

**ОБ УНИКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЯХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИМОРЬЯ И ИХ
ЗНАЧЕНИИ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)**

Б.Л. Столов

Дальневосточный федеральный университет ул. Суханова 8, г. Владивосток, 690091; e-mail: borstol@mail.ru

Поступила в редакцию 5 апреля 2017 г.

Приводится характеристика уникальных (нетипичных) аномалий электрических полей, показаны их особенности, дано объяснение геологических причин их возникновения. Рассмотрены отрицательные высокоинтенсивные аномалии потенциала естественного электрического поля (ЕП), глубинные аномалии ЕП, нетипичные меняющиеся во времени аномалии кажущейся поляризуемости (η_k), полученные методом вызванной поляризации (ВП). Обсуждены геолого-геофизические причины возникновения этих аномалий, их научное и практическое значение. Указана необходимость дальнейшего углубленного изучения аномалий таких типов с выделением новых объектов. Рекомендовано продолжение и расширение электроразведочных работ на не изученных ранее территориях, а также переинтерпретация материалов прошлых лет.

Ключевые слова: естественное электрическое поле, метод вызванной поляризации, эталонные аномалии, уникальные аномалии, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

В Приморье и других регионах Дальнего Востока при геологическом изучении недр и поисках полезных ископаемых большая роль принадлежит геофизическим методам и особенно различным модификациям электроразведки. Электроразведочными исследованиями выделено множество рудоперспективных участков, открыто большое количество рудопроявлений и месторождений рудных полезных ископаемых. В комплексе с другими геофизическими методами электроразведка и в настоящее время используется для геологического изучения территории. Наиболее широко применяются методы естественного электрического поля (ЕП) и вызванной поляризации (ВП). Например, в Приморье наиболее мобильным методом ЕП изучено от 20 % до 70 % территории основных рудных районов в масштабе 1:50 000–1:25 000. Метод ВП в модификациях электропрофилеирования (ЭПВП) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗВП) широко применяется при проведении поисково-оценочных работ на перспективных участках. Установлено, что 90 % полиметаллических и оловянных месторождений проявляются в аномалиях ЕП и ВП. В данной статье рассматриваются уникальные аномалии методов естественного электрического поля (ЕП) и вызванной поляризации (ВП) (рис. 1). Под

уникальностью подразумевается резкое отличие ряда аномалий от широко распространенных. В выявлении этих уникальных аномалий в Приморье, определении их геологической природы автор принимал непосредственное участие в процессе производственной работы в Приморской геофизической экспедиции и педагогической деятельности. Информация о некоторых аномалиях получена студентами во время производственных практик (например, Н. В. Яровой в 2000 г. об аномалиях высокой интенсивности в Хабаровском крае, материалы ФГУГП «Дальгеофизика»). В обработке полученных материалов принимали участие студенты и выпускники-геофизики ДВГТУ. Результаты исследования опубликованы в ряде статей в региональных и центральных научно-технических журналах [8, 9, 11]. Данная статья носит обобщающий характер.

К уникальным аномалиям естественного электрического поля (ЕП), выявленным в Приморье, относятся

- высокоинтенсивные (до -10В) отрицательные аномалии потенциала ЕП;
- слабоинтенсивные отрицательные аномалии ЕП, фиксирующие глубокозалегающие сульфидные объекты (на глубинах 2 км и более);
- устойчивые положительные аномалии ЕП интенсивностью до +800 мВ.

