



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

**НПП ВИРГ-РУДГЕОФИЗИКА**

*virg-npp.ru, 8(812)309-98-39, 197348, Россия, Санкт-Петербург, Аэродромная д. 8 литер А, офис 244*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ В 2017 ГОДУ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ МАЛЕТОЙВАЯМСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (П-ОВ КАМЧАТКА)**

Рассмотрены результаты поисковых геофизических работ, выполненных в 2017 году ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» в пределах центральной части Малетойваямского золоторудного поля, объединяющего несколько мелких месторождений золота «high sulfidation» типа. На участке площадью 20 км<sup>2</sup> выполнены площадные (масштаба 1:10 000) и профильные электроразведочные работы, а также — магнитная съемка масштаба 1:5 000. По данным электро- и магниторазведки уточнено геологическое строение центральной части Малетойваямского золоторудного поля и основных золотоносных структур (зон), что позволило выдать рекомендации по дальнейшему проведению поисково-разведочных работ в его пределах, а также рациональному размещению скважин поискового бурения.

### **Введение**

Резкий рост цен на драгоценные металлы в начале 2000-х годов сделал привлекательными для золотодобывающих компаний месторождения с бедными рудами (содержание Au 1 – 2 г/т), но большими запасами. К этой группе относятся месторождения золото-сульфидной формации (например, Сухой Лог (Россия)), а также золото-серебряные эпитермальные месторождения «high sulfidation» (HS) или кислотно-сульфатарного типа (Янакоча (Перу), Ель Индио (Чили) и др.), добыча драгоценных металлов из которых в мире растет. Значительная доля эпитермальных Au-Ag-месторождений HS-типа приурочены к массивам измененных пород — кислотно-сульфатарным образованиям (алунит-каолинит-кварцевые, гидрослюдисто-каолинит-кварцевые и др.) — расположенным в молодых вулканогенно-осадочных поясах. Ранее они рассматривались в качестве околорудных метасоматитов или «надрудных шляп», не содержащих промышленного оруденения [Волков и др., 2015]. Целенаправленные поиски Au-Ag-месторождений HS-типа в России начали проводить лишь с начала 2000-х годов. По этой причине перспективы открытия подобных месторождений в пределах молодых вулканогенно-осадочных поясов Дальнего Востока России весьма высоки [Волков и др., 2015]. К настоящему времени выявлено лишь несколько Au-Ag-месторождений HS-типа из которых ведется добыча металла (Озерновское (п-в Камчатка), Светлое (Хабаровский край), Утесное, Атаган (Магаданская обл.)).

На Камчатке, в частности, известно большое количество массивов, сложенных кислотно-сульфатарными образованиями (далее массивами вторичных кварцитов), в пределах которых поисковые работы на золото, серебро и медь не проводились, несмотря на то, что рудопроявления этих металлов установлены повсеместно. Такая ситуация

сложилась в Северо-Камчатском сероносном районе в пределах которого с конца 1950-х по 1970-е годы геологоразведочные работы были нацелены на поиски серы [Яроцкий, 2006]. Позднее, в 2000-х годах, в его пределах выделяют рудные узлы и участки, перспективные на выявление крупнообъемных эпитермальных золото-серебряных и медно-порфировых месторождений. В частности, в пределах Малетойваямского рудного узла с 2007 года проводятся комплексные поисково-разведочные работы (горно-буровые, геохимические, геофизические и др.), по результатам которых разведано несколько мелких месторождений золота HS-типа, а также выделено новое Малетойваямское золоторудное поле. Однако, несмотря на значительный объем геологоразведочных работ, выполненных в пределах Малетойваямского золоторудного поля в разные годы, его изученность оказалась крайне неравномерной. Это привело к остановке поисково-разведочных работ и послужило основанием для постановки наземных геофизических работ с целью его геологического доизучения. В настоящей работе приводятся результаты площадных геофизических работ, выполненных ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» на участке 20 км<sup>2</sup>, расположенном в центральной части Малетойваямского золоторудного поля в 2017 году.

### **Геологическая характеристика Малетойваямского золоторудного поля**

Малетойваямское золоторудное поле расположено в центральной части одноименного рудного узла. В структурном плане оно расположено в центральной части вулcano-тектонической структуры, представляющей собой крупный стратовулкан Корякско-Центрально-Камчатского неоген-четвертичного вулcano-плутонического пояса, с расположенной в ее центре кальдерой обрушения. Субстрат стратовулкана сложен песчаниками, гравелитами, конгломератами с прослоями угленосных отложений, мергелей и известняков ранне-среднемиоценового возраста [Волчков, Звездов, 1997]. Собственно стратовулкан сложен раннемиоценовыми стратифицированными вулcanoгенно-осадочными образованиями (эффузивными, пирокластическими и туфогенно-осадочными породами андезитового состава), в различной степени измененными гидротермально-метасоматическими процессами (Рис. 1).

