

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2017



УДК 550.837

DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9528

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТА В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩАХ МУШТИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

© 2017 С. Г. Парада¹, д.г.-м.н., В. А. Тарасов²

¹Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: segripa@rambler.ru;

²НПК «Элгео», Россия, 197110, г. Санкт-Петербург, Левашовский пр., 12а, e-mail: mail@elgeo.ru

Рассмотрены результаты применения импульсной модификации метода вызванной поляризации (ВП) в пределах Муштинского рудного поля при проведении поисковых работ на площадях Малка-Муштинского рудного узла. Охарактеризована наиболее оптимальная система измерений, которая позволила в условиях сильно расчлененного горного рельефа и развития углеродистых сланцев выявить протяженные минерализованные зоны и стратиформноподобные залежи различного минерального типа, включающие потенциальные золоторудные тела. Показано, что наиболее эффективным для регистрации параметром ВП является заряжаемость, которая в силу своего интегрального характера в данных условиях является более помехоустойчивым параметром, чем поляризуемость. Данные по кажущемуся сопротивлению (КС) и заряжаемости проанализированы с помощью метода главных компонент, когда 1-я главная компонента соответствует обратной зависимости между логарифмом КС и заряжаемостью, а ортогональная ей 2-я главная компонента – прямой. Таким образом, аномальные области 1-й компоненты соответствуют участкам предполагаемого развития углеродистых сланцев и зон обводненных разломов, обладающих низким сопротивлением и повышенной заряжаемостью, 2-й компоненты – предполагаемым зонам окварцевания и сульфидно-вкрапленно-прожилковой минерализации, обладающих повышенным КС и повышенной заряжаемостью.

Ключевые слова: электроразведка, метод вызванной поляризации, заряжаемость, сопротивление, метод главных компонент, углеродистые сланцы, рудоносные зоны.

Введение

Потенциально золотоносные черносланцевые толщи в составе различных литолого-стратиграфических комплексов достаточно широко распространены на Северном Кавказе [Гончаров и др., 2005; Парада, 2015; Богущ и др., 2016; и др.]. В последние годы на некоторых участках проведены поисковые работы на золото. Результаты этих работ нашли отражение в статьях [Пичужков и др., 2005; Вертий, 2006; Парада и др., 2011; Багатаев, Бергер, 2012; Мисетов, Полквой, 2012; Волкова и др., 2014; Давыденко и др., 2014; Черкашин, Богущ, 2015; Богущ и др., 2016; Чотчаев, Гогичев, 2016; Парада, 2017; и др.]. Однако практически значимых открытий геолого-поисковые работы не принесли. Преимущественно стратиформный характер залегания золото-сульфидно-вкрапленных и золото-кварцево-прожилковых руд в черносланцевых толщах предполагает наличие слепых рудных тел и зон и, соответственно, особый комплекс поисковых работ, нацеленный на их обнаружение. Основой такого поискового комплекса является колонковое бурение и геофизические работы, в том числе, методом вызванной поляризации (ВП). Первое является

слишком дорогостоящим для стадии поисковых работ, а второе – достаточно приемлемым по стоимости и эффективности. Эффективность метода ВП при поисках коренных золоторудных месторождений подтверждена неоднократно [Seigel, 1984; Doyle, 1990; Oldenburg, 1997; Тарасов и др., 2010; и др.], в том числе и на Северном Кавказе [Емкужев и др., 2013; Заалишвили и др., 2015; Тарасов и др., 2015б]. Однако следует иметь в виду, что геофизические аномалии не являются прямыми признаками золотого оруденения. Наиболее успешно метод ВП используется для выявления скоплений сульфидных минералов. Кроме того, в черносланцевых толщах он может фиксировать скопления рассеянных частиц графитизированного органического углерода. При этом о золотоносности выявленных методом ВП зон сульфидизации и графитизации можно судить только по результатам опробования и химических анализов проб.

В связи с вышеизложенным, представляет интерес опыт применения метода ВП в пределах Муштинского (Хасаутского) рудного поля при проведении поисковых работ на площадях Малка-Муштинского рудного узла. По результатам этих работ выявлены протяженные минерализованные зоны и стратиформноподобные залежи, включающие потенциальные золоторудные тела [Парада и др., 2015].

Характеристика объекта исследования

В металлогеническом отношении Муштинское рудное поле входит в состав Малка-Муштинского золото-редкометалльно-полиметаллического рудного узла Бечасынской золото-редкометалльно-полиметаллической минерагенической зоны. В юго-западной части рудного поля, приуроченной к эндо- и экзоконтакту палеозойских малкинских гранитов установлены рудопроявления вольфрама, свинца и цинка. Сразу за юго-западной границей исследованного участка расположено полиметаллическое месторождение Чочу-Кулак.

Основные черты геологического строения Муштинского рудного поля изложены в статьях [Вертий, 2006; Вертий, Щеглов, 2009; Парада и др., 2011; Матишов и др., 2011; Шишкалов, 2011; Емкужев и др., 2013; Парада и др., 2015]. Особенности геологического строения и условия локализации оруденения достаточно подробно изложены в недавней нашей работе [Парада и др., 2015]. В соответствии с ней основная площадь рудного поля сложена метаморфическими и метаморфизованными породами и незначительная часть – осадочными неметаморфизованными и интрузивными породами. Они слагают два структурных этажа. Нижний этаж представлен метаморфическими, метаморфизованными и магматическими образованиями протерозой-палеозоя, верхний – терригенными отложениями нижней юры. Метаморфические и метаморфизованные породы верхнего протерозоя представлены (снизу-вверх): бечасынской свитой биотит-полевошпат-кварцевых и амфиболовых сланцев и амфиболитов эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма; малкинской свитой, разделенной на нижнюю терригенную подсвиту кварц-серицитовых и кварц-хлорит-серицитовых сланцев, и верхнюю карбонатно-вулканогенно-терригенную подсвиту, состоящую из переслаивающихся кварц-хлоритовых и филлитовидных сланцев, углеродистых филлитов, метапесчаников, туфопесчаников и аполав от кислого до основного состава, единичных прослоев мраморизованных известняков, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации; шиджатмазской свитой туфоалевролитов, туфопесчаников с прослоями кварц-хлоритовых сланцев, туфо- и лавоконгломератов, степень постседиментаци-

онного изменения которых не достигает условий зеленосланцевой фации метаморфизма, и представлена катагенетическими преобразованиями.

Верхний (нижнеюрский) структурный этаж сложен хумаринской свитой разнотерристых песчаников, включающих прослойки аргиллитов с маломощными пропластками углей, и конгломератами в основании.