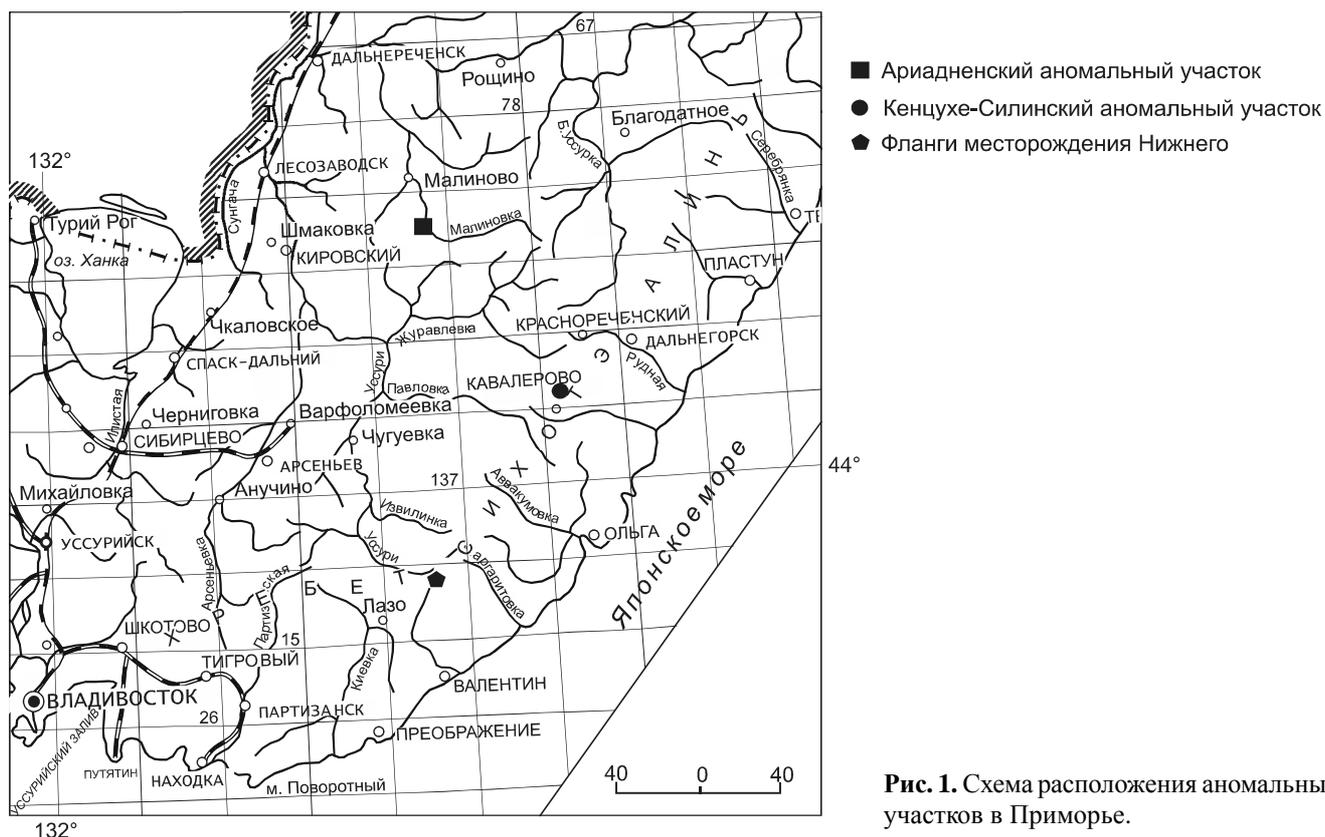


Рис. 1. Схема расположения аномальных участков в Приморье.

Уникальные аномалии метода ВП включают меняющиеся во времени аномалии кажущейся поляризуемости (η_k).

Высокоинтенсивные аномалии естественного электрического поля

В Приморье, Хабаровском крае выявлены многочисленные отрицательные аномалии интенсивностью от -100 мВ до -500 мВ, фиксирующие полисульфидные зоны, в том числе вмещающие рудные объекты. В 60-е годы прошлого столетия в пределах Фурмановского, Арминского рудных районов, впоследствии на других участках Приморья, были зафиксированы аномалии большей интенсивности (от -500 до -1500 мВ). Установлена связь этих аномалий с углисто-графитизированными породами [7]. В Хабаровском крае в Конкулинском рудном узле методом ЕП выявлены действительно уникальные аномалии потенциала от -2 В до -10 В. Аномальное естественное электрическое поле имеет сложный характер (рис. 2) и занимает площадь около 100 км².

Отмечается серия локальных аномалий с преобладанием высокоинтенсивных до -8 В. Высокоинтенсивные аномалии приурочены к площади распространения метаморфизованных гранат-графит-биотитовых гнейсов, тела которых имеют значительную протяженность на глубину.

Графитистое вещество и пиритизация в них распределены неравномерно. Метаморфизованные породы перекрыты толщей гравелитов, кварцевых песчаников, кварцевых конгломератов (рис. 3), характеризующихся высоким удельным электрическим сопротивлением (мощность толщи десятки –120 м). В литературе, в частности, в статье В.А. Шевнина и др. [11] утверждается, что интенсивные отрицательные аномалии имеют электрокинетическую природу, возникают в условиях высокогорья, причем фильтрующие воды – слабо минерализованные с высоким электрическим сопротивлением.

В нашем случае представляется влияние комплекса факторов:

- наличие однородных по составу электронных проводников, к которым относятся графит и пирит;
- наличие протяженных (до нескольких километров) на глубину метаморфизованных толщ, содержащих электронные проводники, что способствует усилению аномального эффекта;
- наличие анизотропии пород, содержащих электронные проводники.

По данным петрофизического анализа, в шлифах отмечается распространение графитистого вещества в количестве от 3 до 15 %, содержание пирита составляет первые проценты. Вещество неравномерно рас-



Рис 2. Карта-схема изолиний потенциала естественного электрического поля U_{EP} в В, участок Угдан.

0 1 км

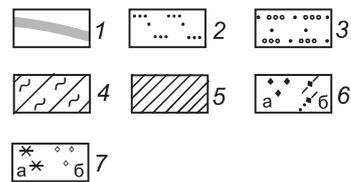
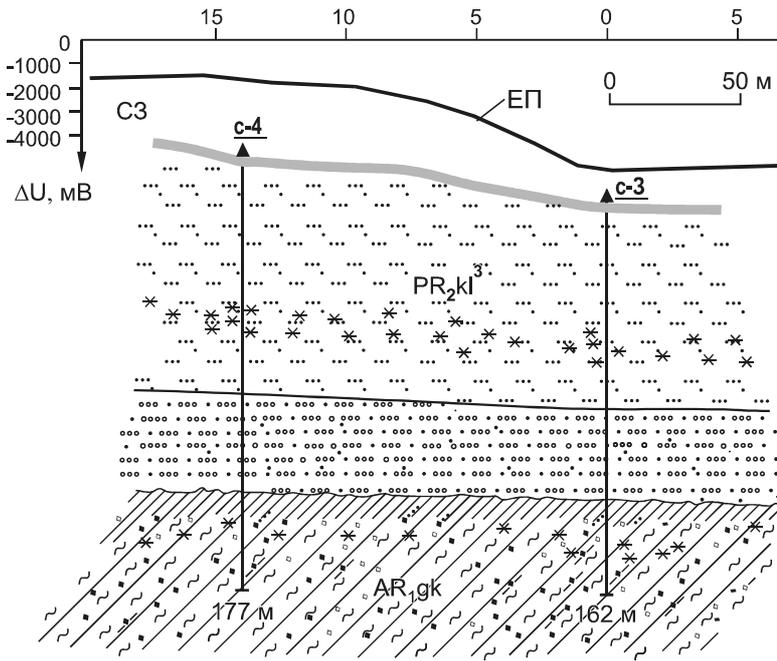


Рис 3. График потенциала ЕП и фрагмент геологического разреза района высокоинтенсивных аномалий ЕП.

1 – делювиальные отложения: галечник, пески; породы конкулинской свиты протерозоя: 2 – переслаивание песчаников с гравелитами, редкими малоомощными прослоями алевролитов; 3 – кварцевые конгломераты и полевошпат-кварцевые гравелиты; 4 – породы архея (графит-биотитовые и графит-гранат-биотитовые гнейсы); 5 – кора выветривания по архейскому кристаллическому фундаменту; 6 – сульфидная минерализация: вкрапленная (а), прожилковая (б); 7 – лимонитизация по массе пород (а), пирит, замещенный гидроксидами железа (б).

