



РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НАЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОКВАРЦЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

М. Г. Пустозеров

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», Новосибирск, Россия

Рассматриваются результаты геофизических исследований методами электротомографии ВП и магниторазведки при поисках и оценке золотокварцевых объектов в Восточных Саянах. Приведена физико-геологическая модель золотокварцевого оруденения, ставшая основой геологической интерпретации данных. Изложены принципы геологического истолкования геофизических материалов с оригинальным использованием статистического анализа. В результате проведенных поисковых исследований установлены высокие перспективы обнаружения месторождений промышленной значимости на изученной площади. Показана эффективность работ предложенным комплексом при выделении золоторудных объектов.

Ключевые слова: электротомография ВП, магниторазведка, золотокварцевый объект, физико-геологическая модель.

A RATIONAL COMPLEX OF GROUND GEOPHYSICAL METHODS IN PROSPECTING FOR GOLD-QUARTZ OBJECTS

M. G. Pustozеров

ZAO Aerogeofizicheskaya Razvedka, Novosibirsk, Russia

The article presents geophysical results obtained by IP electrical tomography and magnetic exploration in searching for and assessment of gold-quartz objects in the Eastern Sayan. A physical-geological model of gold-quartz mineralization which is a basis of geological data interpretation is given. Principles of geological interpretation of geophysical materials are stated with the original use of the statistical analysis. As a result of the appraisal survey high prospects for discovering commercial deposits in the studied area have been established. Efficiency of works by the proposed complex in delineation of gold objects is shown.

Keywords: IP electrical tomography, magnetic exploration, gold-quartz object, physical-geological model.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-3-77-84

Главные составляющие успешных поисков золоторудных объектов геофизическими методами – это представительная физико-геологическая модель (ФГМ) оруденения и высокоразрешающие технологии с приемлемыми экономическими затратами.

В настоящее время геофизическая практика располагает и тем, и другим, что позволяет существенно повысить эффективность поисков золотокварцевых месторождений, наиболее сложных в поисковом отношении.

ФГМ золотого оруденения в черносланцевых толщах (самого распространенного типа) представляет собой сложный симбиоз геологических образований с четко обозначенным местом золоторудных тел в ансамбле аномалиеобразующих объектов. Генетическая составляющая модели разработана на примере месторождения Мурунтау и хорошо согласуется со всеми объектами подобного типа. Геофизическое «содержание» установлено на основе изучения многочисленных месторождений Енисейского края и Ленского золоторудного района, включая уникальные Олимпиадинское и Сухой Лог [2].

Основные положения данной ФГМ заложены в идеологию аэрогеофизических работ, выполняемых ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», при поисках золоторудных объектов в различных районах России. Расширенный комплекс методов (магнито-

разведка, гамма-спектрометрия и аэро-ЗСБ с возможностью выделения сигнала индукционной вызванной поляризации) в полной мере учитывает уникальные закономерности физических свойств геологических образований, формирующих рассматриваемую модель. Корректность ФГМ и высокая эффективность аэрогеофизической съемки подтверждена на многих поисковых площадях в разнообразных геолого-геофизических условиях.

Согласно ФГМ верхняя часть оруденения представлена комплексом геологических образований, формирующих *золотосульфидный тип с промышленным содержанием*. Для него характерны максимальная поляризуемость, минимальное электросопротивление, повышенные содержания радиоактивных элементов (калия, урана, тория) и несколько повышенные магнитные свойства при сниженной плотности. Нижняя часть оруденения представлена комплексом *золотокварцевого типа*. Эти образования отличаются максимальным сопротивлением и намагниченностью, повышенной поляризуемостью и высокой концентрацией природных изотопов при несколько повышенной плотности. Между данными комплексами расположена переходная зона *золотосульфидного типа с непромышленным содержанием*, для которой типичны промежуточные геофизические характеристики. К кровле



золото кварцевого комплекса приурочен пирит-пиротиновый переход – уникальный геологический репер, ниже которого залегают сильномагнитные образования. Как следует из обширной практики поисковых геофизических работ, в предложенной ФГМ наиболее контрастными и дифференцированными являются электрометрические и магнитные свойства, следовательно, методы вызванной поляризации (ВП) и магниторазведки должны составить ядро оптимального комплекса наземных исследований.

В последние годы в России и мире широкое применение получил метод вызванной поляризации в модификации электротомографии (ВП ЭТ) – наиболее совершенная технология электрометрического изучения недр [1]. В ней удачно сочетаются лучшие качества профилирования и зондирования при резком повышении детальности исследований с последующей предельно корректной реконструкцией разреза в формате электросопротивления и поляризуемости. Метод с успехом использован при решении широкого круга геологических задач [4].

Комплексирование ВП ЭТ и магниторазведки представляется достаточной и максимально информативной комбинацией геофизических методов при поисках золото кварцевых объектов. В качестве примера эффективного использования ВП ЭТ совместно с магниторазведкой приведем результаты работ в Восточных Саянах. Исследования выполнены по договору с ЗАО «Золотодобывающая компания «Северная» в 2015 г. в бассейне р. Амыл, с целью изучения золото кварцевых объектов и установления их промышленной значимости.