Интрузивные породы входят в состав нижнего структурного этажа и представлены среднепротерозойским хасаутским габбро-диабазовым гипабиссально-субвулканическим комплексом и позднепалеозойским малкинским гранитовым комплексом. Интрузивные тела хасаутского комплекса залегают среди метаморфических пород в форме силлов, реже – секущих даек габбро-диабазов, микрогаббро, габбро-порфиринов, габбро-амфиболитов, габбро-диоритов и диоритов. Позднепалеозойский гранитовый комплекс занимает южную часть Муштинского рудного поля, где представлен гранитами малкинского массива, который образует межпластовое тело, полого падающее на юго-запад. Вмещающими породами являются верхнепротерозойские образования бечасынской свиты. Контактные воздействия проявились в образовании кварц-полевошпатовых мигматитов и различных роговиков.

Продуктивная на золото минерализация представлена прожилковым и вкрапленным комплексами, образующими совместно пологие и крутые штокверки. Выделяются кварцевые малосульфидные, кварц-полевошпатовые малосульфидные, нитевидные кварц-карбонатные, существенно сульфидные (пиритовые). Наиболее распространены разно ориентированные кварцевые и кварц-полевошпатовые ма-



Рис. 1. Рельеф юго-западной части Муштинского рудного поля

лосульфидные прожилки, густая сеть которых и слагает практически все рудные залежи, являющиеся, по сути, пластовыми штокверками. Типичные прожилки сложены полупрозрачным и молочно-белым крупнозернистым трещиноватым кварцем и постоянно содержат небольшое (1-2%) количество сульфидов (пирит, халькопирит, реже галенит и др.). В пробах-протоколках отмечается самородное золото. Разноориентированные нитевидные кварц-карбонатные прожилки распространены повсеместно в связи с березитовыми метасоматитами, их повышенная концентрация слагает рудную зону Сульфидную. Как правило, сульфидные прожилки сопровождаются вкрапленностью, линзочками и просечками пирита, которые при выветривании придают породе кремовую (до светло-коричневой) окраску.

В геоморфологическом отношении Муштинское рудное поле представляет собой среднегорье с абсолютными отметками от 1350 до 2200 м и сильно расчлененным рельефом, характеризуется чередованием ущелистых долин и относительно пологих водоразделов. Склоны покрыты густыми зарослями кустов и деревьев, водоразделы – высокотравьем. Отдельные участки, примыкающие к бортам речных долин Малки, Мушты и Хасаута, представлены труднопроходимыми скалами. Электроразведочные работы проводились в юго-западной части рудного поля с относительно проходимым рельефом (рис. 1), включающим основные рудные зоны.

Методика

В соответствии с [Комаров, 1980] метод ВП осуществляется с помощью заземленной питающей линии АВ, через которую пропускают электрический ток; в горной породе создается первичное поляризующее поле. Под действием этого поля возникает вторичное электрическое поле, обусловленное поляризационными процессами. Эти процессы наиболее интенсивны на границе ионопроводящей поровой влаги и электропроводящих рудных минералов. В применяемой импульсной модификации метода ВП первичное поле создается разнополярными относительно длительными прямоугольными импульсами тока. С помощью заземленной линии MN в паузах между импульсами тока измеряется спадающее напряжение вторичного поля, а в момент пропускания тока – напряжение поляризующего поля. Таким образом, в методе ВП одновременно реализуется измерение поляризационных параметров (поляризуемости или заряжаемости) и кажущегося удельного электрического сопротивления.

Работы проводились с установкой срединного градиента (ВП-СГ), предусматривающей раскладку протяженной питающей линии и измерения с приемной линией MN по нескольким параллельным профилям в средней части линии АВ. Установка срединного градиента позволяет оперативно проводить съемку на больших площадях.

Сеть наблюдений 200 м × 20 м, длина питающей линии АВ от 2,0 до 2,7 км, длина приемной линии – 20 м. Измерения выполнялись в средней части питающей линии на участке профиля длиной до 1 км. При этом на пикетах располагались приемные электроды, а результат измерения относится к центру приемной линии, т. е. к точке посередине между соседними пикетами. При одном положении питающей линии проводились измерения на планшете, включающем 7-8 профилей. Такая система измерений обеспечивала однородность поляризующего поля и облегчала последующую состыковку результатов измерений, выполненных при разных положениях питающей линии. Измерения на всем участке были выполнены при 7-ми

положениях питающей линии АВ. Для увеличения производительности с одной питающей линией одновременно работали три измерительных прибора.

В качестве основного параметра ВП регистрировалась заряжаемость (chr – от «chargeability») – интеграл переходной характеристики (спада) ВП, деленный на время интегрирования:

$$chr = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \eta(t) dt,$$

где T_1, T_2 – начальное и конечное время интегрирования, $h(t)$ – спад ВП.

В силу своего интегрального характера, заряжаемость является более помехоустойчивым параметром, чем поляризуемость, измеренная на какой-либо одной временной задержке.

Для производства электроразведочных наблюдений методом ВП использовался разработанный и изготовленный в ОАО НПК «Элгео» аппаратно-программный комплекс АИЭ-2, включающий измеритель МПП-ВП и генератор ВП-1000 мощностью 1 кВт с бензоэлектрическим генератором в качестве первичного источника тока [Тарасов и др., 2015а].

Измерения проводились в импульсном режиме, в паузах между импульсами тока в питающей линии АВ. Для улучшения отношения сигнал/шум применялось накопление сигнала от нескольких импульсов питающего тока. В зависимости от величины сигнала и уровня помех количество накоплений варьировалось от 6-8 до 30-40. Временной режим измерений – РПИ-2 (длительность разнополярных импульсов тока равна длительности паузы между ними) при длительности импульса 1 сек. Амплитуда импульсов тока составляла от 300 мА до 1 А. Для оценки качества полевых измерений были выполнены повторные наблюдения в объеме 5% от общего количества наблюдений. Средняя относительная погрешность измерения кажущегося удельного электрического сопротивления составила 0,82%, заряжаемости – 4,73%, что не превышает допустимый уровень погрешности, – 5 и 10%, соответственно. Сопоставление рядовых и контрольных измерений на одном из поисковых профилей показано на рисунке 2.

Обработка и интерпретация данных метода ВП производилась с помощью программ, входящих в состав аппаратно-программного комплекса АИЭ-2: IPBIN и IPVISION [Тарасов и др., 2015а] и программы двумерной интерпретации данных зондирования ZondRes²D. Для графического представления результатов использовалась программа общего назначения SURFER Ver. 8.00 (Golden Software, Inc.).

Работа с данными включала этапы предварительной обработки и интерпретации. На первом этапе первичные данные, в виде двоичных файлов с записями отдельных измерений, переписывались в компьютер из памяти измерителя. В ходе предварительной обработки данных с помощью программы IPBIN выполнялась сортировка и редактирование измерений, исключение некачественных результатов и осреднение результатов повторных наблюдений. В результате записывался единый текстовый файл данных, содержащий координаты точек измерения и значения измеренных параметров.