пределено в породе, часто в виде ориентированных, связанных между собой цепочек, хорошо проводящих ток и контактирующих с породами высокого сопротивления. Таким образом, уже на микроуровне отмечается анизотропия пород. Кроме этого установлена макроанизотропия пород, при этом низкоомные зоны, над которыми наблюдаются интенсивные аномалии

ЕП, контактируют с непроводниками. В результате моделирования [1] установлено, что такое строение анизотропной толщи вызывает увеличение аномалии U_{EP} в 2 раза (влияние анизотропии), наличие перекрывающей высокоомной толщи обуславливает дополнительное увеличение амплитуды U_{EP} в 1.7 раза. Несомненно, воздействует и фильтрация вод. Косвенным

подтверждением влияния наличия фильтрационных потенциалов является приуроченность аномалий к зонам разломов.

Оказывает влияние на увеличение амплитуды потенциала ЕП также ряд других факторов. К ним относятся: химизм вод, значение рН, низкий уровень грунтовых вод. В пользу последнего предположения может служить отмечаемое интенсивное окисление пород коры выветривания в разрезе пробуренных скважин на глубинах 120–140 м. Все перечисленные выше факторы вызывают аномальный эффект одного знака.

Для изучения феномена высокоинтенсивных аномалий потенциала ЕП необходимы дополнительные исследования: проведение измерений кажущегося сопротивления (КС), ЕП, ВП в пробуренных скважинах, постановка ВЭЗ ВП в районе аномалий, гидрогеологические и гидрохимические исследования, специализированные работы по установлению и изучению фильтрационных эффектов.

Глубинные аномалии ЕП

Впервые в процессе тематического обобщения материалов ЕП в Приморье были установлены аномалии нового типа в Фурмановском рудном районе и на Малиновской рудоперспективной структуре. Их наличие не исключается в других районах Приморья. Характерными особенностями аномалий этого типа являются: относительно небольшая интенсивность (от -50 до -200 мВ), значительные размеры в плане (от десятков до сотни квадратных километров), отсутствие корреляции аномалий с рельефом, низкие значения горизонтального градиента в краевых частях аномалий (0.02–0.05 мВ/м). По расчетным данным глубина залегания аномальных объектов оценивается в 1–3 км, отмечается приуроченность аномальных объектов к выделенным по гравиметрическим данным нижним границам вулканотектонических кальдер, гранитоидных интрузий. Они тяготеют к зонам крупных разломов, располагаются в областях относительно глубокого залегания кристаллического фундамента (5–7 км и более).

Аномалии имеют локальные осложнения, фиксирующие близповерхностные сульфидные зоны. На рис. 4 приведен схематический геолого-геофизический разрез через зону Календарную, вмещающую Лазовское и Юбилейное месторождения.

График потенциала ЕП имеет глубинную и поверхностную (локальную) составляющие. Аномальный объект приурочен к нижней кромке лакколитообразной гранитоидной интрузии, находится в зоне глубинных разломов. Сходные по параметрам аномалии неизвестного генезиса отмечались в Хабаровском крае, в Комсомольском рудном районе.

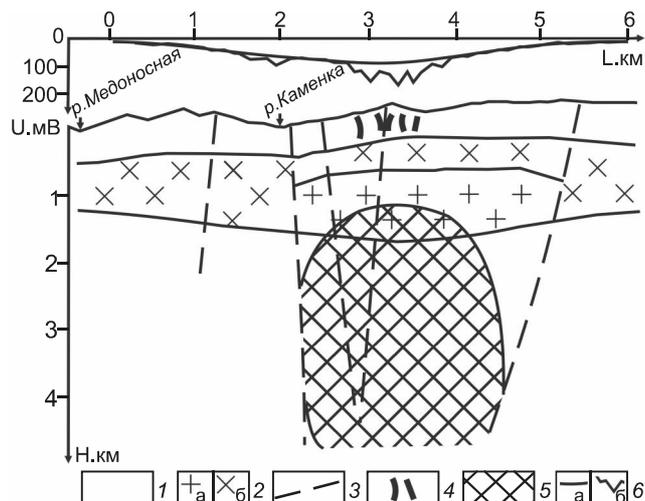


Рис. 4. Схематический геолого-геофизический разрез аномальной зоны Календарной.

1 – вулканогенно-осадочные породы; 2 – скрытые интрузивные массивы, по гравиметрическим данным: а) преимущественно гранитного состава, б) преимущественно гранодиоритового состава; 3 – разломы; 4 – сульфидные рудные тела; 5 – зоны сульфидной минерализации; 6 – графики потенциала естественного поля: а) глубинной составляющей, б) поверхностной (локальной) составляющей.

Аномалии данного типа связываются с крупными зонами сульфидной минерализации, которые можно отнести к разряду большеобъемных сульфидных месторождений [8]. Можно предполагать полисульфидный состав зон. Механизм образования аномальных эффектов, по-видимому, аналогичен электрохимическим процессам вблизи поверхности. Он связывается с окислительно-восстановительными реакциями на границе «электронный проводник–электролит», где главным реагентом является кислород. Проникновение свободного атмосферного кислорода биогенного происхождения вместе с подземными водами возможно на значительные глубины (до 1 км и более), особенно на участках интенсивно развитой разрывной тектоники. О значительном проникновении на глубину трещинных подземных вод, обогащенных кислородом, свидетельствует информация, полученная в результате бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 [3]. Распространение вод на глубину определяется трещиноватостью водовмещающих пород. В разрезе скважины до глубины 2.5–3 км установлены трещины различных направлений. До глубины 4.5–4.6 км интервалы повышенной трещиноватости группируются в крупные зоны мощностью 500–800 м. К этим зонам приурочены подземные воды трещинно-жильного типа. Все обнаруженные в разрезе зоны трещиноватости, в том числе и на больших глубинах (до 9 км), содержат свободную

(гравитационную) воду и характеризуются повышенным коэффициентом фильтрации.