Площадь исследований расположена в пределах Джебашско-Амыльской структурно-фациальной зоны. В геологическом строении принимают участие вулканогенные отложения нижнемонокской свиты нижнего кембрия, представленные порфиrowыми плагиориолитами, их туфами, базальтами, андезито-базальтами, и терригенно-осадочные образования верхнемонокской свиты, сложенные алевритами, песчаниками, известняками. На севере нижнекембрийские отложения перекрыты вулканитами имирской серии нижнего девона, которые сформированы туфами риолитов, андезитами, базальтами. Магматические образования представлены небольшими субвулканическими телами габбро-порфириров девонского комплекса. Интенсивная линейная складчатость ориентирована в широтном направлении. Аналогичное простирание наблюдается у широко проявленных разрывных нарушений. В пределах участка работ установлено несколько рудопроявлений и рудных точек коренного золота, приуроченных к породам с прожилково-штокверковым окварцеванием и зонам березитизации. Мощность рудных тел изменяется от 0,02 до 3,7 м, содержание золота от 2,0 до 7,4 г/т; рудные тела выклиниваются по простиранию и падению на расстоянии первых десятков метров. Рудопроявления представлены сериями кварцевых прожилков

небольшой мощности. В составе рудных минералов преобладают пирит, арсенопирит, пирротин. В долинах известны россыпные объекты с промышленным содержанием золота. К настоящему времени они практически отработаны.

Геофизические работы проводились методами ВП ЭТ и магниторазведки. ВП ЭТ выполнена с основной целью изучения коренной золотоносности в пределах лицензионной площади. При этом решались следующие геологические задачи: литологическое расчленение разреза; определение элементов залегания литологических разностей; установление конфигурации коренного основания долин, включая карстовые образования; установление и трассирование разрывных нарушений; выявление золото-рудных объектов и оценка элементов их залегания.

Работы осуществлены в профильном варианте с расстоянием между линиями наблюдений 200–500 м вкост изучаемых объектов. Использовалась десятиканальная станция Syscal-Pro-72 производства компании IRIS Instruments (Франция).

Для достижения требуемой глубинности (100 м) наблюдения произведены со следующими рабочими параметрами.

Количество одновременно заземленных электродов 72. При этом применялась трехэлектродная прямая ($AMNB \rightarrow \infty$) и обратная ($A \rightarrow \infty MNB$) установки. Расстояние между заземлениями 5 м; отсюда, общая длина одновременно отработанного профиля 360 м. С одной стоянки в совокупности осуществлялось около 2000 измерений, распределенных до глубины 100 м. Линию «бесконечности» относили ортогонально профилю на расстояние более 1,5 км. Последующие расстановки располагались на расстоянии 180 м, обеспечивая 50%-ное перекрытие и необходимую плотность измерений в нижнем полупространстве. Время пропускания первичного поля (зарядки) 1 с. Напряжение в питающей линии 100–800 В. Период паузы (измерение сигнала ВП) 920 мс. За это время производилось 20 фиксаций вторичного поля с интервалом от 20 до 80 мс. Значение ВП определялось как среднее арифметическое из 20 значений.

Весь процесс полевых измерений полностью компьютеризирован, выполнялся по заранее составленному пакету команд (протоколу) в многофункциональной программе x2ipi. Средняя относительная погрешность определения кажущегося сопротивления (ρ_k) не превышала 2,3%, а поляризуемости (η_k) – 2,9%.

Данные электротомографии обрабатывались первоначально в программе ProsysII (перевод аппаратных файлов в текстовый формат) и далее по специально разработанному графу в пакете x2ipi: фильтрация наблюдаемых значений ρ_k и η_k по какому-либо показателю (напряжению, току, ВП); перевод величин в формат Res2Dinv; «сшивка» сегментов профиля; введение координат и высот пунктов наблюдений; фильтрация P- и C-эффектов и при необ-

ходимости сглаживание полей ρ_k и η_k . В результате этих операций электроразведочный материал формировался в цифровом виде, готовом для последующей количественной интерпретации (инверсии).

Моделирование данных электротомографии ВП проведено с целью детального объемного картирования электронеоднородностей в формате сопротивления (ρ) и поляризуемости (η) до глубины 100 м. Инверсия производилась по пакету RES2DINV – признанному мировому стандарту подобных программ [1]. Эта трансформация выполнялась с введением высотных и плановых координат в параметрах ρ и η применительно к робастной (блоковой) модели. По полученным моделям (ρ и η) проводилось геологическое истолкование электронеоднородностей с учетом данных о физических свойствах пород и руд района. Следует заметить, что высокая плотность электротомографических наблюдений обеспечивает такую детальность, которую проблематично визуализировать традиционными средствами (геолого-геофизический разрез).

Магниторазведочные исследования производились по электроразведочным профилям с целью выявления зон пирротинизации, контролирующих участки золотокварцевого оруденения [2].