Дальнейшая обработка проводилась с помощью программы IP_VISION, в которой по истинным географическим координатам электродов уточняются значения кажущегося сопротивления, а также могут быть вычислены различные параметры ВП (дифференциальная поляризуемость, заряжаемость, металл-фактор). Програм-

мой IP_VISION подготавливаются данные для построения планов графиков и изолиний в программе SURFER.

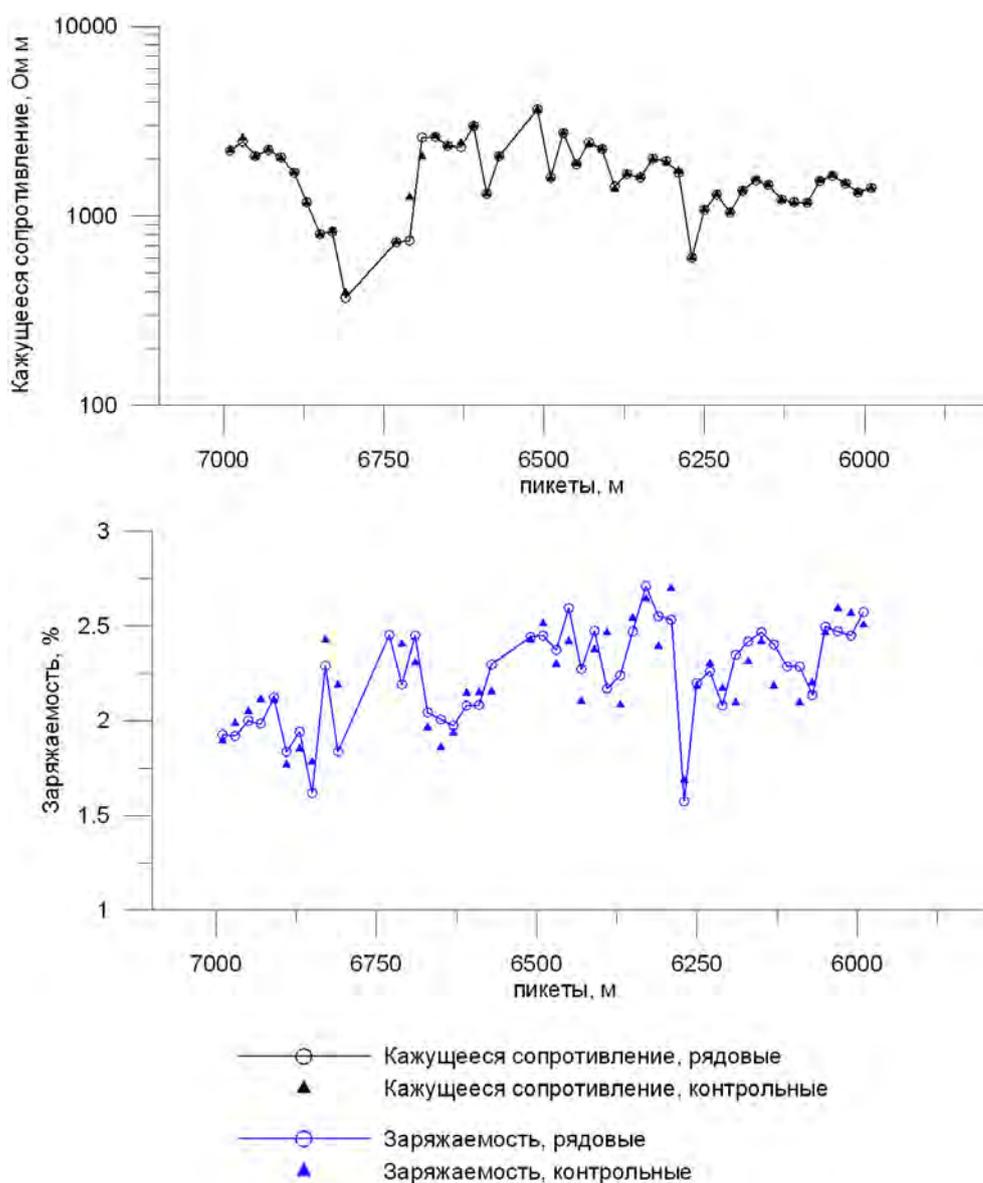


Рис. 2. Сопоставление рядовых и контрольных измерений кажущегося сопротивления и заряжаемости, выполненных на одном из поисковых профилей

При построении плана изолиний значения заряжаемости дополнительно сглаживались по профилю с помощью алгоритма фильтрации нижних частот, что позволило избавиться от резких одиночных выбросов (пиков) и получить более плавную картину поля заряжаемости.

Результаты и обсуждения

Результаты обработки измерений приведены на рисунках 3 и 4. Оказалось, что электрические свойства пород сильно неоднородны: их кажущее сопротивление (КС) меняется в диапазоне от десятков Ом·м до нескольких тысяч Ом·м, заряжаемость – от долей процента до десяти и более процентов. Можно отметить общее

понижение уровня значений заряжаемости в юго-западной части площади, по сравнению с северо-восточной. Так среднее значение заряжаемости в северо-восточной части территории составляет 2,78%, а в юго-западной – 2,31%. Это можно интерпретировать как общее уменьшение содержания в породах электронно-проводящих минералов (сульфидов и графита).

В условиях горной сильно расчлененной местности с глубоко врезанными каньонами рек и ручьев, положение в рельефе точек наблюдений сильно влияет на результаты замеров КС с установкой срединного градиента. Так положительные формы водоразделов будут выделяться уменьшением КС, отрицательные (ручьи, балки) – возрастанием КС (см. рис. 3).

