,1229,8/C3 R'RL 13 O 322,92/57,1/OB 2,6271,9/C3 <</th><th>$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$</th></th<>	H'RL 17 U $34,82/75/10B$ $281,82/49,19/103$ R'PL 16 U $34,82/75/10B$ $275,2232,8/103$ R'PL 16 U $343,92/78/103$ $19,5251/10B$ R'RL 16 U $343,92/78/103$ $20,9/281/C3$ R'RL 16 U $353/23,8/103$ $20,9/281/C3$ R'RL 14 U $10,1/281/10B$ $47,8/52,1/C3$ R'PL 14 U $20,9/281/C3$ $45/224/C3$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,1003$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,1003$ R'RL 14 U $350,8/63/103$ $294,8/271,0/03$ R'RL 13 U $306,72,7/CB$ $303,1/247,6/103$ R'RL 13 U $315,3/74,7/CB$ $26/271,9/C3$ R'RL 13 U $315,3/274,7/CB$ $279,5/257/103$ R'RL 13 U $320,9/257,1/10B$ $26/271,9/C3$	HRL 17 O 299,42/15,2/CB 281,8244,9//C3 299,62/17,7//C3 R'PL 16 O 34,82/75//OB 275,223,8//O3 - R'PL 16 O 34,82/75//OB 279,5257//O3 - R'PL 16 O 34,82/75//OB 20,9281/C3 12,5250,9/C3 R'RL 16 O 353/23,8//O3 20,9281/C3 281,42/77,9//O3 - R'PL 14 O 10,1281//OB 47,8252,1/C3 - - R'PL 14 O 300,272,7/CB 303,1247,6/O3 338,1275,3/O3 R'RL 14 O 303,272,7/CB 303,1247,6/O3 330,275//O3 R'RL 14 O 303,24281,1/O3 80,2256,9/C3 282,275//O3 R'RL 13 O 7,6248,2/C3 30,1229,8/C3 30,1229,8/C3 R'RL 13 O 315,3274,7/CB 27,527/O3 29,77277,8//O3 R'RL 13 O 312,92/57,1/OB 2,6271,9/C3 30,1229,8/C3 R'RL 13 O 322,92/57,1/OB 2,6271,9/C3 <	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $

Примечание. R', R, P, T, L – структурные элементы сдвигового парагенезиса, обозначенные символами, используемыми при описании ИССП [Гинтов, 2005; Гинтов, Исай, 1988]; *a*₀ – угол скалывания; *О* – левосторонний, *О* – правосторонний сдвиг; жирным шрифтом и подчеркиванием выделены элементы залегания статистических плоскостей, отвечающих наиболее часто встречающимся структурным элементам; серым фоном выделены элементы залегания статистических плоскостей, отвечающих наиболее часто встречающимся структурным элементам; серым фоном выделены элементы залегания статистических плоскостей, отвечающих участкам сдвиговых зон с макроскопическими признаками рудной минерализации.

Рудоконтролирующие сдвиговые парагенезисы в условиях плохой обнаженности и изобилия систем субплоскостных элементов анизотропии амфиболитов (см. табл. 1, 2), которые «накладываются» друг на друга и нередко имеют макроскопически сходное вещественное выполнение, корректно могут быть выделены лишь при детальном изучении минерального и химического состава образцов в различной степени измененных пород, целенаправленно отобранных в ходе полевых структурных наблюдений. Пока же фактический материал позволяет лишь «в первом приближении» наметить потенциально металлогенически значимые парагенезисы.

Для предварительного определения статистических плоскостей, отвечающих структурным элементам, которые могли контролировать процессы рудогенеза, использован прием совмещения *π*S-диаграммы и диаграммы гномостереографических проекций структурных элементов сдвиговых зон с сульфидной минерализацией (рис. 4, г). Эти плоскости (см. табл. 1) преимущественно субмеридионального и северо-восточного простирания соответствуют большинству главных максимумов на *π*S-диаграмме (см. рис. 4, г). Они фигурируют в составе не менее пятидесяти парагенезисов (см. табл. 1), среди которых преобладают сформированные при субмеридиональном (42 % случаев) и северо-восточном (40 % случаев) направлениях главного сдвигания. Часть этих парагенезисов, вероятно, отвечает пострудным фазам деформации и активизации рудоконтролируюших структурных элементов. Наиболее перспективными в отношении локализации гипо-, мезотермальной золото-сульфидной минерализации представляются относительно высокотемпературные структурные парагенезисы.