Работы выполнялись от единого исходного пункта протонными магнитометрами «МИНИМАГ» производства ОАО «ВИРГ-Рудгеофизика» (Россия). Наблюдения производились согласно инструктивным требованиям с одновременной регистрацией магнитных вариаций аналогичной аппаратурой с интервалом 1 мин. Измерения полного модуля магнитного поля выполнялись на высоте 2 м. Шаг наблюдений по профилям 5 м. Средняя квадратическая погрешность съемки составила $\pm 0,9$ нТл. Магнитометрические данные обрабатывались по стандартному графу. При этом учитывались поправки за исходный пункт и вариации магнитного поля. Завершающим этапом стала 3D-инверсия, реализованная в пакете Coscad-3D.

По совокупности полученной информации составлена ФГМ золотокварцевого объекта, явившаяся основой геологического истолкования геофизических данных на рассматриваемой территории (рис. 1). Она же представляет типичный геолого-геофизический разрез на изученной площади.

Литологическое расчленение разреза выполнено как по электросопротивлению (основной параметр), так и по поляризуемости. При этом использовалась известная закономерность снижения сопротивления в ряду от монолитных коренных пород и крупнодисперсных образований (валунно-галечники, обломки) к тонкодисперсным (глины). Поляризуемость характеризуется обратной взаимосвязью, причем она не всегда однозначна. В общем виде горизонтально-слоистая составляющая разреза состоит из трех горизонтов.

Первый, приповерхностный слой мощностью от первых до 15 м представлен рыхлыми коллюви-

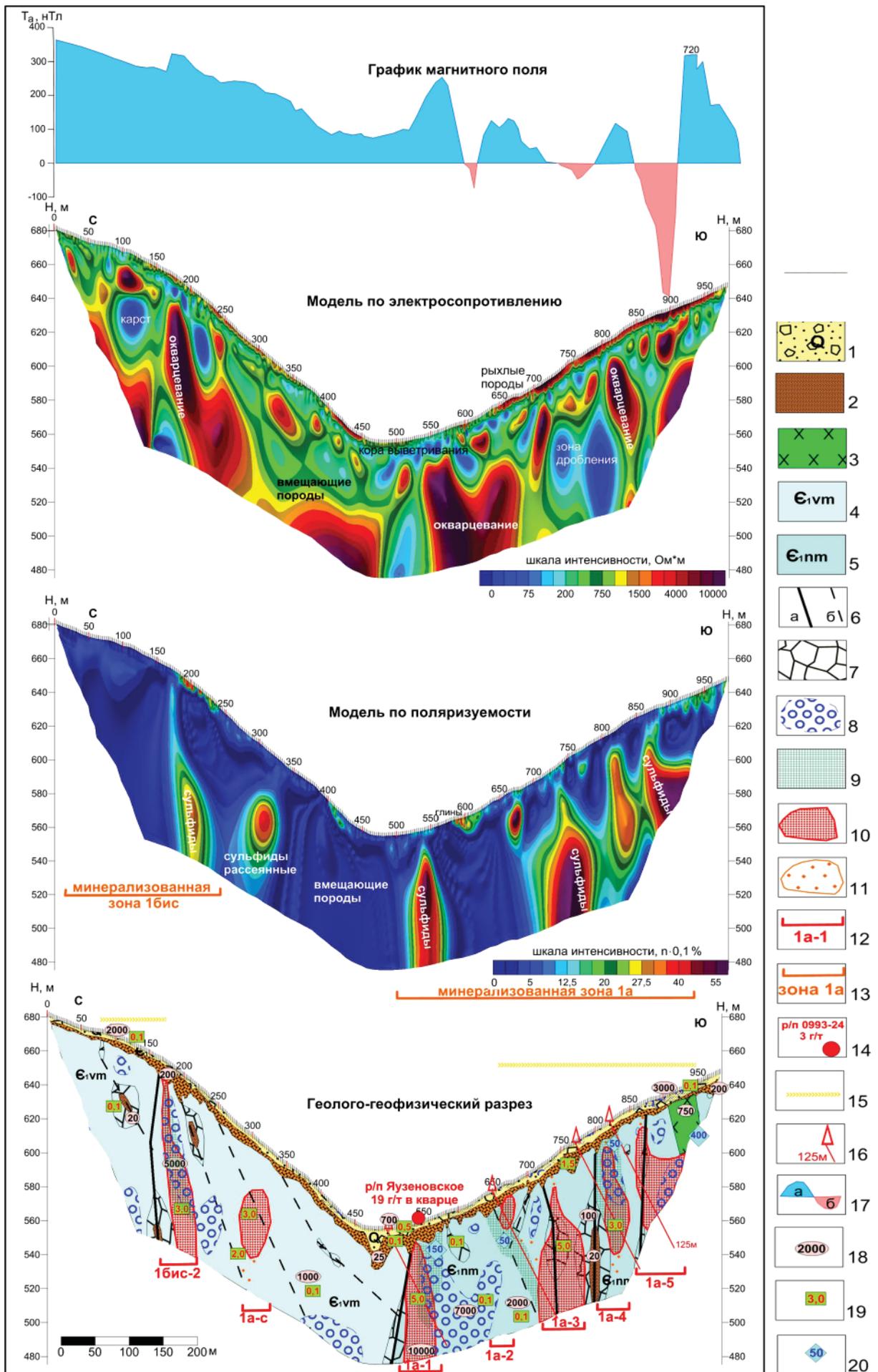
ально-пролювиальными и делювиально-аллювиальными отложениями. Для него характерны высокие электросопротивления ($\rho = 700\text{--}3000$ Ом·м), обусловленные крупной фракцией и дренированием подземных вод, а также низкая поляризуемость ($\eta = 0,1\text{--}0,5\%$), связанная с ограниченной долей глинистого заполнителя. На высоких крутых бортах долин доминируют высокие сопротивления и минимальная поляризуемость. В долине отмечается обратная закономерность.

