

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСНОВНЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ ПРИМОРЬЯ

Б. Л. Столов

Дальневосточный государственный технический университет им. В.В.Куйбышева, г. Владивосток

Приводится характеристика геоэлектрической модели основных рудных районов Приморья, под которой понимается система двух взаимосвязанных компонент: (1) обобщенных представлений о геоэлектрических объектах, участвующих в строении районов, и (2) вызываемых ими электрических полей. Модель базируется на особенностях геоэлектрического строения Кавалеровского, Дальнегорского и Арминского рудных районов. Типовой разрез рудных районов Приморья включает три геоэлектрических комплекса, различающихся характером дифференцированности по электрическим параметрам. Модель отражает строение верхней части разреза (до 2–3 км), достигаемого для исследования поисковыми электроразведочными методами.

Ключевые слова: геоэлектрическая модель, рудный район, геоэлектрический комплекс, разрез, Приморье

ВВЕДЕНИЕ

Приморье является уникальным горнорудным регионом, где локализованы месторождения различных рудных полезных ископаемых. Для их поисков и разведки широко применяются геофизические методы. Особое место среди них занимает электроразведка, т.к. в силу особенностей геологического строения и металлогении рудных районов (рудоконтролирующая роль глубинных гранитоидных интрузий и разнонаправленных разломов, многоярусность строения, широкое распространение полисульфидной минерализации и связь с ней рудных полей, электрохимическая активность сульфидов, металлогеническая зональность, продолжение геологических структур и металлогенических зон суши в область шельфа) и контрастности электрических свойств горных пород и руд [5] электроразведочные методы являются надёжным индикатором рудоперспективных структур. Это обусловило широкое использование электроразведки в комплексе геолого-геофизических работ. Так, к настоящему времени методом естественного электрического поля (ЕП) изучены от 20 % (Ольгинский) до 60–70 % (Дальнегорский, Арминский, Фурмановский) территории рудных районов [6]. Наиболее перспективные участки исследованы более информативными, но и более дорогими методами вызванной поляризации (ВП), переходного процесса (МПП). В относительно хорошо изучен-

ных Кавалеровском и Дальнегорском районах методом ВП исследовано 20–24 % общей площади.

В связи с этим моделирование электрических полей над рудоносными структурами, в первую очередь рудными районами, и использование результатов его в процессе интерпретации полевых материалов являются актуальными.

ПОНЯТИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Геоэлектрическая модель (ГЭМ) является разновидностью физико-геологической модели (ФГМ). Под ФГМ понимается максимально приближенное к реальным условиям обобщенное и формализованное представление об основных геологических и физических характеристиках исследуемого геологического объекта и его вмещающей среды [3] или "система абстрактных возмущающих тел вместе с вызываемыми их физическими полями, обобщенные размеры, генерализованная форма и петрофизические параметры которых с заданной степенью приближения аппроксимируют реальные геологические и рудные образования, изучаемые геофизическими методами" [1].

Исходя из этого, под типовой геоэлектрической моделью рудных районов понимается система двух взаимосвязанных компонент, включающих обобщенное представление о геоэлектрических объектах (горизонтах, комплексах, локальных неоднородностях), участвующих в строении районов, и вызываемые ими электрические поля пред-

ставленные графиками и разрезами параметров зондирования, профилирования, потенциала ЕП, импеданса метода переходных процессов и др.). При этом речь идёт о верхней части разреза рудных районов (до 2–3 км), достигаемой для исследования поисковыми электроразведочными методами. Глубина исследований ФГМ рудного района, по существующим представлениям [3], определяется до 5 км.

Формирование геоэлектрической модели базируется на наличии дифференциации электрических свойств различных геологических образований рудных районов [5]. Форма представления ГЭМ может быть различной (графическая, табличная). Как правило, предпочтение отдается графическому способу. На рисунке приведен графический вариант геоэлектрической модели основных рудных районов Приморья. Первая компонента представлена схемой блоков, неоднородных по удельному сопротивлению и поляризуемости (IV) и обобщенным геолого-геофизическим разрезом (V). Вторая компонента включает разрезы параметров ρ_k и η_k (I, II) и график U_{EP} (III), характеризующие электрические поля наиболее широко применяемых электроразведочных методов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОСНОВНЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ ПРИМОРЬЯ

Наличие общности ряда геологических признаков рудных районов Приморья позволяет сформировать черты их геоэлектрической модели, которая представлена на рисунке.