Наличие природных электронных проводников на разных глубинах предопределяет возможность протекания электродных процессов и появления глубинных источников тока. Необходимо, чтобы к источнику поступал реагент, способный к электродной электрохимической реакции [5]. В верхних частях земной коры таким реагентом является кислород. Как указывается в [8], распространение на глубину «кислородных» гальванических элементов отмечается на глубинах от 1 до 3–5 км. Выявленные аномальные объекты в Приморье могут обеспечить создание резерва скрытых большеобъемных сульфидных месторождений.

Как показывает анализ фактических полевых материалов метода ЕП, полученные данные потенциала (градиента-потенциала) ЕП осложнены влиянием разнородных помех. В этих условиях для выявления малоинтенсивных глубинных аномалий должны применяться статистические методы анализа (использование способа обратной вероятности). Наблюдаемые значения поля ЕП содержат неопределенность в отношении наличия или отсутствия искомых аномалий и могут быть представлены либо только помехами $n(x_j)$:

$$f(x_j) = n(x_j) \quad (1)$$

либо смесью помех и полезной информации $a(x_j)$

$$f(x_j) = n(x_j) + a(x_j) \quad (2)$$

Задачу выделения слабоинтенсивных глубинных аномалий ЕП можно свести к операции, которая осуществляется путем взаимной корреляции наблюдаемого поля и формы ожидаемой аномалии [2]. Про-

водится статистическая оценка наблюдаемого поля в отношении наличия или отсутствия аномалии $a(x)$.

Методика выявления слабоинтенсивных глубинных аномалий ЕП опробована при изучении материалов естественного электрического поля участка Ариадненского в пределах Малиновской рудоперспективной структуры. Ниже приводится краткая информация о результатах проведенных работ, более детально методические аспекты приведены в работе [8].

ВЫБОР ЭТАЛОННЫХ АНОМАЛИЙ

Один из самых важных этапов использования способа обратных вероятностей является выбор эталонных аномалий. Существуют три пути выбора ожидаемой аномалии: теоретический, опытный и смешанный.

В нашем случае был осуществлен опытный выбор. Использовались результаты обобщения материалов ЕП по Фурмановскому рудному району.

Искомая эталонная аномалия (рис. 5 а) получена в результате графического осреднения 4-х пересечений аномалий, где она достаточно четко проявлена на графиках потенциала ЕП. При этом не учитывались локальные аномалии, связанные с малоглубинными сульфидными зонами. Ширина аномалий составляет 6–7 км. Для выбранной эталонной аномалии были подсчитаны значения градиента потенциала, проведена фильтрация значений ΔU_a с окном осреднения 500 м, рассчитана средняя величина $\Delta U_{\text{ср}}$ и значения аномалии приведены к нулевому среднему путем вычитания из них среднего.

Таким образом, эталонная аномалия обладает достаточной протяженностью в поперечном сечении

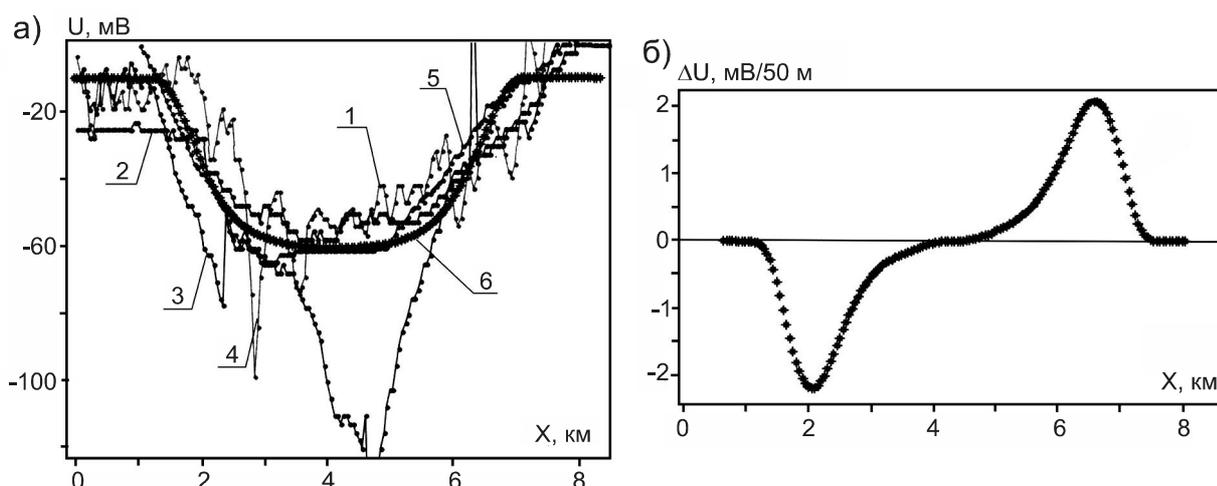


Рис. 5. Характеристика эталонной аномалии естественного электрического поля.

а) 1–5 – наблюдаемые графики аномалий потенциала $U_{\text{ЕП}}$, мВ; 6 – график выбранной эталонной аномалии потенциала $U_{\text{ЕП}}$, мВ; б) график эталонной аномалии градиента потенциала $\Delta U_{\text{ЕП}}$, мВ/50 м.

(фиксируется 110–130 точками наблюдения при шаге 50 м), то есть площадные размеры аномалии значительны, что отличает ее от локальных аномалий, осложняющих графики и связанных с малоглубинными сульфидными объектами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ЕП ПО УЧАСТКУ АРИАДНЕНСКОМУ МАЛИНОВСКОЙ РУДОПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ

Исследуемый район относится к Центральной Сихотэ-Алинской металлогенической зоне Приморья. В геологическом строении площади принимают участие осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы юрского, мелового возраста и рыхлые отложения четвертичного периода. На большей части площади распространены эффузивные образования кислого и среднего состава.