Следующий ниже по разрезу слой толщиной до 20–25 м сложен интенсивно дезинтегрированными водосодержащими породами, включая отложения кор выветривания. Выделен он по низким сопротивлениям ($\rho = 25\text{--}200$ Ом·м) при локально повышенных показателях поляризуемости ($\eta = 0,1\text{--}1,5\%$). Подобное соотношение параметров связывается с существенной долей тонкодисперсной составляющей в рыхлых породах. В направлении от бортов к долине наблюдается снижение сопротивлений и увеличение поляризуемости.

В пределах рыхлой толщи зафиксированы ограниченные по размерам (5×20 м) локальные аномалии повышенной поляризуемости ($\eta = 0,5\text{--}1,5\%$). Природа их связывается с зонами концентрированной глинизации. Такие объекты чаще всего приурочены к отложениям кор выветривания, реже – к приповерхностному горизонту.

Неизмененные коренные породы характеризуются высокими сопротивлениями и низкой поляризуемостью. По имеющейся дифференциации электрических свойств возможно их литолого-стратиграфическое расчленение. Нижнекембрийские вулканогенные отложения нижнемонокской свиты отличаются более высокими сопротивлениями ($\rho = 1500\text{--}2000$ Ом·м). Они распространены в южной половине площади. Осадочно-терригенные образования верхнемонокской свиты нижнего кембрия обладают меньшими показателями сопротивлений ($\rho = 1000\text{--}1500$ Ом·м). Они формируют северную половину участка работ. Нижнедевонские вулканы имирской серии характеризуются относительно пониженными сопротивлениями ($\rho = 750\text{--}1000$ Ом·м). Зафиксированы они на самом крайнем северо-западе площади. Субвулканические образования, представленные пропилитизированными габбро-порфиритами, выделены преимущественно по аномально высокой намагниченности (400×10^{-6} ед. СГС). Их сопротивление составляет около 1000 Ом·м. Закартированы эти тела на крайнем юго-западе участка. Поляризуемость неизмененных коренных пород не выходит за пределы 0,1–0,2%.

Вследствие обводненности сопротивления трещиноватых коренных пород снижены до 100–200 Ом·м при минимальной поляризуемости (0,1–0,2%). Зоны трещиноватости распространены достаточно широко. Эпизодически в их пределах фиксируются аномально низкоомные ($\rho = 20\text{--}50$ Ом·м) объекты небольших размеров. Природа их связыва-



ется с предельно дезинтегрированными образованиями, включая отложения линейных кор выветривания. Участки трещиноватости и линейных кор выветривания имеют субвертикальную ориентировку и тяготеют к элементам разрывной тектоники.

Разрывные нарушения подразделены на главные, рассматриваемые как рудоконтролирующие, и второстепенные. Первые контролируются субвертикальными линейно вытянутыми зонами пониженного сопротивления и, соответственно, сопровождаются зонами дробления шириной до нескольких метров. По поляризуемости они никак не выражены. Второстепенные разрывы обособлены по «незакономерному» изменению положения крупных геоэлектрических неоднородностей и контактам блоков с различными электрическими свойствами. Смещители разрывных нарушений падают в различных направлениях под крутыми углами.

Зоны окварцевания, сопровождающие золоторудные объекты или являющиеся их составной частью, выделены по аномально высоким сопротивлениям – 4000–10000 Ом·м и более. Кварц, как известно, изолятор. Зоны имеют линейно вытянутую в широтном направлении форму со средними размерами 100×1500 м. Кварцевые штокверки распространены достаточно широко, особенно в южной половине участка. Несульфидизированные кварцевые объекты отличаются минимальной поляризуемостью, а минерализованные – максимальной.

Предполагаемые рудные зоны (участки березитизации, пропицитизации) локализованы по аномально высокой поляризуемости ($\eta = 3-6\%$ и более), контролирующей скопление сульфидов (в основном пирита), и максимальным сопротивлениям ($\rho = 5000-10000$ Ом·м), обозначающим интенсивное окварцевание. В большинстве случаев к ним приурочены магнитные объекты с повышенной намагниченностью $(50-150) \cdot 10^{-6}$ ед. СГС. Природа их связывается с пирротинами – обязательным компонентом золотого оруденения, маркирующим нижнерудный – подрудный уровни [2].