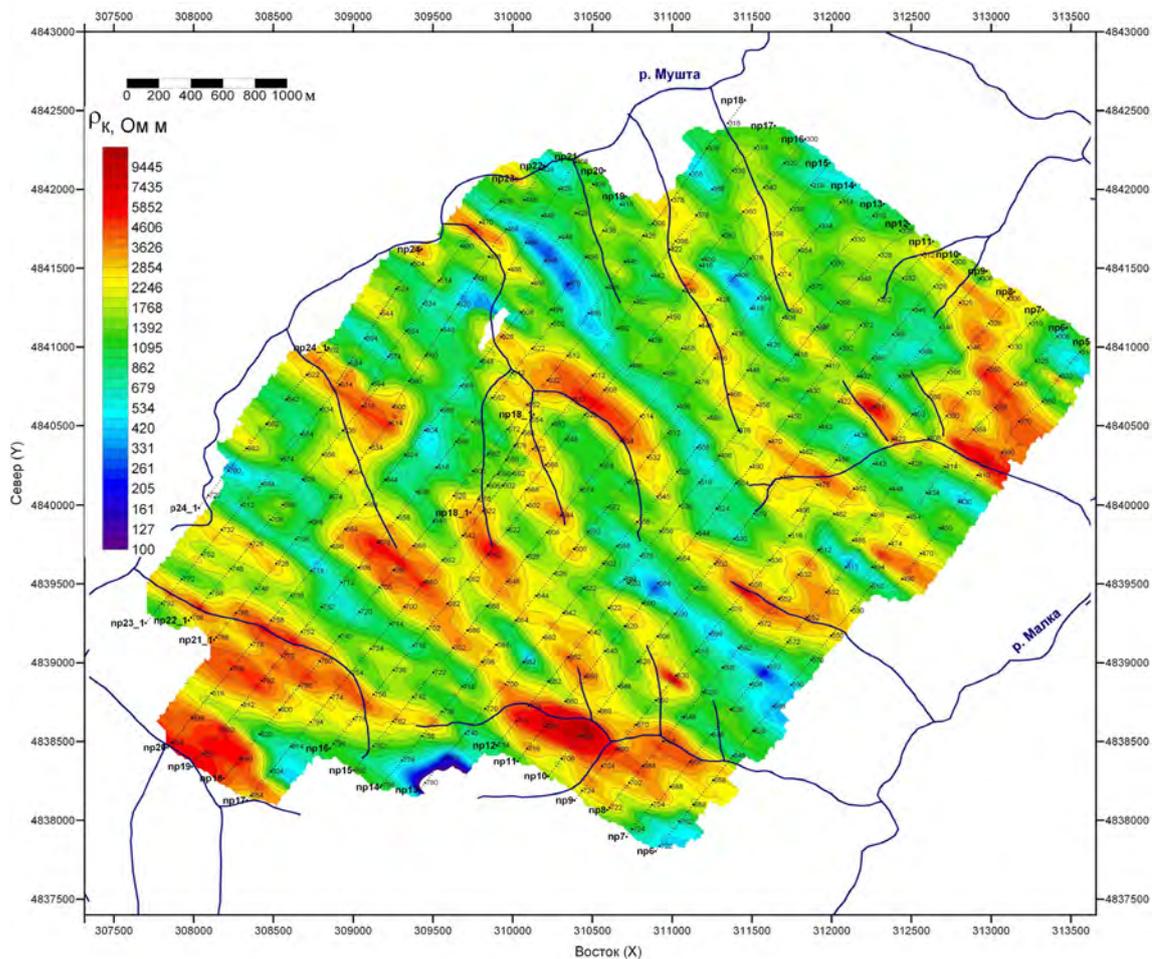


Рис. 3. Карта изолиний кажущегося сопротивления юго-западного участка Муштинского рудного поля

Значительно меньшее влияние рельеф оказывает на результаты измерения ВП. В условиях однородной среды неровности рельефа не приводят к появлению аномалий ВП, поскольку вторичное поле ВП пропорционально первичному поляризирующему полю и кажущаяся поляризуемость (заряжаемость), как относительный параметр, остается неизменной [Комаров, 1980]. Поэтому при интерпретации результатов электроразведки мы рассматриваем в основном параметры заряжаемости.

Наиболее интенсивные аномалии заряжаемости, достигающие значений 5-10% и сопровождающиеся понижением КС до нескольких десятков-первых сотен Ом×м,

соответствуют, по всей видимости, участкам развития графитосодержащих сланцев и филлитов, выходы которых наблюдаются непосредственно на водоразделах и склонах.

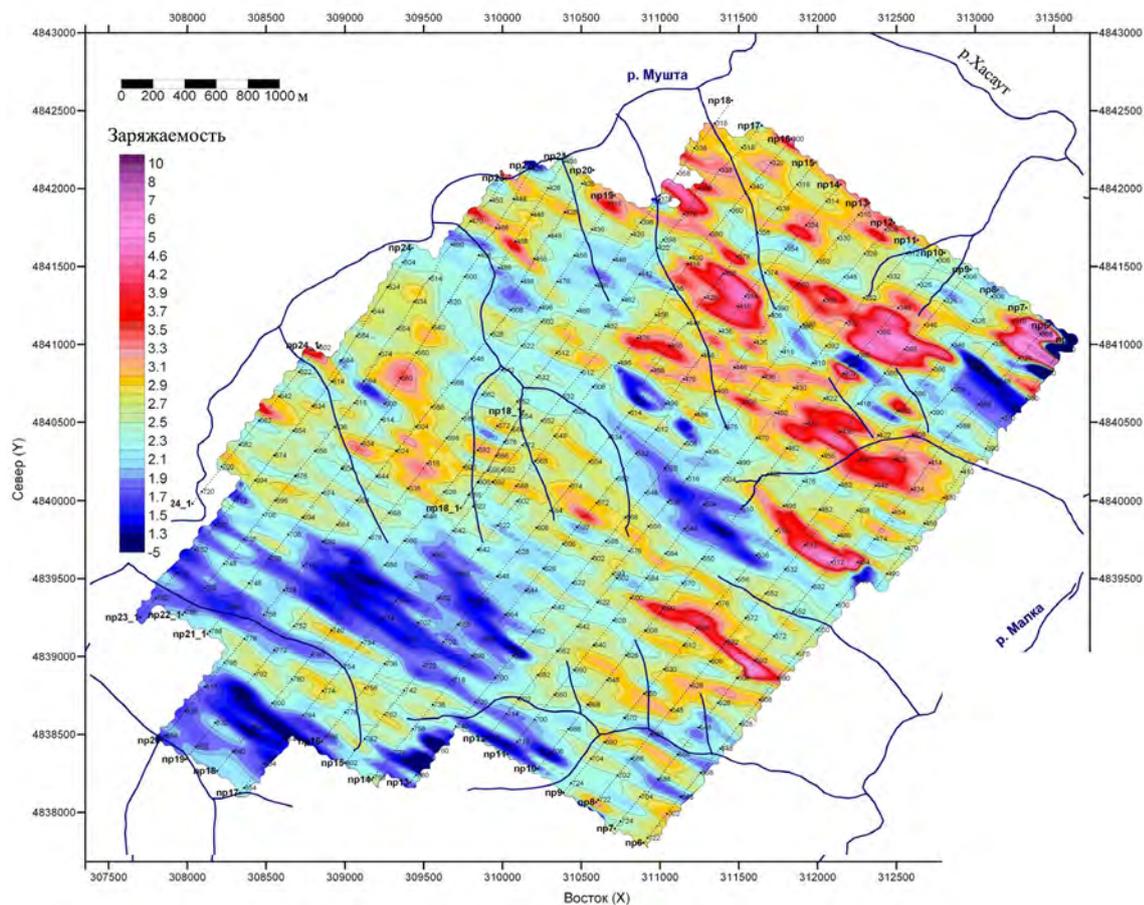


Рис. 4. Карта изолиний заряжаемости юго-западного участка Муштинского рудного поля

На юго-западе участка, где на поверхность выходят мусковит-биотитовые кристаллические сланцы и далее граниты, заряжаемость уменьшается до 1,3-2%. Тем не менее, в этой части площади также можно выделить несколько линейных зон с повышенными значениями заряжаемости (до 3-6%), ориентированных согласно общему СЗ направлению простирания пород. Несколько линейных зон повышенной заряжаемости выделяются вдоль приконтактной зоны гранитного массива и непосредственно на участке развития гранитов. В целом, результатами электроразведки подтверждается общее северо-западное простирание геологических структур.