Интрузивные образования развиты в северо-западной части участка и представлены главным образом гранитами. В юго-восточной части площади выявлен ряд скрытых интрузий среднего и основного состава.

В тектоническом плане наиболее крупными структурными единицами площади, фиксирующимися в гравитационном и магнитном полях, являются Центральный Сихотэ-Алинский разлом, проходящий через все Приморье, и две широтные (северная и южная) тектонические ослабленные зоны. Из других элементов тектоники в геофизических полях фиксируется ряд разрывных нарушений, контролирующих в определенной мере рудную минерализацию.

Естественное электрическое поле градиента потенциала ЕП имеет достаточно сложный характер. Наряду с зонами с четко выраженными аномалиями $U_{\text{ЕП}}$ и $\Delta U_{\text{ЕП}}$ отмечаются участки со значениями поля, близкими к нормальному. Интенсивность большинства таких малоинтенсивных аномалий составляет ± 10 мВ. Они имеют часто субмеридиональное, северо-восточное простирание, протяженность их колеблется от 500 до 2000 м. Линейно вытянутые аномалии, как правило, приурочены к разломам, иногда дайкам среднего состава. Часто они совпадают с отрицательными аномалиями магнитного поля, сопровождаются ореолами халькофильных элементов. В результате проверочных работ канавами в районе аномалий вскрыты зоны дробления с повышенным содержанием свинца и цинка. Изометричные и овально-вытянутые аномалии пространственно приурочены к сочленениям разнонаправленных разломов, также имеют рудную полисульфидную природу.

Анализ графиков пересчитанного с $U_{\text{ЕП}}$ градиента потенциала наблюдаемого поля показывает их

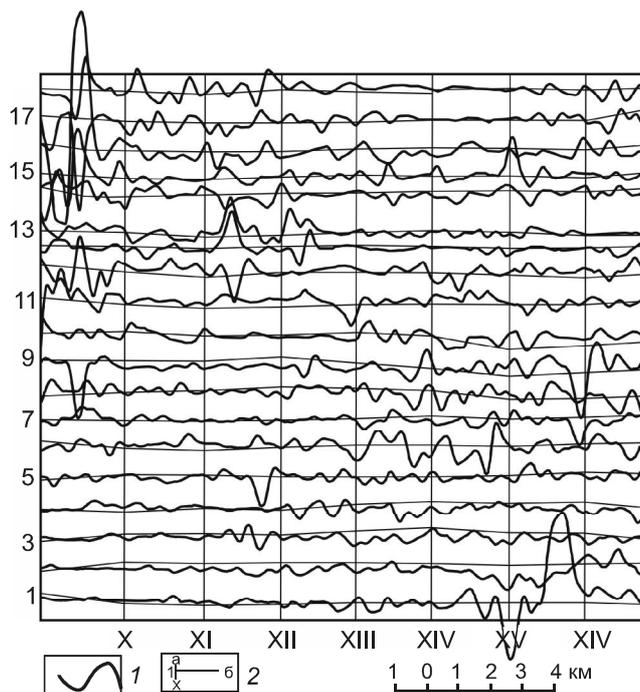


Рис. 6. Карта графиков осредненных значений градиента потенциала ЕП ($\Delta U_{\text{ЕП}}$), участок Ариадненский: 1 – графики градиента потенциала ЕП, мВ/50м; 2 – магистрали (а), профили (б).

большую изрезанность, что затрудняет выделение слабоинтенсивных аномалий (рис. 6).

Величина градиента колеблется от 1–10 мВ/50 м до 300 мВ/50 м. Визуальное выявление искомым широким аномальных зон по графикам $\Delta U_{\text{ЕП}}$ практически невозможно. Для выделения глубинных аномальных зон, связываемых с большеобъемными сульфидными объектами, использован способ обратных вероятностей.

Расчеты проведены в автоматическом режиме с применением ПЭВМ по программе 1Д, составленной И.В. Дмитриевым. Для уменьшения влияния высокочастотных помех предварительно производилась фильтрация графиков $\Delta U_{\text{ЕП}}$ с окном осреднения много меньшим по сравнению с шириной предполагаемой аномалии над искомым объектом. Опытным путем установленное окно осреднения равно 500 м.

Графики отфильтрованного поля, представленные на рис. 5, приведены к нулевому среднему. После этого была рассчитана вероятность присутствия аномалии на исследованных профилях. Графики вероятностей $p(a)$ приведены на рис. 7.

Наиболее перспективными на обнаружение глубинных большеобъемных сульфидных объектов представляются аномалии $p(a) \approx 1$ на профилях 3–6 и 8–9 в юго-восточной части площади на водоразделе ручьев

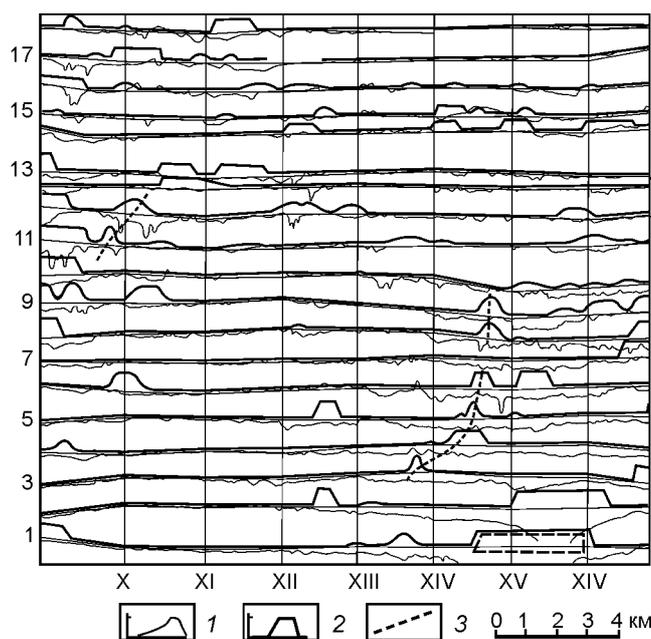


Рис. 7. Карта графиков потенциала ЕП и графиков вероятности $P(a)$, участок Ариадненский.