Типовой разрез рудных районов металлогенических зон содержит три геоэлектрических комплекса, неравнозначных по мощности и степени изученности, различающихся характером диффе-

ренцированности по удельному сопротивлению и поляризуемости [5, 6, 8].

Верхний комплекс представлен маломощной слоистой средой (10–50 м, реже 100–150 м) с резко меняющимися значениями ρ (10–2000 Ом·м) и низкими значениями η (0.5–2 %). Он соответствует поверхностным рыхлым отложениям и не содержит поискового интереса, за исключением россыпей. Комплекс характеризуется наличием локальных геоэлектрических неоднородностей с резкими вариациями ρ и неровной верхней границей (дневной поверхностью). Все это осложняет изучение глубинных объектов.

Средний геоэлектрический комплекс мощностью порядка 300–1500 м включает основные объекты изучения методами электроразведки. Он состоит из совокупности отдельных блоков, характеризующихся широким диапазоном изменения электрических параметров, в которых доминируют либо субвертикальные границы, обусловленные, в большинстве случаев, тектоно-магматической деятельностью, либо субгоризонтальные и наклонные границы, образовавшиеся в процессе седиментогенеза, либо те и другие вместе, например, осадочные породы и вулканиты, прорванные системой даек, осложненные зонами дробления, контактового метаморфизма и метасоматоза. В пределах среднего геоэлектрического комплекса находятся важные для изучения объекты – зоны сульфидизации, минерализованные зоны дробления, рудные залежи. Особенности строения среднего геоэлектрического комплекса четко проявляются на схеме блоков, неоднородных по электрическим параметрам (рис.). Эта часть разреза обладает различной степенью и характером дифференцированности по ρ и η , которые изменяются соответственно в диапазоне от 20 до 10000 Ом·м и от 2 до 30 %. Для поисков особый интерес представляют локальные объекты различной протяженности, а также зоны

Рис. Геоэлектрическая модель основных рудных районов Приморья.

Для I–III: изолинии ρ_k , соответствуют: 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 70, 100, 150 ед. (10^2 Ом·м); η_k в %, в интервале 1–8 % проведены через 1 %, более 8 % – соответствуют 10, 12, 15 %. *Для IV:* блоки, пласты, неоднородные по сопротивлению (ρ): 1 – с широким диапазоном изменения удельного сопротивления; 2 – с фоновыми значениями удельного сопротивления (500–700 Ом·м); 3 – с относительно повышенным удельным сопротивлением; 4 – с относительно пониженным удельным сопротивлением; 5 – локальные зоны проводимости; 6 – высокоомный опорный горизонт различной геологической природы; 7 – блоки с аномальной поляризуемостью: а) – умеренной ($\eta = 4–6$ %), б) – высокой ($\eta > 6$ %). *Для V:* 8 – аллювиально-делювиальные отложения; 9 – терригенная толща алевролитов и песчаников; 10 – вулканогенные образования преимущественно кислого состава; 11 – интрузии кислого (а), среднего (б) и основного–ультраосновного состава (в); 12 – биотититы, роговики; 13 – известняки; 14 – кремнистые породы; 15 – углисто-графитизированная толща; 16 – зоны трещиноватости (а), разломы (б); 17 – зоны сульфидной минерализации: преимущественно вкрапленной (а), преимущественно прожилково-вкрапленной (б); 18 – рудные тела (а), минерализованные зоны дробления (б); 19 – удельное электрическое сопротивление в 10^2 Ом·м (а), поляризуемость в % (б); 20 – кровля высокоомного опорного горизонта; 21 – точки ВЭЗ ВП.