По степени проявления в физических полях рудные объекты классифицированы на зоны интенсивной и умеренной сульфидной минерализации. Последним свойственна существенно меньшая поляризуемость – около 2%. Зоны березитизации (про-

пилитизации) представлены относительно широко, прежде всего на юге площади. Их средние размеры составляют 20×1500 м при субширотном простирании. Об их золотоносности свидетельствуют известные рудопроявления, расположенные в пределах метасоматитов, а также вторичные ореолы рассеяния золота, перекрывающие подавляющую часть рудных объектов. По степени поляризуемости метасоматиты можно расчленить на березиты (максимальная η) и пропициты (умеренная η).

Сближенные и конформные линейные участки гидротермально измененных образований сгруппированы в минерализованные зоны, для которых характерны повышенные показатели поляризуемости и сопротивлений. Здесь же широко представлены аномально высокоомные кварцевые штокверки.

Приведенная физико-геологическая модель полностью согласуется с нижней частью обобщенной модели золотого оруденения в черносланцевой толще, описанной в работе [2].

Статистический анализ осуществлен способом К-средних (динамических сгущений) для объективного выделения геологических образований по данным электротомографии. В общем виде суть обработки заключается в обособлении классов (таксонов) в плоскости разреза, имеющих определенные физические показатели (сопротивление и поляризуемость). Всего выделено 10 классов, соответствующим конкретным геологическим объектам (рис. 2).

Группа рудных классов (1, 2, 5) обособлена по высоким значениям поляризуемости и сопротивления. Таксон 5 соотнесен с зонами березитизации, проявленной в высшей степени. Содержания сульфидов и кварца примерно равны. Класс 2 контролирует участки интенсивной березитизации, где доля сульфидов превалирует над окварцеванием. Таксон 1 отождествлен с зоной метасоматитов, характеризующейся доминированием кварцевой составляющей над сульфидной. Все три класса, занимающие около 5% площади разрезов, соответствуют потенциальным рудным зонам. В их пределах расположены известные рудопроявления и вторичные ореолы рассеяния золота.

Таксоны 6 и 9 рассматриваются как *околорудные, минерализованные зоны*. Эта группа формирует около 10% площади разрезов.

Рис. 1. Физико-геологическая модель золотокварцевых объектов

1 – четвертичные отложения различного состава; 2 – интенсивно дезинтегрированные породы, включая образования кор выветривания; 3 – отложения имирской серии (туфы риолитов, андезиты, базальты, андезито-базальты); 4 – верхнемонокская свита (алевролиты, углефицированные алевролиты, песчаники, туфопесчаники, известняки); 5 – нижнемонокская свита (порфиновые плагиориолиты, их туфы, базальты, андезито-базальты); 6 – разрывные нарушения: а – главные, б – второстепенные; 7 – зоны дробления; 8 – зоны интенсивного окварцевания (кварцевые штокверки); 9 – участки пирротинизации; 10 – рудные зоны (золотоносные березиты), интенсивная сульфидизация и окварцевание; 11 – минерализованные зоны, умеренная сульфидизация и окварцевание; интервалы и их обозначения: 12 – перспективных рудных зон, 13 – минерализованных зон; 14 – известные рудопроявления золота, их названия и содержания металла; 15 – интервалы вторичных ореолов рассеяния с содержанием золота более 4 мг/т; 16 – рекомендуемые скважины с указанием глубины бурения; 17 – графики магнитного поля: а – положительные, б – отрицательные; 18 – удельное электросопротивление объектов, Ом·м; 19 – удельная поляризуемость объектов, %; 20 – намагниченность аномалиеобразующих тел, $n \cdot 10^{-5}$ ед. СГС