Таблица 2. Неидентифицированные эндогенные парагенезисы структурных элементов в амфиболитах

N⁰	Ориентировка статистических структурных элементов						
п/п	сдвигового парагенезиса						
1	349,4∠84,1/ЮЗ	49,1∠74,9/C3	306,5∠84,1/CB				
2	294,9∠51,1/ЮЗ	15∠83,9/ЮВ	58,5∠56,9/ЮB				
3	20,9∠81/C3	349,4∠84,1/ЮЗ	290,6∠87/CB				
4	10∠89,9/C3	281,8∠44,9/ЮЗ	1,1∠81/C3				
5	15∠83,9/ЮВ	349,4∠84,1/ЮЗ	287,2∠63/ЮЗ				
6	33,8∠47,8/C3	290,6L77,7/ЮЗ	47,8∠52,1/C3				
7	326,6∠53,7/ЮЗ	349,4∠84,1/ЮЗ	19,5∠51/ЮВ				
8	39∠59,6/ЮВ	14,4∠69/ЮВ	318,1∠75,3/ЮЗ				
9	339,9∠74,9/CB	350,8∠63/ЮЗ	318,2∠29,9/CB				
10	27,5∠78,1/ЮВ	281,4∠77,9/ЮЗ	10,1∠81/ЮВ				
11	19,6∠69/C3	356,5∠81/CB	74,9∠36,1/C3				
12	356,5∠81/CB	74,9∠36,1/C3	348,4∠69,1/CB				
13	338,7∠84/ЮЗ	316,8∠80,7/ЮЗ	45,2∠84/ЮВ				
14	20,9∠81/C3	303,1∠47,6/ЮЗ	281,8∠44,9/ЮЗ				
15	308,4∠75/ЮЗ	293,1∠78,2/CB	63,3∠33,1/C3				
16	308,4∠75/ЮЗ	303,1∠47,6/ЮЗ	63,3∠33,1/C3				
17	303,1∠47,6/ЮЗ	276,2∠57,2/CB	30,1∠29,8/C3				
18	47,8∠52,1/C3	38,8∠38,7/ЮB	42,5∠72,1/ЮB				
19	356,5∠81/CB	74,9∠36,1/C3	344∠63,1/CB				

Наблюдавшимся зонам сдвиговой деформации и рудной минерализации свойственны морфологические особенности пластичных (вязких) и хрупко-пластичных (хрупко-вязких) образований, характерных для температурного уровня амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой метаморфических фаций. «Наложенные» системы структурных элементов могут отличаться в большей степени выраженными признаками хрупкой деформации (см. рис. 3, б). Выделение группы предположительно сингенетичных рудному процессу высокотемпературных парагенезисов структурных элементов выполнено с использованием данных о величине угла скалывания (см. табл. 1) и сведений [Гинтов, 2005. С. 542] об его экспериментально установленных среднестатистических минимальных значениях (в условиях пластичности – 30°; в условиях умеренной хрупкости и пластичности – 25°). Двадцатипятиградусная величина угла скалывания принята за условный «рубеж», ограничивающий количе-

98

ство рассматриваемых далее парагенезисов (см. табл. 1, № 1–28).

В практическом отношении интересны парагенезисы, включающие часто наблюдавшиеся структурные элементы, дающие на *π*S-диаграмме (см. рис. 4, б) главные максимумы. Пространственная ориентировка L-сколов этих парагенезисов (см. табл. 1, № 3-5, 15, 16, 19, 23, 28) идентична ориентировке наиболее важпотенциальных рудоконтролирующих ных сдвиговых зон, что позволяет на уровне статистической точности прогнозировать элементы залегания последних: 14,1°∠78,2° C3; 27,9°∠81° C3; 19,6°∠78,1° C3; 34,6°∠78,1° C3; 11,8°∠69,2° C3.