1 – графики потенциала ЕП, мВ; 2 – графики вероятностей $p(a)$; 3 – оси глубинных аномалий ЕП.

Ладошина и Ветвистого. Оси аномалий имеют северо–восточное, на профилях 5–9 субмеридиональное простирание. Отмечается их приуроченность к крупной вулcano-тектонической структуре. Расчетная глубина залегания объектов составляет около 2.5 км, что совпадает с подошвой вулcano-тектонической структуры. Чтобы исключить возможность фильтрационной природы выявленных аномалий, был рассчитан коэффициент корреляции между рельефом (высота снималась с топографической карты) и значениями поля $U_{\text{ЕП}}$.

Коэффициент корреляции составил -0.012, что свидетельствует об отсутствии корреляции рельефа и поля $U_{\text{ЕП}}$. Учитывая положение выявленных аномалий, они являются первоочередными для дальнейшего изучения.

С целью подтверждения глубинной природы аномалий ЕП необходимо провести детальное изучение геологической и металлогенической обстановки района аномальной зоны с поверхности и осуществить постановку исследований методом ВЭЗ ВП с АВ = 10–12 км.

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОИНТЕНСИВНЫХ ГЛУБИННЫХ АНОМАЛИЙ ЕП

Изучение накопленного опыта выделения слабоинтенсивных геофизических аномалий среди помех, включая результаты статистической обработки мате-

риалов на участке Ариадненском, позволило сформировать основные положения технологии выделения малоинтенсивных глубинных аномалий ЕП с применением способа обратных вероятностей. Они сводятся к следующему:

1. Осуществляется выбор площадей для проведения исследований. Анализуют материалы по территориям, изученным методом ЕП в масштабе 1:50 000, расположенным в пределах рудных районов и рудоперспективных площадей. Первоочередными являются участки со скрытыми интрузивными массивами, вулcano-тектоническими структурами, зонами глубинных разломов.

2. Принимается визуальная попытка выделения относительно широких аномалий.

3. Проводится подготовка материалов ЕП к использованию их для применения способа обратных вероятностей: преобразование наблюдаемого поля ЕП в значения градиента потенциала, фильтрация поля в случае его осложненности высокочастотной знакопеременной составляющей при окне осреднения значительно меньше (в 5 и более раз) ширины искомой аномалии.

Производится расчет средних значений $\Delta U_{\text{ЕП}}$ по профилям и приведение к нулевому среднему путем вычитания среднего из каждого значения поля; производится расчет дисперсии и средней дисперсии по всем профилям.

4. Осуществляется выбор эталонной аномалии. Для Приморья наиболее реальным оказался опытный путь, основанный на использовании полевых наблюдений, содержащих данные о полезных искомым аномалиях. Из серии выделенных аномалий рассчитывается средняя эталонная аномалия. По мере вовлечения в анализ новых площадей форма эталонной аномалии будет уточняться. Возможно использование вариантов эталонных аномалий.

5. Рассчитываются вероятности $p(a)$ с построением графиков по всем профилям.

6. Для выявленных аномалий $p(a) > 0.5$, в первую очередь для $p(a) \approx 1$, рассчитываются коэффициенты корреляции между формой рельефа (распределение высот) и значениями потенциала $U_{\text{ЕП}}$. Наличие корреляции свидетельствует о возможной фильтрационной природе аномалий.

7. На заключительном этапе, используя имеющуюся геологическую информацию, данные других методов, проводится анализ выявленных аномалий $p(a)$ ($\Delta U_{\text{ЕП}}$) с выбором тех из них, которые можно связать с глубинными электропроводящими объектами.

Признаками аномалий глубинной природы при $p(a) > 0.5$ являются:

- отсутствие корреляции аномалий $U_{\text{ЕП}}$ с рельефом;
- прослеживание зон $\rho(a) > 0.5$ на нескольких профилях;
- связь аномалий $\rho(a)$, как правило, с осадочной или вулканогенно-осадочной толщей предполагаемых вулканогенно-осадочных или вулканогенно-купольных структур, а также установленной по геофизическим данным нижней кромкой скрытых интрузий кислого и среднего состава.

В результате должны быть даны рекомендации для дальнейшего изучения выявленных аномальных зон. Разработанная методика может быть использована при изучении обширных обработанных методом ЕП площадей. В районе выявленных глубинных аномалий необходимо провести работы по подтверждению геологической природы и перспективности выявленных аномальных зон путем их комплексного геолого-геофизического изучения.

УСТОЙЧИВЫЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ ЕП

Большинство устойчивых аномалий потенциала ЕП на исследованных площадях имеют отрицательный знак. Положительные аномалии встречаются реже. Они либо сопровождают отрицательные и связаны с элементами залегания возмущающих объектов, либо связаны, в основном, с пониженными участками рельефа в местах скопления атмосферных вод. Это аномалии фильтрационной природы, и они, как правило, имеют относительно небольшие амплитуды. Характер аномалий меняется в зависимости от времени измерений относительно выпадения осадков (происходит увеличение амплитуды аномалий положительного знака после прохождения дождей). Вместе с тем в Приморье, в западной части Кавалеровского рудного района, удалось наблюдать обособленную высокоинтенсивную положительную аномалию близкой к изометричной формы с амплитудой около 800 мВ [8]. Она приурочена к граносиенитовому массиву, выявлена на пологом склоне. Амплитуда аномалии практически не менялась при повторных наблюдениях с интервалом 0,5, 11 месяцев, 5 лет. При геологическом обследовании района аномалии сульфидной минерализации не обнаружено. Установленные особенности аномалии позволяют связать ее с устойчивым восходящим потоком вод в тектонически ослабленной зоне в интрузивном массиве. Таким образом, выявленная аномалия имеет электрокинетическую природу.