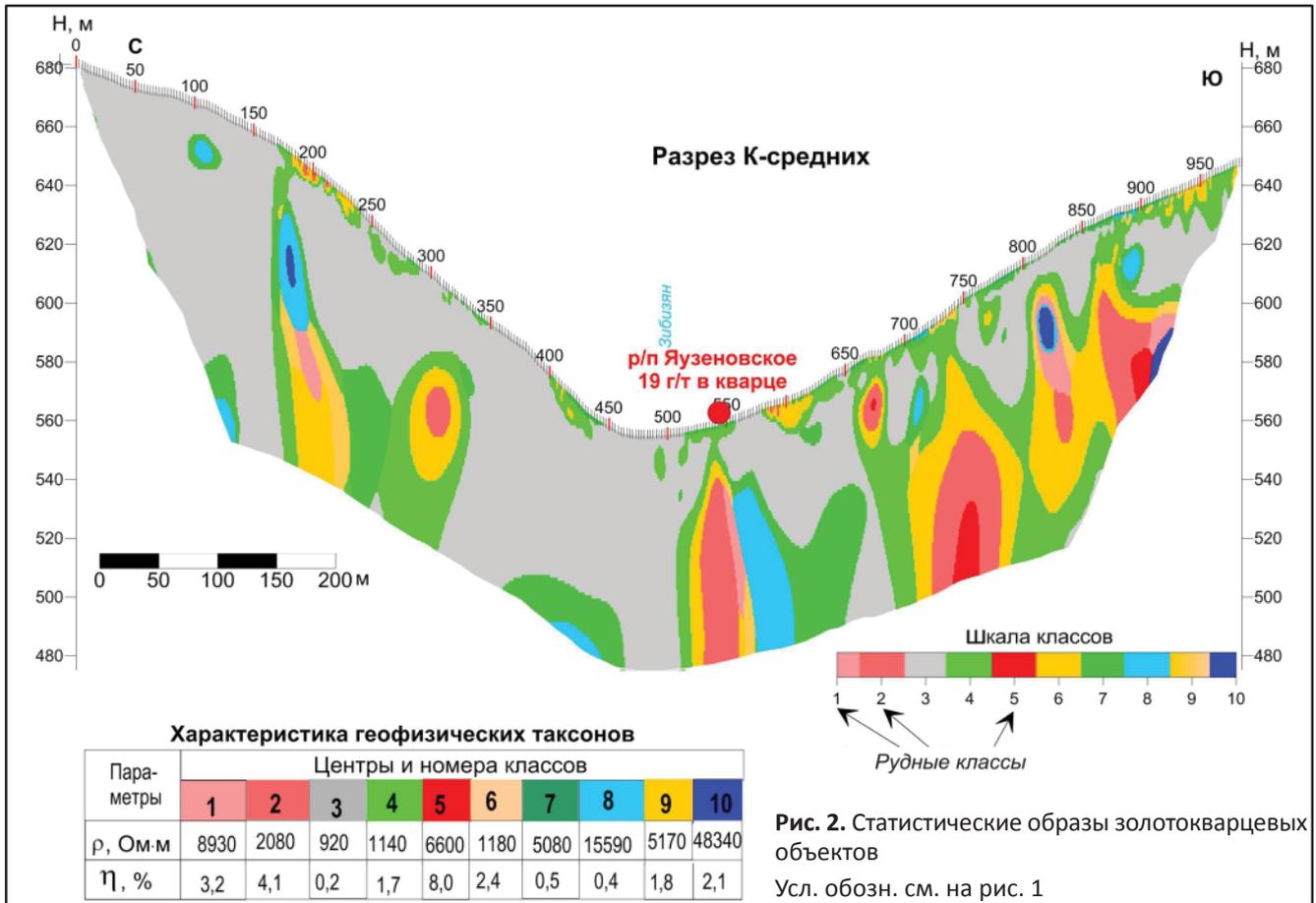


Рис. 2. Статистические образы золотокварцевых объектов
Усл. обозн. см. на рис. 1

Классы 8 и 10 отнесены к *кварцевым*, о чем свидетельствуют их аномальные сопротивления.

Таксоны 4 и 7 формируют группу со слабым проявлением гидротермального процесса. Класс 4, характеризующийся несколько повышенной η и относительно пониженным ρ , отождествлен с *вещающими породами, затронутыми сульфидизацией*. Таксон 7, для которого типичны несколько повышенное сопротивление и минимальная поляризуемость, отнесен к *вещающим образованиям с умеренным окварцеванием*. Эта группа занимает приблизительно 15% площади разрезов.

Класс 3, отличающийся минимальными электрическими показателями, контролирует *неизменные вещающие породы*. Он формирует основную часть разреза.

По совокупности полученных данных составлена карта геологического строения изученной площади (рис. 3).

В южной половине участка распространены вулканы нижнемонокской свиты, а в северной – осадочно-терригенные отложения верхнемонокской свиты. Контакт между свитами тектонический. Он приходится на пойменную часть долины. Угол падения сместителя крутой (70–75°), направление на север. Крайний северо-западный угол площади занимают вулканы имирской серии. Контакт вулканитов с подстилающими образованиями также тектонический. Сместитель падает на север под углом 28°. На крайнем юго-западе зафиксирована

серия субвулканических тел. Простирание их субширотное, конформное общей структуре, падение субвертикальное.

Вследствие оживленного тектонического режима на рассматриваемой площади широко представлены разрывные нарушения, образующие две системы. Первую формируют более ранние разрывы, отнесенные к рудоконтролирующим и синрудным. Они имеют субширотное простирание и протяженность свыше 1,5 км. Углы падения сместителей крутые (75–90°) как северного, так и южного направления. Горизонтальные смещения отдельных сегментов дизъюнктивов достигают 40 м, а вертикальные – нескольких метров. Большинство нарушений приурочено к контактам зон сульфидизации (березитизации). К ним же тяготеют зоны трещиноватости и эрозионные врезы в коренных породах, выполненные отложениями кор выветривания. Последние довольно широко распространены в пойме и на выположенных бортах долины.

Вторую систему разрывных нарушений представляют более поздние, пострудные дизъюнктивы. Они характеризуются субмеридиональным простиранием и, предположительно, вертикальным падением. Протяженность их достигает 1 км и более. По этим нарушениям осуществлялись более поздние деформации разрывов первой системы и, соответственно, рудных (метасоматических) зон. Рассматриваемые разрывы ограничивают блоки, участвующие в неотектонических перестройках. Так, по суб-