В итоге, по графикам ВП установлен общий повышенный фон поляризуемости пород в пределах развития пород преимущественно малкинской свиты, содержащей пласты углеродистых филлитов. На этом фоне выделяются два типа положительных аномалий заряжаемости. Первый из них пространственно совпадает с участками развития пород, обладающих наиболее низким КС (низкоомный тип). Ему соответствуют участки выходов углеродистых сланцев, часто с жильно-прожилковой кварцевой минерализацией и участки обводненных разломов. Второй тип аномалий поляризуемости совпадает с породами, обладающими относительно повышенным КС (высокоомный тип). Установлено, что такие аномалии обусловле-

ны наличием минерализаций вкрапленного сульфидного и прожилково-вкрапленного кварц-сульфидного типа зон окварцевания и березитизации.

Для совместной интерпретации кажущегося сопротивления и заряжаемости выполнен корреляционный анализ этих параметров с помощью метода главных компонент (МГК) [Дэвис, 1990; Никитин, 1986]. При анализе данных с помощью МГК 1-я главная компонента соответствует обратной зависимости между логарифмом заряжаемости, а ортогональная ей 2-я главная компонента – прямой. Таким образом, аномальные области 1-й компоненты соответствуют преимущественно участкам распространения графитизированных сланцев и, возможно зонам обводненных разломов, 2-й компоненты – предполагаемым зонам окварцевания и сульфидной минерализации. Результаты интерпретации данных ВП-СГ с помощью МГК представлены на рисунке 5. Там же нанесены прослеженные горными выработками по результатам поисковых работ потенциально рудоносные зоны и залежи.

Там, где обе главные компоненты совпадают, предполагается совмещение областей графитизации, окварцевания и сульфидизации. Такие области совпадения распространены в северо-восточной части изученного участка, ограниченной пикетами наблюдений на всех профилях от 310-х до 520-х. Именно здесь по результатам геохимических поисков и горнопроходческих работ выявлены охарактеризованные выше золотоносные зоны и залежи. Лучше всего, по данным электроразведки, прослеживаются крутозалегающие зоны сульфидно-вкрапленной и сульфидно-прожилковой минерализации. Такие зоны, выявленные по данным электроразведки в юго-западной части участка, прослеживаются горными выработками в протерозойских метаморфических сланцах, палеозойских гранитах и юрских песчаниках. Они характеризуются свинцово-цинковым оруденением и не несут золотоносных минерализаций.

В северо-восточной части участка подобная по геофизическим данным зона в юрских песчаниках уже не проявляется, что отражается ослаблением аномалии заряжаемости. Эта зона была выявлена горнопроходческими работами при заверке наиболее интенсивной высокоомной аномалией заряжаемости (более 3%), после чего была названа Сульфидной зоной. По данным электроразведки она прослеживается почти непрерывно в северо-западном направлении от р. Малки почти до р. Мушты на расстоянии более 2500 м, при ширине от 100 до 200 м. Сочетание повышенных значений заряжаемости и относительно пониженного КС (низкоомная аномалия) указывает на наличие минерализации черносланцевого сульфидно-прожилково-вкрапленного типа. Простирается зона северо-западное. В этом же направлении она, судя по ослабеванию поляризуемости, постепенно выклинивается. Судя по относительной независимости конфигураций аномалий КС и заряжаемости от рельефа и их прямолинейного характера, предполагаемая зона имеет крутое залегание. В центральной своей части зона перекрыта отложениями юры. Наличие геохимических аномалий золота в пределах этой зоны и результаты опробования на золото вскрытых канавами участков, предполагают ее золотоносность. Прерывистость геофизических и геохимических аномалий позволяет предположить, что в большей своей части Сульфидная зона не выходит на земную поверхность своей золотоносной частью.

Участки широких аномалий заряжаемости, развитые северо-восточнее зоны Сульфидной зоны, совпадают с выходами полого залегающих углеродистых сланцев и филлитов верхней половины малкинской свиты и фиксируются также ано-