Малетойваямское рудное поле, включающее три мелких месторождения золота HS-типа и несколько рудопроявлений люционит-энаргитовой и наложенной медно-мышьяковой сульфосолевой минерализации [Tolstykh et al., 2018; Звездов, Волчков, 1997]. Большая часть выделенных золотоносных тел — это мощные минерализованные залежи пластовой формы в монокварцитах, реже в алунитовых и пирит-алунитовых вторичных кварцитах. Вещественный состав золоторудных тел: кварц, алунит и каолинит. Рудные минералы представлены пиритом, лимонитом и энаргитом, количество которых в среднем не превышает 1 – 2 % от объема породы (иногда достигает 5 – 10 %).

Малетойваямское рудное поле расположено в пределах полосы измененных пород шириной до 10 км, протягивающейся на расстояние 35 км с юго-запада на северо-восток.

В строении массивов (полей) измененных пород выделяется горизонтальная и вертикальная зональность, типичная для месторождений HS-типа (от периферии к центру): пропилиты, серицит-кварцевые, каолинит-кварцевые и алунит-кварцевые вторичные кварциты; монокварциты сливные и пористые (Рис. 2). Местонахождение, форма и размеры полей вторичных кварцитов определяются литологическим (физико-механическими свойствами пород) и тектоническим факторами.

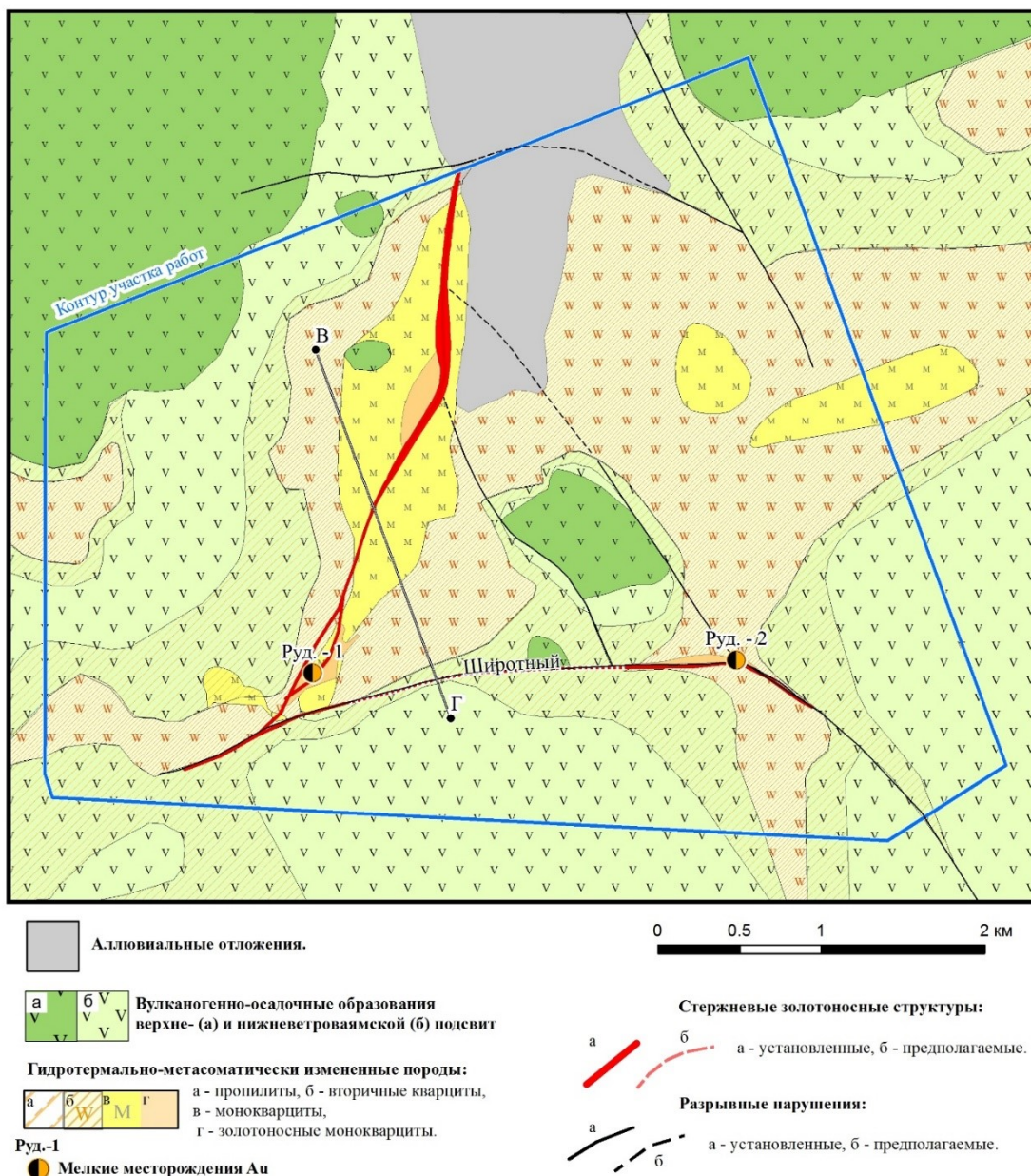


Рис. 1. Схематическая геологическая карта центральной части Малетойваямского золоторудного поля (по материалам: К.И. Воскресенский и др. (2007); А.У. Кан (2012); Н.М. Большаков, В.П. Петроченко (2013)).