Рудоконтролирующий характер субмеридиональных сдвиговых зон (см. табл. 1, парагенезисы № 4, 5, 23, 28) подтверждается полевыми наблюдениями.

Сложнее ситуация с зонами северо-восточного простирания. На возможную связь рудогенеза с формированием предположительно наиболее высокотемпературного парагенезиса (см. табл. 1, № 3) указывает наличие в нем двух характерных для рудоконтролирующих структур плоскостей (L-скол – 27,9°∠81°СЗ и Р-скол – 20,9°∠81°СЗ; К'-сколы при интенсивной сдвиговой деформации вязкой (пластичной) среды в границах сильно линеаризованных зон, как правило, не сохраняются, поэтому отвечающие им плоскости отсутствуют в статистической выборке структурных элементов рудоконтролирующих дислокаций). В парагенезисах других северовосточных сдвиговых зон (см. табл. 1, № 15, 16, 19) тоже присутствуют характерные для рудоконтролирующих структур плоскости. Однако на участках интенсивного северо-восточного рассланцевания амфиболитов везде проявлены и «наложенные» дискретные субмеридиональные дислокации. Их формирование приводило к активизации ряда структурных плоскостей. Например, развитие субмеридиональных дислокаций (см. табл. 1, парагенезис № 28), ориентировка R-сколов которых точно соответствует плоскости главного сдвигания в северо-восточных зонах деформации (см. табл. 1, № 19), могло стимулировать «оживление» L-сколов. Образование этих же дислокаций (см. табл. 1, № 28), вероятно, вызывало активизацию структурных элементов и в других северо-восточных зонах (см. табл. 1, № 15, 16). Тектоническая активизация могла сопровождаться рудоотложением. Таким образом, есть основания предварительно оценивать северо-восточные сдвиговые зоны как потенциально рудолокализующие.



Рис. 5. Принципиальная схема методики электротомографии с использованием трехэлектродной установки

Геофизические исследования на площади к северу от железнодорожной линии (см. рис. 1) были нацелены на апробацию методики электротомографии сопротивления и вызванной поляризации (ВП), предназначенной для выявления и прослеживания рудоконтролирующих сдвиговых зон под четвертичными отложениями.

Электротомография является методическим подходом к схеме регистрации, обработке и интерпретации данных с использованием программных комплексов [Бобачев и др., 2007; Griffiths, Barker, 1993]. На стадии полевых наблюдений многократное использование большого числа одновременно заземленных электродов позволяет получить с одной расстановки до нескольких тысяч замеров, относящихся к разным глубинным уровням (рис. 5). Последовательное перемещение установки приводит к созданию массива данных, наиболее полно характеризующих геоэлектрический разрез. Степень детальности и глубинность исследования задаются шагом между электродами и общей геометрией их расстановки. Важной частью методики электротомографии является этап математической обработки. В настоящее время разработаны алгоритмы инверсии и программные средства [Dahlin, 1996; Loke, 2009 и др.], позволяющие моделировать геоэлектрический разрез.

Методика электротомографии не ограничивает выбор установки и позволяет работать практически всеми схемами, используемыми в методах сопротивления. Это дает возможность повысить чувствительность к различным объектам и ограничить влияние помех. В соответствии с предположением о субвертикальном залегании маломощных зон сдвиговых деформаций, имеющих, вероятно, пониженное сопротивление по сравнению с обрамляющими породами, была выбрана комбинация из двух встречных трехэлектродных установок A-MN и MN-В (pole-dipole). Она сочетает чувствительность к объектам такого типа с защищенностью от влияния приповерхностных неоднородностей, характеризуется высоким уровнем сигнала и значительной глубинностью, превосходящей другие установки в 1,5-2,5 раза [Бобачев и др., 2007; Candansayar, Basokur, 2001; Dahlin, Zhou, 2004 и др.].