Вертикальный разрез $\rho_k, 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (I)



Вертикальный разрез $\eta_k, \%$ (II)

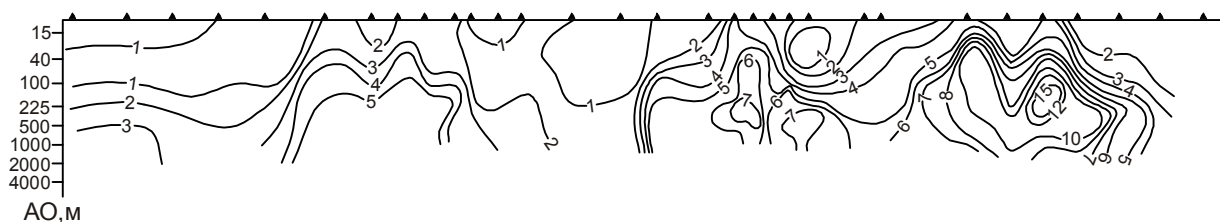


График $U_{EP}, \text{ мВ}$ (III)

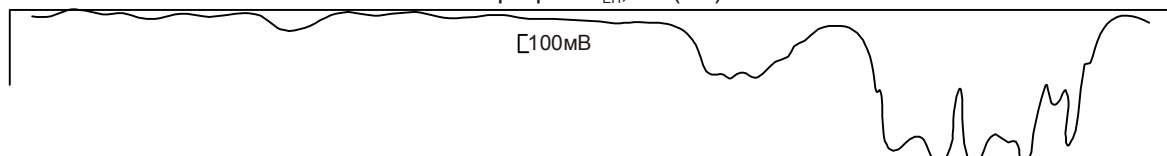
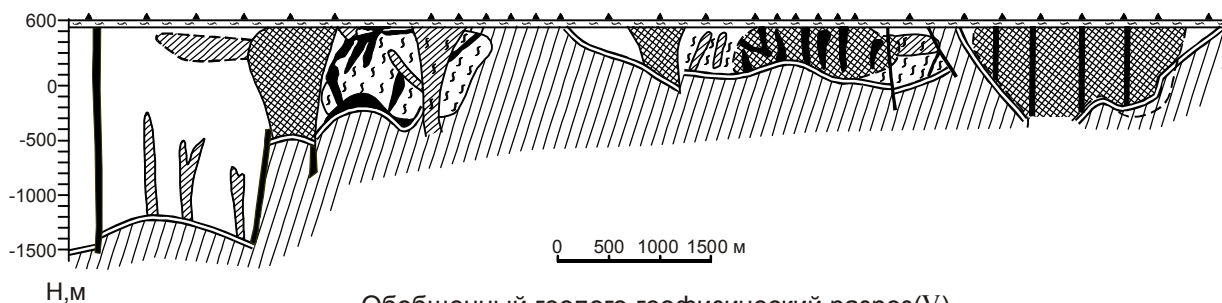
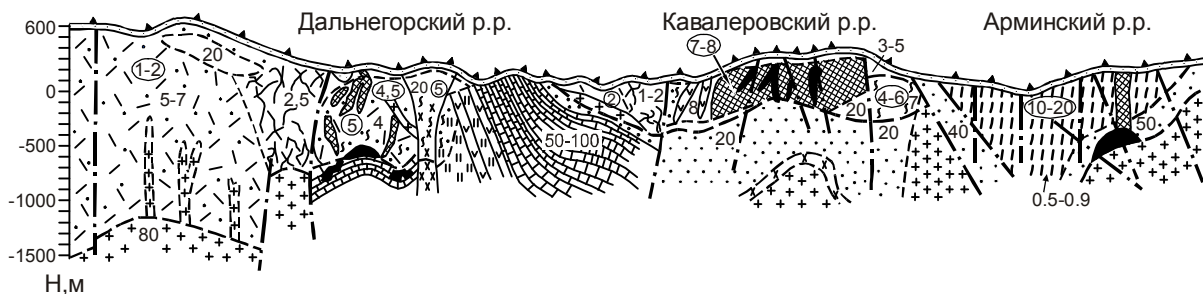


Схема блоков, неоднородных по удельному сопротивлению и поляризуемости (IV)



Обобщенный геолого-геофизический разрез (V)



- | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | |

трещиноватости и дробления с низкими величинами ρ и повышенными значениями η .

Нижний геоэлектрический комплекс, сложенный различными геологическими образованиями (известняки, региональные биотитовые метасоматиты, роговики, интрузии), характеризуется высоким ρ (5000 Ом·м и более) и фоновыми значениями поляризуемости η (1–4 %), т.е. комплекс является высокоомным опорным горизонтом. Верхняя граница комплекса неровная, на некоторых участках субгоризонтальная или имеет наклонное залегание. Иногда горизонт выходит на поверхность.