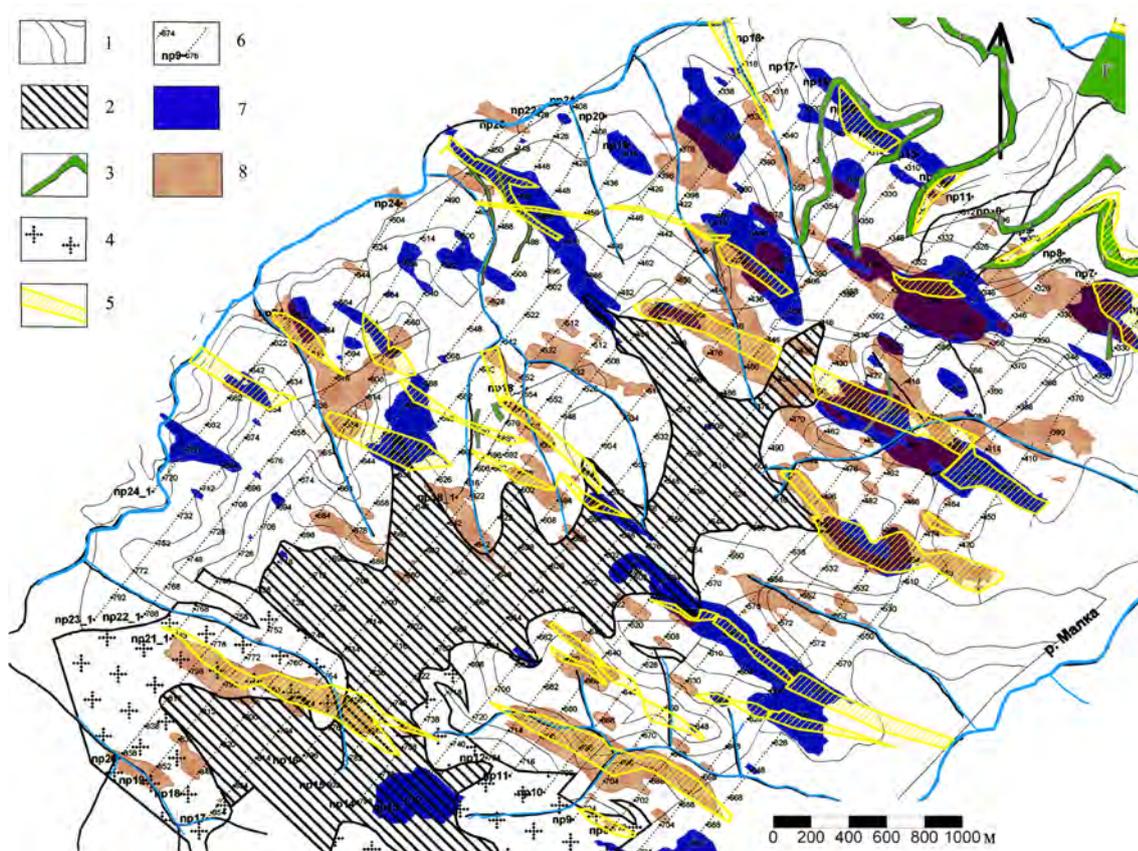


Рис. 5. Схема комплексной интерпретации данных электроразведки для юго-западного участка Муштинского рудного поля с результатами поисковых работ
 1 – метаморфические и метаморфизованные стратифицированные толщи и стратиграфические границы (бечасынская, малкинская и шиджатмазская свиты протерозойской группы);
 2 – терригенные отложения нижней юры; 3 – габбро-диабазы и габбро-диориты позднепротерозойского хасаутского интрузивного комплекса; 4 – граниты позднепалеозойского малкинского интрузивного комплекса; 5 – вскрытые горными выработками потенциально рудносные зоны и залежи; 6 – точки наблюдения на поисковых профилях и их номера; 7 – области значений первой главной компоненты больше 0,9 (предполагаемые зоны графитизации); 8 – области значений второй главной компоненты больше 0,6 (предполагаемые зоны околорудного метасоматоза и сульфидизации)

малиями 1-й главной компоненты. В местах, где совпадают аномалии 1-ой и 2-ой главных компонент, по результатам горных работ выявлены зоны жильно-прожилкового и объемного окварцевания.

Выводы

1. Применение импульсной модификации метода ВП в пределах Муштинского рудного поля при проведении поисковых работ на площадях Малка-Муштинского рудного узла позволило подобрать оптимальную систему измерений и выявить протяженные минерализованные зоны и стратиформноподобные залежи различного минерального типа, включающие потенциальные золоторудные тела.

2. Оптимальная система измерений, обеспечивающая однородность поляризуемого поля и облегчающая последующую состыковку результатов измерений, выполненных при сети наблюдений $200\text{ м} \times 20\text{ м}$ обеспечивается при разных положе-

ниях питающей линии АВ и ее длине от 2,0 до 2,7 км, длине приемной линии – 20 м, при выполнении измерений в средней части питающей линии на участке профиля длиной до 1 км. При этом на пикетах располагались приемные электроды, а результаты измерения относились к центру приемной линии, т. е. к точке посередине между соседними пикетами.

3. Наиболее эффективным для регистрации параметром ВП является заряжаемость – интеграл переходной характеристики (спада) ВП, деленный на время интегрирования. В силу своего интегрального характера, заряжаемость является более помехоустойчивым параметром, чем поляризуемость, измеренная на какой-либо одной временной задержке. Еще менее надежным параметром в условиях горной сильно расчлененной местности оказалось КС, регистрируемая величина которого сильно зависит от рельефа. Так положительные формы водоразделов проявились в уменьшении КС, отрицательные (ручьи, балки) – возрастанием КС.

4. Минеральный состав рудоносных зон отражается в характеристиках и интенсивностях КС и заряжаемости. Данные по КС и заряжаемости проанализированы с помощью метода главных компонент, когда 1-я главная компонента соответствует обратной зависимости между логарифмом кажущегося сопротивления и заряжаемостью, а ортогональная ей 2-я главная компонента – прямой. Таким образом, аномальные области 1-й компоненты соответствуют участкам предполагаемого развития углеродистых сланцев и зон обводненных разломов, обладающих низким сопротивлением и повышенной заряжаемостью, 2-й компоненты – предполагаемым зонам окварцевания и сульфидно-вкрапленно-прожилковой минерализации, обладающих повышенным сопротивлением и повышенной заряжаемостью.

Литература

1. Багатаев Р. М., Бергер М. Г. Минералого-геохимические особенности золотоносных рудопроявлений в черносланцевых толщах горного Дагестана // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – № 4. – С. 8-24.
2. Богуш И. А., Бурцев А. А., Рябов Г. В., Черкашин В. И. благородные металлы черносланцевого комплекса Урупо-Лабинского района Северного Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2016. – № 3 (3). – С. 25-32.
3. Вертий С. Н. Новые данные по структуре Муштинского рудного поля // В сб. Проблемы геологии, геоэкологии и минералогии Юга России и Кавказа. – Новочеркасск, 2006. – С. 252-256.
4. Вертий С. Н., Щеглов В. И. Многомерный регрессивный анализ золотоносности Муштинского рудного поля // Вестник ЮРГТУ. – 2009. – № 1. – С. 52-60.
5. Волкова М. М., Костицын Ю. А., Бычков Д. А., Борисов М. В. Определение времени образования золото-сульфидного оруденения в Шаухохском рудном поле (Северная Осетия, Россия) RBSR методом // Геохимия. – 2014. – № 1. – С. 86-90.
6. Гончаров В. И., Богуш И. А., Глазырина Н. В., Исаев В. С. Литология, геохимия и золотоносность черносланцевых комплексов Северного Кавказа // Наука Юга России. – 2005. – Т. 1. № 4. – С. 58-63.
7. Давыденко Д. Б., Давыденко Е. Д., Исаев В. С., Клещенко А. В., Мохов А. В., Парада С. Г. Опыт выявления и изучения зон эндогенной флюидизации комплексом дистанционных и газогеохимических методов // Вестник Южного научного центра РАН. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 25-34.

8. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Том 2/Под ред. Д. А. Родионова; пер. с англ. В. А. Голубевой. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
9. Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В., Тарасов В. А. Опыт применения крупномасштабной магнитной съемки при поисках золотого оруденения в Восточной части минерагенической зоны Передового хребта // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 3. – С. 3-19.
10. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О., Невский Л. Н., Ольховский Г. П., Тибиллов С. М., Гогичев Р. Р. Оптимизация геофизических и геохимических критериев поисков месторождений известных рудных формаций горной части Республики Северная Осетия-Алания // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 3. – С. 28-62.
11. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. – Л.: Недра, 1980. – 391 с.
12. Матишов Г. Г., Парада С. Г., Давыденко Д. Б. Технологии прогнозирования залежей углеводородов и минеральных месторождений будущей России (на примере Южного региона) // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – № 1. – С. 20-31.
13. Мисетов А. В., Полквой А. П. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Северная Осетия-Алания // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – № 1. – С. 67-77.
14. Никитин А. А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1986. – 342 с.
15. Парада С. Г. Генетические модели предрудных золотоносных минерализаций в черносланцевых комплексах Северного Кавказа // Наука Юга России. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 53-62.
16. Парада С. Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота на Юге России // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 57-72.
17. Парада С. Г., Маркин М. Ю., Столяров В. В., Шишкалов И. Ю. Геологические условия локализации золотоносных минерализаций и структура Муштинского рудного поля // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 2. – С. 51-65.
18. Парада С. Г., Холод Ю. В., Шишкалов И. Ю. Геохимия вторичных ореолов рассеяния Малка-Муштинского рудного узла (Северный Кавказ) // Вестник ЮНЦ. – 2011. – Т. 7. № 3. – С. 55-60.
19. Пичужков А. П., Письменный А. Н., Терещенко В. В., Зарубина М. А. Новые данные о золотоносности протерозойских черносланцевых отложений Карачаево-Черкесского горст-антиклинория // Региональная геология и металлогения. – 2005. – № 25. – С. 140-144.
20. Тарасов В. А., Бытенский Л. И., Тарасов А. В. Поиск коренных месторождений золота методами импульсной электроразведки // IV международный горно-геологический форум Мингео Сибирь 2010 и международный семинар «Платина в геологических формациях мира». Тезисы докладов. – Красноярск. – 2010. – С. 49-58.
21. Тарасов В. А., Бытенский Л. И., Пищик В. В. Автоматизированная система электротомографии ВП для поисков рудных месторождений // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015а. – № 3. – С. 101-107.
22. Тарасов В. А., Емкужев М. С., Парада С. Г., Столяров В. В. Геофизические методы при поисках золоторудной минерализации на флангах Тырныаузского рудного узла // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015б. – № 1. – С. 109-117.

23. Черкашин В. И., Богуш И. А. Металлогения Северного Кавказа – настоящее и будущее // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – № 2. – С. 66-75.

24. Чотчаев Х. О., Гогичев Р. Р. Геологические особенности и характеристика золотоносности Теплинского рудного узла // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 128-143.

25. Шишкалов И. Ю. Выявление интрузивных тел Малка-Муштинского рудного узла по результатам ГИС-обработки аэромагнитных данных // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 3. – С. 77-80.

26. Doyle H. A. Geophysical exploration for gold – A review // Geophysics. – 1990. – Vol. 55. № 2. – Pp. 134-146.

27. Oldenburg D. W., Li Y., Ellis R. G. Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: A case history for Mt. Milligan // Geophysics. – 1997. – Vol. 62. № 5. – Pp. 1419-1431.

28. Seigel H. O., Johnson I., Hennessey J. Geophysical aids to gold exploration // The Leading Edge. – 1984. – Vol. 3. № 6. – Pp. 32-35.

DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9528

APPLICATION OF THE INDUCED POLARIZATION METHOD IN SEARCH OF GOLD IN BLACK SHALE STRATA MUSHTINSKI ORE FIELD (NORTH CAUCASUS)

© 2017 S. G. Parada¹, Sc. Doctor (Geol.-Min.), V. A. Tarasov²

¹Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Street, 93a, e-mail: segripa@rambler.ru;

²SPC «Elgeo», Russia, 197110, St. Petersburg, Levashovsky Ave., 12a, e-mail: mail@elgeo.ru

The results of application of the pulse modification of the method of induced polarization (IP) within Mushtinski ore field when carrying out prospecting works on the areas of Malka-Mushtinski ore unit. Most optimal system of measurements, which allowed in a strongly dissected mountain relief and development carbonaceous shale to reveal the long, mineralized zones and mineral deposits stateformation different type, including a potential gold ore body is characterized. It is shown that the most effective to register the IP parameter is garagemate, which because of its integral nature in these conditions is a more robust parameter than the polarizability. Data for apparent resistivity (AR) and garagemate analyzed using the principal components method, when the 1st main component corresponds to an inverse relationship between the logarithm of the AR and garagemate and orthogonal her 2nd major components – direct. Thus, the anomalous region of 1-th components correspond to areas of prospective development of carbonaceous shale zones and watered faults, with a low resistance and high garagemate, 2nd components – prospective silicification zones and sulfide-vein mineralization, with high AR and high garagemate.

Keywords: electrical exploration, induced polarization method, garagemate, resistance, method of main components, carbonaceous shale, ore-bearing zone.

References

1. Bagataev R. M., Berger M. G. Mineralogo-geohimicheskie osobennosti zolotonosnyh rudoprojavenij v chernoslancevyh tolshhah gornogo Dagestana [Mineralogical-geochemical features of gold-bearing ore occurrences in black shale strata of mountainous Dagestan]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2012, No. 4, pp. 8-24. (in Russian)