Полевые работы выполнены с использованием электроразведочной станции «Скала-48» и двух кос по 24 электрода в каждой. Линейный шаг между электродами составил 5 м, питающий электрод «С» был вынесен перпендикулярно профилю на 2 км. Этот приборный комплекс позволяет регистрировать кажущееся сопротивление горных пород, а также оценивать способность среды к поляризации под воздействием внешнего электромагнитного поля по параметру кажущейся заряжаемости С (мс), то есть дает



Рис. 6. Геоэлектрические разрезы кажущегося удельного сопротивления (а), заряжаемости (b) и результаты интерпретации (c):

 четвертичные отложения;
 3 – апогаббровые амфиболиты различной степени нарушенности;
 4 – область рассланцевания

возможность выявить области развития вкрапленной электронпроводящей минерализации.

По результатам инверсии полевых данных построены геоэлектрические модели кажуще-гося удельного сопротивления ρ_{κ} (рис. 6, а) и кажущейся заряжаемости C (рис. 6, b).

В приповерхностной части наблюдается весьма неоднородное распределение геофизических параметров, характеризующее покровные четвертичные отложения. Основная часть разреза имеет высокое удельное сопротивление и может быть условно разделена на восточную (р_к от 5000 до 15000 Ом×м) и западную (р_к выше 15000 Ом×м) области. Различия уровня удельного сопротивления, возможно, обусловлены изменчивым характером проявления метаморфических процессов. Величина

100

кажущейся заряжаемости, около 4 мс, остается весьма низкой по всему разрезу, что свидетельствует об отсутствии электронпроводящих минералов. В интервале между пикетами 2300-2400 м зафиксирована область аномального поведения обоих геофизических параметров. Наблюдается четкая корреляция нехарактерных для данных метаморфических пород низких величин р. (менее 1000 Ом×м) и относительно повышенных значений заряжаемости (до 20 мс). Аномально низкое удельное сопротивление при отсутствии сплошных проводящих геологических образований может свидетельствовать лишь о значительной степени нарушенности (рассланцованности, трещиноватости) и избыточной увлажненности коренных пород. При этом повышенная способность

пород к поляризации (заряжаемости) указывает на наличие распределенных в них проводящих минеральных фаз.

Выявленная аномальная область находится в створе системы субмеридиональных рудоконтролирующих сдвиговых зон, закартированных на сопредельной площади. В связи с этим вышеописанное изменение геофизических параметров может рассматриваться как геофизический критерий рудоконтролирующих зон в геологических условиях, свойственных исследованному объекту.

Заключение

Рудоконтролирующие структуры золотосульфидного проявления «Новые Пески» представлены разномасштабными пространственно дискретными, на некоторых участках исследованной площади сближенными (эшелонированными) крутопадающими зонами сдвиговых дислокаций северо-восточного и, главным образом, субмеридионального простирания.

Выделены и идентифицированы эндогенные сдвиговые парагенезисы структурных элементов. Указаны наиболее вероятные главные синрудные парагенезисы и определены элементы залегания соответствующих им наблюдавшихся и потенциальных рудоконтролирующих сдвиговых зон.

Полученными материалами обосновывается вывод о сложности тектонической истории золоторудного объекта, современное строение которого является результатом полифазных сдвиговых деформаций.

Установлен факт многократной тектонической активизации субплоскостных структурных элементов горных пород. В металлогеническом аспекте процессы активизации могут играть как положительную, так и отрицательную роль. Оценка их влияния на благороднометалльный рудогенез – актуальная задача, решение которой будет иметь важное практическое значение.

Полифазность деформационных процессов, сопровождаемых активизацией структурных элементов, «наложением» и «телескопированием» локальных структур, чрезвычайно усложняет выяснение их возрастных соотношений. Для построения структурно-возрастной шкалы тектонических образований участка и района рудопроявления необходимы дополнительные детальные исследования на более обширной территории по сравнению с изученной.