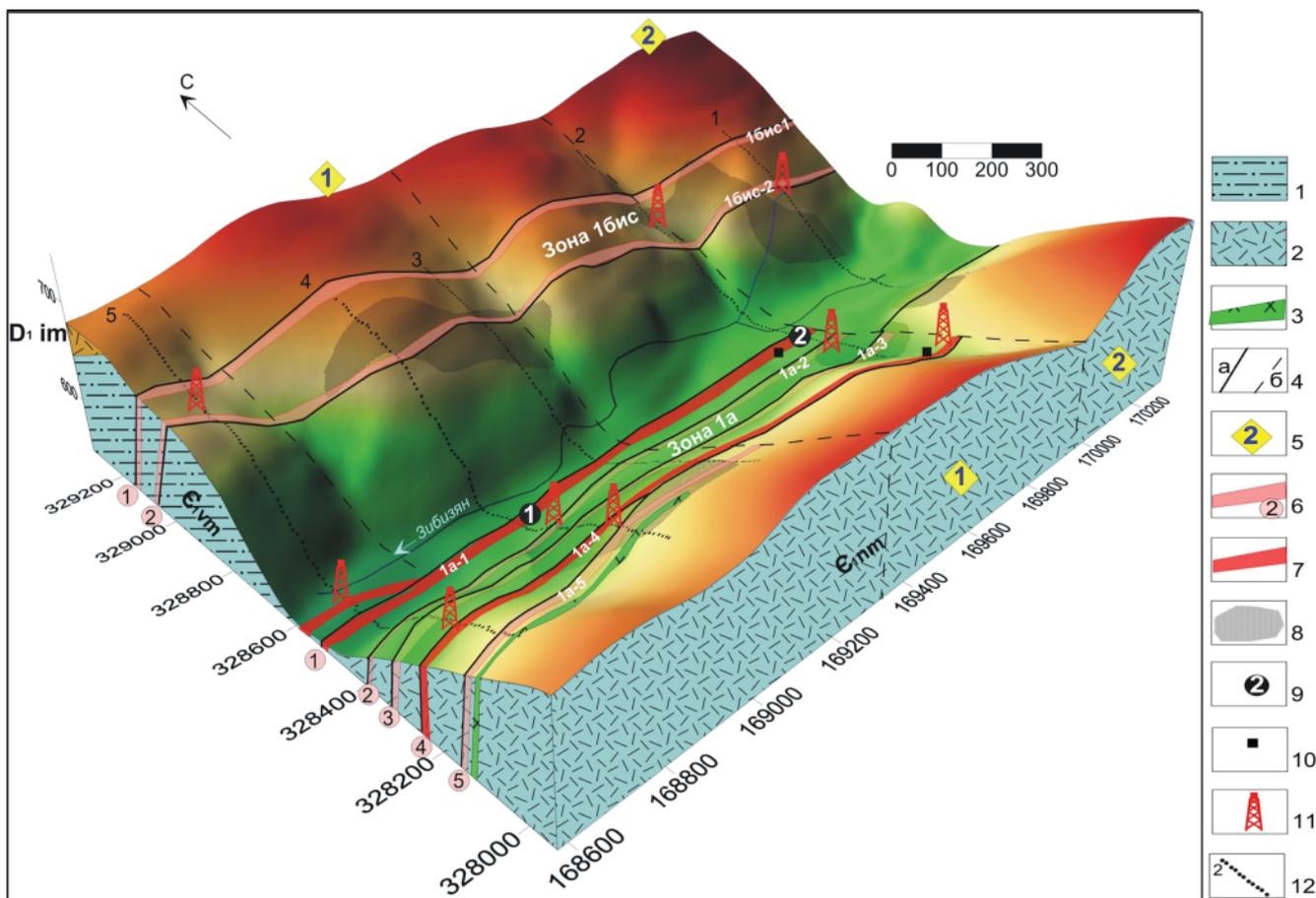


Рис. 3. Расположение золотокварцевых зон по геофизическим данным

1 – верхнемонокская свита (алевролиты, углефицированные алевролиты, песчаники, туфопесчаники, известняки); 2 – нижнемонокская свита (порфировые плагиориолиты, их туфы, базальты, андезито-базальты); 3 – отложения имирской серии (туфы риолитов, андезиты, базальты, андезито-базальты); 4 – разрывные нарушения: а – главные, б – второстепенные; 5 – номера неотектонических блоков; золотокварцевые зоны и их нумерация: 6 – с умеренной сульфидизацией, 7 – с интенсивной сульфидизацией и окварцеванием; 8 – вторичные ореолы рассеяния с содержанием золота более 4 мг/т; 9 – известные рудопроявления золота (1 – Яузеновское, 2 – Карманное); 10 – рудные точки; 11 – рекомендуемые скважины для опробования золотокварцевых объектов; 12 – геофизические профили и их номера

меридиональному разрыву в районе слияния водотоков западный тектонический блок 1, занимающий три четверти площади, был приподнят. Вследствие этого потенциально рудные объекты выведены на уровень современного эрозионного среза (верхнерудный уровень). Это хорошо видно на разрезах, где размеры сульфидизированных тел существенно возрастают с глубиной. В пределах восточного блока две рудные структуры скрыты (надрудный уровень). Амплитуда вертикальных смещений между отмеченными блоками достигает 100 м и более.

Потенциально рудные зоны, представленные интенсивно березитизированными и пропилитизированными образованиями, в пределах участка распространены достаточно широко. Как упоминалось, для них характерны максимальная поляризуемость, контролирующая скопления сульфидов (преимущественно пирита, реже пирротина), anomalно высокие сопротивления, маркирующие участки интенсивного окварцевания и повышенные магнитные свойства, определяющие зоны пирротинизации.