УНИКАЛЬНЫЕ АНОМАЛИИ ВП

Поскольку в рудоносных структурах присутствуют электронные проводники (зоны сульфидной и магнетитовой минерализации, графитизированные поро-

ды), решающую роль в составе электроразведочных комплексов принадлежит, наряду с методом естественного электрического поля (ЕП), методу вызванной поляризации (ВП) [12].

Выявленные аномальные зоны соответствуют известным теоретическим представлениям и типичны для изученных геологических обстановок. Вместе с тем в относительно редких случаях зафиксированы аномалии, которые можно отнести к разряду уникальных.

Опыт исследований методом ВП в различных районах Дальнего Востока свидетельствует о высокой стабильности параметра кажущейся поляризуемости η_k , причем наблюдения воспроизводятся с точностью до 5–7 % при многократных повторных наблюдениях, проводимых с интервалом от нескольких дней до нескольких лет. Однако в Приморье в процессе полевых работ отмечены случаи плохой воспроизводимости параметра η_k . Автором впервые были выделены «меняющиеся во времени аномалии ВП в Кавалеровском и Фурмановском рудных районах [6]. На флангах известных оловорудных месторождений Нижнего и Высокогорского (участки Нижний и Кенцухе – Силинский) были выявлены аномалии с амплитудой до 8–15 %, что соответствует аномалиям над перспективными сульфидными оловорудными зонами. Аномальная зона на флангах Нижнего месторождения была подтверждена повторными измерениями через пять дней (рис. 8).

Отмечена связь аномальной зоны с толщей туфогенно-осадочных пород пониженного электрического сопротивления ($\rho_k = 50–150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), совпадающей с отрицательной аномалией силы тяжести, фиксирующей зону разлома. Ширина зоны проводимости 0,5–1 км, распространение по вертикали, по данным ВЭЗ ВП, в интервале до 300 м. Рядовые и проведенные через малый промежуток времени повторные измерения установкой трехэлектродного электропрофилирования вызванной поляризации (ТЭП ВП) осуществлены во время устойчивой сухой погоды, когда в течение почти двух месяцев не выпадало дождей. Через месяц на профиле 20 в районе эпицентра аномальной зоны были проведены наблюдения методом ВЭЗ ВП для определения параметров аномального объекта. Оказалось, что на разносах, соответствующих электропрофилированию ВП, значения η_k уменьшились до фоновых (2,5–3 %). К этому времени изменились метеорологические условия, выпали осадки. Еще через месяц, когда из-за многократного выпадения дождей влажность увеличилась, вновь были произведены измерения установками ТЭП ВП и ВЭЗ ВП. При удовлетворительной сходимости ρ_k аномальная поляризу-

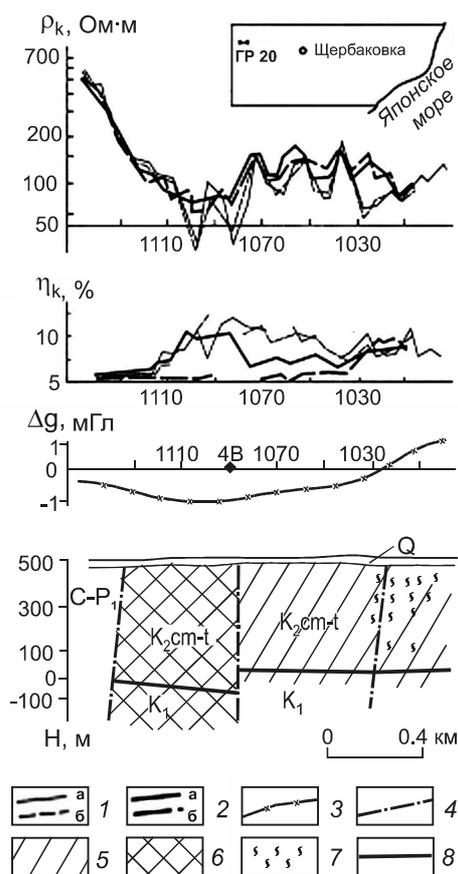


Рис. 8. Результаты геофизических работ по профилю 20 (фланги месторождения Нижнего).

Графики ρ_k и η_k трехэлектродного электропрофилерования ВП, полученные: 1 – установкой А165N55M (а – 07.08.73 г., б – 12.08.73 г.); 2 – установкой А110N/55M (а – 15.08.73 г., б – 19.10.73 г.); 3 – график локальной составляющей силы тяжести; элементы, выделенные по геофизическим данным: 4 – разломы; 5 – зоны дробления, трещиноватости; 6 – зоны интенсивной трещиноватости; 7 – сульфидная минерализация; 8 – границы опорного горизонта высокого электрического сопротивления; 4В – точка ВЭЗ ВП и ее номер; Q – аллювиально-делювиальные отложения; K_{2cm-t} – андезиты и их туфы, дациандезиты; K_1 – алевролиты, песчаники, конгломераты; C- P_1 – алевролиты, песчаники, кремни.

емость в центральной части профилей не подтвердилась (значения η_k около 1 %, см. рис. 8). Через год в обычных для Приморья метеорологических условиях измерения в точке ВЭЗ №4В были повторены. Величины η_k заняли промежуточное значение между результатами наблюдений в сентябре и октябре 1973 г. (1.3–1.5 %). Вместе с тем в восточной части профиля, непосредственно на флангах месторождения Нижнего, где по данным бурения отмечается вкрапленность сульфидов, аномальные значения η_k хорошо воспроизводились при многократных измерениях. В этот же период летом 1973 г. «меняющиеся во времени»

аномалии ВП были зафиксированы в Кавалеровском рудном районе на участке Кенцухе – Силинском. Исследования были проведены методом электропрофилерования с установкой градиента с АВ = 2000 м при наблюдениях на всем интервале между питающими электродами. На фоне нормальных для участка значений (3–4 %) отмечены локальные аномальные зоны (7–11 %). Через год этой же аппаратурой другим опытным оператором были проведены контрольные измерения на профиле 17. На части профиля отмечена удовлетворительная сходимость графиков η_k и ρ_k , в том числе подтверждена аномалия η_k , в интервале пикетов 500–600, аномальные значения η_k (6–9 %) снизились до 2–3 %. Меняющиеся во времени аномалии приурочены к широтной тектонически ослабленной зоне. На участке Нижнем и Кенцухе – Силинском, где зафиксированы аномалии данного типа, сульфидной минерализации с поверхности не обнаружено.