Выполненные геофизические исследования свидетельствуют о применимости методики электротомографии сопротивления и

вызванной поляризации в рассмотренных конкретных геологических условиях, а также о целесообразности такого подхода для выявления рудоконтролирующих структур в коренных породах, перекрытых толщей четвертичных отложений. Он позволяет: во-первых, выявлять зоны сдвиговых дислокаций по локальным аномалиям пониженного сопротивления, обусловленным повышенной трещиноватостью и обводненностью пород в зонах интенсивной деформации; во-вторых, делать обоснованные результатами анализа распределения параметров ВП выводы о наличии в зонах рудных компонентов. Преимуществом электротомографии по сравнению с классическими методиками наблюдения кажущегося сопротивления и поляризуемости является возможность геометризации аномального объекта путем построения геоэлектрических разрезов и их интерпретации.

Авторы благодарят руководство и геологический коллектив ООО «Онего-Золото» за благожелательное и конструктивное сотрудничество.

Литература

Бобачев А. А., Яковлев А. Г., Яковлев Д. В. Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // Инженерная геология, 2007. № 3. С. 31–35.

Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.

Гинтов О. Б., Исай В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.

Кулешевич Л. В., Дмитриева А. В., Елисеев М. А., Лавров О. Б. и др. Минералогия рудных месторождений Карелии: минеральные ассоциации, типоморфизм и условия образования // Основные результаты научных исследований Института геологии КарНЦ РАН 2009–2012 по программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008–2012 гг. VII. Науки о Земле. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 35–40.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга 1. Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. Петрозаводск: Карелия, 2005. 280 с.

Ручьев А. М. Новый подход к структурно-парагенетическому анализу рудоконтролирующих зон рассланцевания (опыт исследования благороднометалльных объектов на территории Карелии) // Проблемы рудогенеза докембрийских щитов: Тр. Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летнему юбилею чл.корр. РАН Г. И. Горбунова. Апатиты. 17–18 нояб. 2008. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2008. С. 137–141. Ручьев А. М. Идентификация структурных элементов сдвиговых дислокаций и решение обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М. В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: материалы докладов Всероссийской конференции: в 2-х томах. Т. 1. М.: ИФЗ. 2009а. С. 93–98.

Ручьев А. М. Структурные особенности сдвиговых дислокаций, контролирующих благороднометалльную минерализацию и пегматитогенез в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс пород Балтийского щита) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009б. Вып. 12. С. 65–87.

Ручьев А. М. Структурный анализ сдвиговых зон: новый метод, первые результаты // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. Вып. 15. С. 115–124.

Сиваев В. В., Горошко А. Ф. Геологическое строение и полезные ископаемые Улялегского массива гранитов рапакиви и его обрамления // Отчет о результатах геологической съемки масштаба 1:50000 и среднемасштабного глубинного геологического картирова-

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ручьев Андрей Михайлович

старший научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910 эл. почта: ruchyov@krc.karelia.ru тел.: 89214559451

Нилов Михаил Юрьевич

младший научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910 эл. почта: mnilov@rambler.ru тел.: (8142) 780602 ния, проведенных Ведлозерской партией в 1983–88 гг. в Южной Карелии. Петрозаводск, 1988.

Candansayar M. E., Basokur A.T. Detecting smallscale targets by the 2D inversion of two-sided threeelectrode data: application to an archaeological survey // Geophysical Prospecting, 2001. № 49. P. 40–58.

Dahlin T. 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications. // First Break, 1996. № 14. P. 275–284.

Dahlin T., Zhou B. A Numerical Comparison of 2D Resistivity Imaging with Ten Electrode Arrays // Geophysical Prospecting, 2004. № 52. P. 379–398.

Griffiths D. H., Barker R. D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology // J. Appl. Geophysics, 1993. № 29. P. 211–226.

Günther T. Inversion Methods and Resolution Analysis for the 2D/3D Reconstruction of Resistivity Structures from DC Measurements PhD Thesis, University of Mining and Technology, Freiberg (Germany), 2005.

Loke M. H. Tutorial – 2D and 3D electrical imaging surveys. Malaysia: Geotomo Software, 2009. 124 p.

Ruch'yov, Andrey

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru tel.: 89214559451

Nilov, Mikhail

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia e-mail: mnilov@rambler.ru tel.: (8142) 780602