Для того, чтобы подчеркнуть общие характерные черты геоэлектрической модели, с одной стороны, и специфические особенности строения рудных районов, выражающиеся главным образом в различии геологической природы геоэлектрических комплексов, с другой стороны, приведен геолого-геофизический разрез, включающий обобщенные фрагменты строения трех крупных рудных районов: Дальнегорского, Кавалеровского и Арминского (рисунок). Выбранные фрагменты отражают характерные геологические обстановки для каждого из трех рассматриваемых районов. Как показывает анализ, эти варианты разрезов отмечаются и в других рудных районах Приморья.

Рассмотрим характерные геоэлектрические особенности упомянутых выше районов.

В Дальнегорском рудном районе с характерными полиметаллической и олово-полиметаллической минерализациями первый комплекс включает делювиально-аллювиальные отложения с широким диапазоном изменения удельного сопротивления и значениями поляризуемости 0,5–1 %. Второй геоэлектрический комплекс представлен в основном вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами. Он имеет сложное блоковое строение. Высокоомный опорный горизонт с ρ около тысячи–десятков тысяч Ом·м залегает на глубинах от нуля до 1,5 км. Его геологическая природа отождествляется с кровлей ороговикованных и окварцованных пород в вулканитах, с кровлей осадочного фундамента или с высокоомными литологическими разностями в осадочной толще. Часть локальных неоднородностей во втором геоэлектрическом комплексе соответствует рудным полям полиметаллических месторождений. Над скрытой скарновой залежью, локализованной на контакте вулканогенных пород и известняков, отмечается аномалия кажущейся поляризуемости, фиксирующая блок с аномальной поляризуемостью, отождествляемой с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией.

Во фрагменте геоэлектрического разреза, отражающем специфику Кавалеровского рудного

района, наблюдаются аналогичные три геоэлектрических комплекса. Верхний горизонт (комплекс) – аллювиально-делювиальные рыхлые отложения с переменными значениями мощности и удельного сопротивления, фоновой поляризуемостью (до 1–2 %). Второй комплекс – относительно слабо метаморфизованные осадочные и вулканогенно-осадочные породы с вертикальной мощностью от десятков до 600 м и более, при $\rho = 200\text{--}800$ Ом·м и $\eta = 2\text{--}3$ %. Внутри второго комплекса отмечаются локальные участки с характерными субвертикальными и локальными неоднородностями. Приведенная на разрезе аномальная зона пониженных ρ_k и повышенных η_k отождествляется с минерализованными зонами повышенной трещиноватости, вмещающими рудные тела месторождения. К аномальной зоне ρ_k и η_k приурочены аномалии ЕП с амплитудой от -100 до -500 мВ. Эти два первых горизонта содержат ряд промежуточных слоев, имеющих ограниченное распространение по простиранию.

Третий горизонт (комплекс), являющийся опорным, сложен региональными метасоматитами (биотититами) с предполагаемой мощностью 1,5–2 км с ρ , равным 2000–10000 Ом·м, и $\eta = 3\text{--}4$ %. Кровля третьего горизонта неровная, характеризуется куполовидными поднятиями и чашеобразными опусканиями.

Характерной особенностью Арминского рудного района, представленного также тремя геоэлектрическими комплексами, является наличие антрацитизации (графитизации) первичной органики в пластах алевролитового состава под термальным воздействием внедрившихся интрузий [2]. Геоэлектрический разрез включает три комплекса [4, 5]:

- рыхлые отложения с переменным сопротивлением и поляризуемостью 0,5–2 %, мощностью в несколько метров–десятков метров;

- толщу антрацитизированных (графитизированных) пород с удельным сопротивлением 15–100 Ом·м, поляризуемостью 10–20 % и больше, вертикальной мощностью 200–1000 м и более;

- окварцованные и умеренно ороговикованные породы, роговики, граниты с удельным сопротивлением, равным тысячам–десяткам тысяч Ом·м и поляризуемостью 0,5–4 %.

На контакте карбонатсодержащих разностей осадочных пород с гранитами образуются скарновые месторождения шеелит-апатит – колчеданного типа.