В пределах правого борта долины прослежена минерализованная зона 1бис, представленная двумя рудными зонами широтного простирания. Их средние размеры составляют 20×1500 м. На глубине мощность рудных метасоматитов существенно увеличивается. В низах разреза (50 м) зоны сочленяются, что объясняет разнонаправленное падение зон на уровне эрозионного среза. Углы падения крутые (70–85°), направление как северное, так и южное. На глубину рудные объекты прослеживаются до 100 м и более. О золотоносности зон свидетельствуют перекрывающие вторичные ореолы рассеяния с содержанием золота свыше 0,004 г/т с конформной (широтной) ориентировкой.

В пойме и на левом борту долины выделена крупная минерализованная зона 1а, включающая пять линейных рудных зон с широтной ориентировкой. Восточные оконечности объектов деформированы в результате неотектонических перестроек, что выражается изменениях глубин залегания верхних кромок, углов и направления падения, вплоть до



выклинивания. Осредненные размеры рудных объектов 30 ± 1200 м. Углы падения крутые ($75-90^\circ$) в направлении на север, реже – на юг. На глубину оруденение прослеживается до 100 м и более. В пределах минерализованной зоны 1а выявлено несколько вторичных ореолов рассеяния золота с содержанием более 0,004 г/т.

Рудная зона 1а-1, закартированная в пойме долины, представляется наиболее перспективной для выявления промышленных золоторудных объектов, так как здесь локализована большая часть известных рудопоявлений и рудных точек. Рудопоявления Яузенское и Карманное отличаются высокими содержаниями золота в кварце: 19 и 17 г/т соответственно. Очевидно, что рассматриваемая структура была основным источником питания ныне отработанной россыпи. Рудная зона 1а-4 представляется чуть менее перспективной, так как в ее пределах известны лишь рудные точки. В геофизических показателях обе зоны характеризуются полным пакетом золотоконтролирующих факторов, формирующих ядро принятой за основу ФГМ [3], наибольшей поляризуемостью (более 6%) и пространственной выдержанностью. Здесь же выявлены самые контрастные зоны развития отложений кор выветривания (локальные линейные врезки в коренном основании).

Остальные рудные зоны (2, 3, 5) отнесены к *рядовым*.

Для установления промышленной значимости охарактеризованных объектов и сопровождающих их потенциально золотоносных отложений кор выветривания рекомендуется проходка восьми скважин с различными параметрами бурения. Угол наклона скважин $50-60^\circ$, направление как северное, так и южное, средняя глубина 150 м.

Как показывает практика, погрешность определения элементов залегания золоторудных объектов не превышает 10% [4].

Электротомография ВП позволила, наряду с решением традиционного круга задач (детальное литологическое расчленение разреза, определение конфигурации коренного основания), выявить закономерности проявления золото кварцевых объектов и оценить элементы их залегания. Собственно оруденение контролируется интенсивно поляризующимися объектами (3–6% и более) и высокоомными телами (более 5000 Ом·м). По магниторазведочным

данным объект сопровождается магнитными образованиями (около $100 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС).

Приведенный комплекс геофизических методов, включающий электротомографию ВП и магниторазведку, представляется оптимальным и рекомендуется для производства при решении аналогичных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А. А., Горбунов А. А., Модин И. Н. 2D электроразведка методом сопротивлений: методики, аппаратура, программное обеспечение // Матер. семинара «Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых». – СПб., 2005. – С. 39–45.
2. Пустозеров М. Г. Современные геофизические технологии при золотопоисковых работах в ЗАО «Полус» // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 1. – С. 37–43.
3. Пустозеров М. Г. Электротомография ВП 2D – надежный инструмент решения геологических задач // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 12. – С. 16–20.
4. Пустозеров М. Г., Писарев Л. Г. Физико-геологическая модель золотого оруденения в черносланцевых толщах // Отечественная геология. – 2000. – № 1. – С. 28–33.

REFERENCES

1. Bobachev A. A., Gorbunov A. A., Modin I. N. *Seminar "Primenenie sovremennykh elektrorazvedochnykh tekhnologiy pri poiskakh mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh"* [Workshop "The implementation of modern technologies of electrical prospecting for mineral deposits"]. Saint Petersburg, 2005, pp. 39–45. (In Russ.).
2. Pustozеров M. G. [Modern geophysical technologies in searching for gold in ZAO Polyus]. *Razvedka i okhrana neдр – Subsoil exploration and protection*, 2008, no. 1, pp. 37–43. (In Russ.).
3. Pustozеров M. G. [2D electrical tomography – reliable tool to solve geological problems]. *Razvedka i okhrana neдр – Subsoil exploration and protection*, 2008, no. 12, pp. 16–20. (In Russ.).
4. Pustozеров M. G., Pisarev L. G. [A physical-geological model gold mineralization in black-shale strata]. *Otechestvennaya geologiya – National geology*, 2000, no. 1, pp. 28–33. (In Russ.).

© М. Г. Пустозеров, 2017