В практике работ встречались и другие примеры невоспроизводимости отдельных наблюдений ВП, которые, как правило, не анализировались, полученные материалы отбраковывались.

Анализ литературных данных позволил предположить, что установленное явление связано с эффектом ВП в ионопроводящих породах, с электрокинетическими явлениями в капиллярных системах. Обычно величина ионопроводящих пород характеризуется фоновыми значениями (1–3 %). Однако экспериментально установлено, что при уменьшении влажности образца порошка кварца с 10 % до 3 % поляризуемость увеличилась с 1.4 % и достигла максимального значения в 15–17 %. (табл.) [4, 6, 10].

Эффектом уменьшения влажности при условии слабой минерализации раствора, заполняющего поры (капилляры), можно объяснить возникновение «меняющихся во времени» аномалий в приведенных примерах. Устойчивый засушливый период, в течение которого выполнялись наблюдения ВП, обусловил уменьшение влажности участка капиллярной системы, отождествляемой с зоной трещиноватости. Повторные измерения со значительным разрывом по времени

Таблица. Изменение вызванной поляризации порошка кварца в зависимости от влажности образца.

Влажность образца W_0 , в %	Сопротивление $\rho \cdot 10^{-5}$ Ом	Поляризуемость η_k , %
10.0	1.2	1.4
9.0	1.4	2.3
7.4	3.8	5.7
6.0	5.6	8.3
3.3	14.0	17.2
2.7	11.0	14.3
1.0	17.0	0.9

проводились при других гидрогеологических режимах, в условиях увеличения влажности, что привело к снижению значений на этих площадях. Выявленный эффект «меняющихся во времени» аномалий ВП может быть использован для изучения динамики водного режима тектонически ослабленных зон и способствовать достоверному определению геологической природы аномалий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изложенное выше указывает на существование уникальных аномалий электрических полей, изучение которых позволяет получить новую информацию о геологическом строении недр исследованных территорий, выявить скрытые глубокозалегающие рудные объекты. В дальнейшем необходимо продолжение и расширение электроразведочных исследований в комплексе с другими геофизическими методами на неизученных территориях, а также анализ материалов многолетних исследований с использованием новых методик, с учетом новой геолого-геофизической информации. Выявление и объяснение природы уникальных аномалий представляет научный и практический интерес, способствует расширению возможностей отдельных модификаций электроразведочных методов для решения геологических задач, которые ранее перед ними не ставились.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грунтоград Я.И. Влияние плохо проводящих пластов на аномалию естественного электрического поля // Вестн. ЛГУ. Сер. Геология и география. 1957. № 12. С. 42–47.
2. Демидович О.А. Выделение слабых геофизических аномалий статистическим способом. М.: Недра, 1969.
3. Кольская сверхглубокая. Исследования глубинного строения континентальной коры с помощью бурения сверхглубоких скважин. М.: Недра, 1984.
4. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980. 391 с.
5. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля, 3-е изд. Л.: Недра, 1980. 446 с.
6. Сидорова М.П., Фридрихсберг Д.А. Исследование вызванной поляризации и электрохимической активности насыпных диафрагм при различной влажности // Вестн. ЛГУ. Сер. Физика, химия. 1957. № 16. С. 146–150.
7. Столов Б.Л. Геоэлектрическая модель основных рудных районов Приморья // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 2. С. 59–63.
8. Столов Б.Л. Уникальные аномалии электрических полей Дальнего Востока и их геологическая природа // Геофизика. 2004. № 4. С. 43–47.
9. Столов Б.Л., Дмитриев И.В. Глубинные аномалии естественного электрического поля в Приморье: геологическая природа и методика их выделения // Геофизика. 2006. № 6. С. 44–51.
10. Фридрихсберг Д.А. Сидорова М.П. Исследование связи явления вызванной поляризации с электрокинетическими свойствами капиллярных систем // Вестн. ЛГУ. Сер. Физика, химия. 1961. № 16. С.
11. Шевнин В.А., Рыжов А.А., Квон Д.А. Интересный научный факт – сильные аномалии ЕП безрудной природы // Геофизика. 2015. № 2. С. 2–8.
12. The investigation of Primorye's ore provinces by electrical prospecting methods // International symposium on geosciences progresses on Northeast Asia. Abstr. Vol. China: Chanchung, 1995.

Рекомендована к печати В.Б. Каплуном

B.L. Stolov

Non-typical anomalies of geoelectric fields of Primorye and their significance for geological investigation of the Earth interior (Far East of Russia)

The paper characterizes the unique (non-typical) anomalies of the electric fields, describes their features and explains the geological causes for their origin. Negative highly intensive anomalies of the original electric field potential (OP), deep-seated OP anomalies are considered, and non-typical changing in time anomalies of the apparent polarizability (η_k) obtained by the method of induced polarization are considered. Geological and geophysical causes of these anomalies, their scientific and practical value are discussed. The necessity of further advance study of the anomalies of these types with new objects to be determined is indicated. The recommendations are made to continue and expand electromagnetic studies on previously unexplored territories, as well as to re-interpret the previously obtained material.

Key words: original electric field, method of induced polarization, reference anomalies, unique (non-typical) anomalies, Far East of Russia.