Сложное геоэлектрическое строение районов отражается в разрезах и графиках электрических полей. Над локальными геоэлектрическими неоднородностями, отождествляемыми с рудными сульфидными

ми зонами и областями распространения графитизированных пород, отмечаются отрицательные аномалии потенциала ЕП от десятков до сотен–тысячи милливольт. Сложное блоковое строение модели проявляется в характере изолиний ρ_k и η_k . Для них характерно наличие высокоградиентных зон, субвертикальных, субгоризонтальных и наклонных участков, возрастные ρ_k с глубиной. Кривые ρ_k и η_k , по которым построены приведённые на рисунке разрезы, имеют вид многослойных. Кривые ρ_k с восходящей нижней ветвью обладают изрезанной формой, резко отличаются от стандартных кривых горизонтально-слоистого разреза. Они характеризуются высокоамплитудными экстремумами, изломами, высокоградиентными ветвями и аномальными расхождениями на перекрытиях приёмных линий. Кривые η_k – менее дифференцированные и более плавные.

Таким образом, ГЭМ основных рудных районов Приморья отражает как общие, так и специфические их геoeлектрические особенности.

ВЫВОДЫ

Предложенный вариант геoeлектрической модели основных рудных районов Приморья нуждается в совершенствовании и уточнении [7], что может быть сделано при проведении дальнейшего обобщения и анализа имеющихся электроразведочных и других материалов по рудным районам, осуществления дальнейших геofизических исследований. Геoeлектрическая модель с учетом ее особенностей позволяет с большей степенью достоверности выявлять и оконтуривать новые рудные районы на севере края, на прилегающей территории Хабаровского края, а также на шельфе Японского моря, т.к. часть рудных районов не замыкается на суше, а простирается в область шельфа.

Она также является фундаментом для формирования геoeлектрических моделей локальных рудоносных структур (рудных узлов, рудных полей, месторождений и рудопровялений).

Поступила в редакцию 10 января 2003 г.

В дальнейшем, когда в крае будут осуществлены в достаточном объёме магнитотеллурические исследования, информационные возможности модели будут расширены, и она будет отражать геoeлектрический разрез до глубин в десятки километров. Создание геoeлектрической модели имеет практическое и теоретическое значение. Оно способствует решению проблемы установления закономерностей строения и металлогении рудных районов и локальных рудоносных структур.

Автор выражает глубокую благодарность В.П.Леликович и Т.Н. Пальминой за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Комплексирование геofизических методов и физико-геологические модели. Иркутск, 1989. 88 с.
2. Земцов В.П. Методика геofизических работ на вольфрам в Приморье // Геология и геofизика. 1976. № 5. С. 78–89.
3. Комплексирование методов разведочной геofизики. Справочник геofизика / Под.ред. В.В. Бродового и А.А. Никитского. М.: Недра, 1984. 385 с.
4. Столов Б.Л., Шкабарня Н.Г. Геoeлектрические модели рудных структур Приморья // Технические средства исследования мирового океана: Межвуз. сб. Владивосток. 1994. С. 15–17.
5. Столов Б.Л., Шкабарня Н.Г. Изучение рудоносных структур Приморья методами электроразведки: Учеб. пособие. Владивосток, 1995. 164 с.
6. Столов Б.Л. Оценка информативности методов естественного электрического поля и вызванной поляризации при изучении рудоносных структур Приморья. Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1997. 54 с.
7. Столов Б.Л., Шкабарня Н.Г. Состояние и перспективы развития рудной геofизики в Приморье // Вестн. ДВО РАН. 2001. № 2. С. 47–62.
8. Шкабарня Н.Г., Столов Б.Л. Моделирование электрических полей при изучении рудоносных структур в Приморье // Технические средства исследования мирового океана. Межвузо. сб. Владивосток., 1996. С. 57–62.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

B.L. Stolov

Geoelectric Model of the main ore districts of Primorye

The paper deals with the geoelectric model of the main ore districts of Primorye which is regarded as a system of two interrelated components: generalized conceptual notions of geoelectric objects, participating in the structure of the ore districts (1) and electrical fields caused by them (2). The model is based on the characteristic features of the geoelectric structure of the Kavalerovo, Dalnegorsk and Armin ore districts. The modal section of the ore districts of Primorye includes 3 geoelectric complexes with different electric parameters. The model shows the structure of the upper part of the section (up to 2-3 km), which can be studied by electric methods of prospecting.