2. Bogush I. A., Burcev A. A., Rjabov G. V., Cherkashin V. I. Blagorodnye metally chernoslancevogo kompleksa Urupo-Labinskogo rajona Severnogo Kavkaza [Noble metals of the black shale complex of the Urupo-Labinsky district of the North Caucasus]. Groznenskiy estestvennonauchnyy bjulleten', 2016, No. 3 (3), pp. 25-32. (in Russian)
3. Vertij S. N. Novye dannye po strukture Mushtinskogo rudnogo polja [New data on the structure of the Mushta ore field]. V sb. Problemy geologii, geojekologii i mineralologii Juga Rossii i Kavkaza, Novocheerkassk, 2006, pp. 252-256. (in Russian)
4. Vertij S. N., Shheglov V. I. Mnogomernyj regressivnyj analiz zolotonosnosti Mushtinskogo rudnogo polja [Multidimensional regressive analysis of gold content of the Mushta ore field]. Vestnik JuRGU, 2009, No. 1, pp. 52-60. (in Russian)
5. Volkova M. M., Kosticyn Ju. A., Bychkov D. A., Borisov M. V. Opredelenie vremeni obrazovanija zoloto-sul'fidnogo orudenenija v Shauhohskom rudnom pole (Severnaja Osetija, Rossija) RBSR metodom [Determination of the formation time of gold-sulfide mineralization in the Shaukhokhsky ore field (North Ossetia, Russia) using RBSR method]. Geohimija, 2014, No. 1, pp. 86-90. (in Russian)
6. Goncharov V. I., Bogush I. A., Glazyrina N. V., Isaev V. S. Litologija, geohimija i zolotonosnost' chernoslancevyh kompleksov Severnogo Kavkaza [Lithology, geochemistry and gold content of the black shale complexes of the North Caucasus]. Nauka Juga Rossii, 2005, Vol. 1, No. 4, pp. 58-63. (in Russian)
7. Davydenko D. B., Davydenko E. D., Isaev V. S., Kleshhenkov A. V., Mohov A. V., Parada S. G. Opyt vyjavlenija i izuchenija zon jendogennoj fljuidizacii kompleksom distancionnyh i gazogeohimicheskikh metodov [Experience of the identification and study of endogenous fluidization zones by a complex of remote and gas-geochemical methods]. Vestnik Juzhnogo nauchnogo centra RAN, 2014, Vol. 10, No. 1, pp. 25-34. (in Russian)
8. Djevis Dzh. S. Statisticheskij analiz dannyh v geologii [Statistical analysis of data in geology]. Vol. 2, Pod red. D. A. Rodionova; per. s angl. V. A. Golubevoj, M.: Nedra, 1990, 427 p. (in Russian)
9. Emkuzhev M. S., Parada S. G., Stoljarov V. V., Tarasov V. A. Opyt primenenija krupnomasshtabnoj magnitnoj s'emki pri poiskah zolotogo orudenenija v Vostochnoj chasti mineragenicheskoj zony Peredovogo hrehta [The experience of using a large-scale magnetic survey in the search for gold mineralization in the eastern part of the mineragenic zone of the Forward Range]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2013, No. 3, pp. 3-19. (in Russian)
10. Zaalishvili V. B., Chotchavaev H. O., Nevskij L. N., Ol'hovskij G. P., Tibilov S. M., Gogichev R. R. Optimizacija geofizicheskikh i geohimicheskikh kriteriev poiskov mestorozhdenij izvestnyh rudnyh formacij gornoj chasti Respubliki Severnaja Osetija-Alanija [Optimization of geophysical and geochemical criteria for prospecting deposits of known ore formations of the mountainous part of the Republic of North Ossetia-Alania]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2015, No. 3, pp. 28-62. (in Russian)
11. Komarov V. A. Jelektrozrazvedka metodom vyzvannoj poljarizacii [Electrical exploration by induced polarization]. L.: Nedra, 1980, 391 p. (in Russian)
12. Matishov G. G., Parada S. G., Davydenko D. B. Tehnologii prognozirovaniya zalezhej uglevodorodov i mineral'nyh mestorozhdenij budushhej Rossii (na primere Juzhnogo regiona) [Technologies for predicting hydrocarbon deposits and mineral deposits of the future Russia (based on the example of the Southern region)]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2011, No. 1, pp. 20-31. (in Russian)
13. Misetov A. V., Polkvoj A. P. Mineral'no-syr'evye resursy Respubliki Severnaja Osetija-Alanija [Mineral resources of the Republic of North Ossetia-Alania]. Mineral'nye resursy Rossii. Jekonomika i upravlenie, 2012, No. 1, pp. 67-77. (in Russian)
14. Nikitin A. A. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informacii [Theoretical bases of geophysical information processing]. M.: Nedra, 1986, 342 p. (in Russian)
15. Parada S. G. Geneticheskie modeli predrudnyh zolotonosnyh mineralizacij v chernoslancevyh kompleksah Severnogo Kavkaza [Genetic models of pre-ore gold mineralization in black shale complexes of the North Caucasus]. Nauka Juga Rossii, 2015, Vol. 11, No. 2, pp. 53-62. (in Russian)
16. Parada S. G. Perspektivnye tipy mestorozhdenij i rudoprojavlenij zolota na Juge Rossii // Geologija i geofizika Juga Rossii [Prospective types of gold deposits and ore occurrences in the South of Russia]. 2017, No. 1, pp. 57-72. (in Russian)
17. Parada S. G., Markin M. Ju., Stoljarov V. V., Shishkalov I. Ju. Geologicheskie uslovija lokalizacii zolotonosnyh mineralizacij i struktura Mushtinskogo rudnogo polja [Geological localization conditions of gold-bearing mineralizations and the structure of the Mushta ore field]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2015, No. 2, pp. 51-65. (in Russian)

18. Parada S. G., Holod Ju. V., Shishkalov I. Ju. Geohimija vtorichnyh oreolov rassejanija Malka-Mushtinskogo rudnogo uzla (Severnyj Kavkaz) [Geochemistry of the secondary halos of the Malka-Mushta Ore Scattering (North Caucasus)]. Vestnik JuNC, 2011, Vol. 7, No. 3, pp. 55-60. (in Russian)
19. Pichuzhkov A. P., Pis'mennyj A. N., Tereshhenko V. V., Zarubina M. A. Novye dannye o zolotonosnosti proterozojskih chernoslancevyh otlozhenij Karachaevo-Cherkesskogo gorst-antiklinorija [New data on the gold content of the Proterozoic black shale deposits of the Karachay-Cherkess horst-anticlinorium]. Regional'naja geologija i metallogenija, 2005, No. 25, pp. 140-144. (in Russian)
20. Tarasov V. A., Bytenskij L. I., Tarasov A. V. Poisk korennyh mestorozhdenij zolota metodami impul'snoj jelektrozrazvedki [The search for indigenous gold deposits using pulsed electrical prospecting]. IV mezhdunarodnyj gorno-geologicheskij forum Mingeo Sibir' 2010 i mezhdunarodnyj seminar «Platina v geologicheskikh formacijah mira», Tezisy dokladov, Krasnojarsk, 2010, pp. 49-58. (in Russian)
21. Tarasov V. A., Bytenskij L. I., Pishhik V. V. Avtomatizirovannaja sistema jelektrotomografii VP dlja poiskov rudnyh mestorozhdenij [Automated system of electro-tomography of VP for searches of ore deposits]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Serija: Geologija, 2015a, No. 3, pp. 101-107. (in Russian)
22. Tarasov V. A., Emkuzhev M. S., Parada S. G., Stoljarov V. V. Geofizicheskie metody pri poiskah zolotorudnoj mineralizacii na flangah Tyrnyauzskogo rudnogo uzla [Geophysical methods in the search for gold mineralization on the flanks of the Tyrnyauz ore cluster]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Serija: Geologija, 2015b, No. 1, pp. 109-117. (in Russian)
23. Cherkashin V. I., Bogush I. A. Metallogenija Severnogo Kavkaza – nastojashhee i budushhee [Metallogeny of the North Caucasus – present and future]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2015, No. 2, pp. 66-75. (in Russian)
24. Chotchaev H. O., Gogichev R. R. Geologicheskie osobennosti i harakteristika zolotonosnosti Teplinskogo rudnogo uzla [Geological features and characteristics of gold content of the Teplinsky ore cluster]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2016, No. 4, – pp. 128-143. (in Russian)
25. Shishkalov I. Ju. Vyjavlenie intruzivnyh tel Malka-Mushtinskogo rudnogo uzla po rezul'tatam GIS-obrabotki aeromagnitnyh dannyh [Identification of the intrusive bodies of the Malka-Mushta ore cluster according to the results of GIS processing of aeromagnetic data]. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Severo-Kavkazskij region, Serija: Estesstvennye nauki, 2011, No. 3, pp. 77-80. (in Russian)
26. Doyle H. A. Geophysical exploration for gold – A review // Geophysics. – 1990. – Vol. 55. №2. – Pp. 134-146.
27. Oldenburg D. W., Li Y., Ellis R. G. Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: A case history for Mt. Milligan // Geophysics. – 1997. – Vol. 62. №5. – Pp. 1419-1431.
28. Seigel H. O., Johnson I., Hennessey J. Geophysical aids to gold exploration // The Leading Edge. – 1984. – Vol. 3. №6. – Pp. 32-35.