*Линия ВГ – профиль ЭТ-ВП (результаты см. на рисунке 5).*

На схематической карте центральной части Малетойваямского золоторудного поля, большая часть которого перекрыта четвертичными песчано-глинистыми образованиями, выделено два крупных линейно-вытянутых массива окварцованных пород и несколько дайкообразных золотоносных тел монокварцитов. Вытянутая форма массивов окварцованных пород, а также приуроченность дайкообразных тел золотоносных монокварцитов к разрывным нарушениям позволили предположить наличие крупной золотоносной зоны северного простирания — стержневой золотоносной структуры Малетойваямского рудного поля. Предполагаемое положение осевой части зоны отмечено на карте красными линиями (Рис. 1).

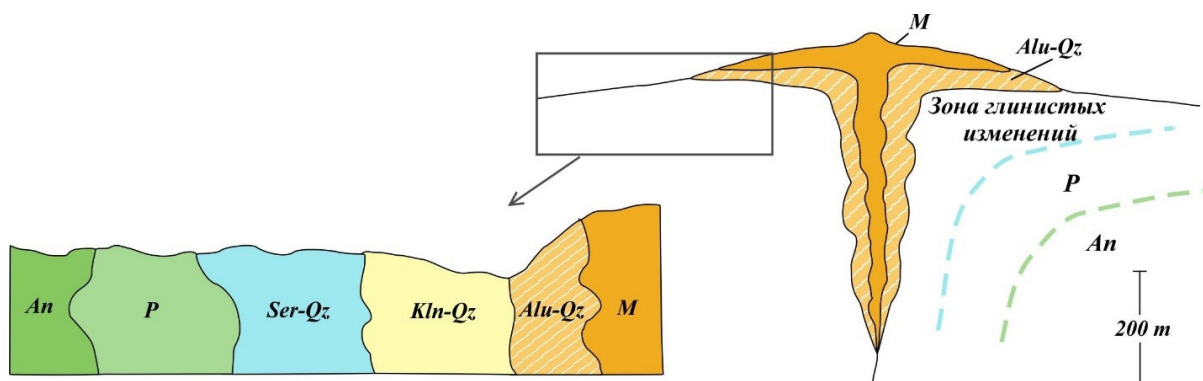


Рис. 2. Схема метасоматической зональности массивов вторичных кварцитов Малетойваямского рудного узла.

При составлении рисунка использована схема, приведенная в работе [Arribas et al., 2000].  
 Метасоматически измененные породы: М – монокварциты; Alu-Qz – алунит-кварцевые и Kln-Qz – каолинит-кварцевые вторичные кварциты, Ser-Qz – серицит-кварцевые метасоматиты, P – пропилиты, An – андезиты.

### Применение геофизических методов при поисках месторождений золота HS-типа

Особенности геологического строения эпитермальных Au-Ag-месторождений HS-типа существенно различны. Однако их объединяет то, что они располагаются в пределах полей интенсивно измененных пород площадью до 10 км<sup>2</sup> и более [Sillitoe, 1999; Петренко, 1999], которые с разной степенью детальности отражаются в геофизических полях. Примеры решения поисковых задач геофизическими методами на эпитермальных Au-Ag-месторождениях HS-типа, расположенных в Новой Зеландии, Японии, Австралии, США и других районах мира многочисленны [Locke et al., 2007; Allis, 1990; Irvine and Smith, 1990]. Обобщая результаты этих работ можно выделить группу геофизических методов, обладающих наибольшей эффективностью: магнитная съемка (в наземном или аэровариантах), а также электроразведка методами кажущегося сопротивления и вызванной поляризации (ВП), особенно на тех месторождениях, где золото приурочено к телам монокварцитов или сульфидизированным породам.

### Результаты геофизических работ, выполненных в 2017 году в пределах центральной части Малетойваямского золоторудного поля

По данным магнитной съемки и электропрофилирования методом кажущегося сопротивления на переменном токе (4.88 Гц) с установкой срединного градиента (ЭП-СГ) хорошо разделяются вулканогенно-осадочные образования, различающиеся вещественным составом и степенью гидротермально-метасоматических изменений (Рис. 1, 3).

Вулканогенно-осадочные образования, не подверженные интенсивным преобразованиям гидротермально-метасоматическими процессами, чаще всего в магнитном поле выделяются положительными аномалиями магнитного поля интенсивностью более 100 – 300 нТл. При этом магнитное поле над ними обладает высокой изрезанностью (дисперсностью), которая обусловлена их неоднородным строением (Рис. 3).

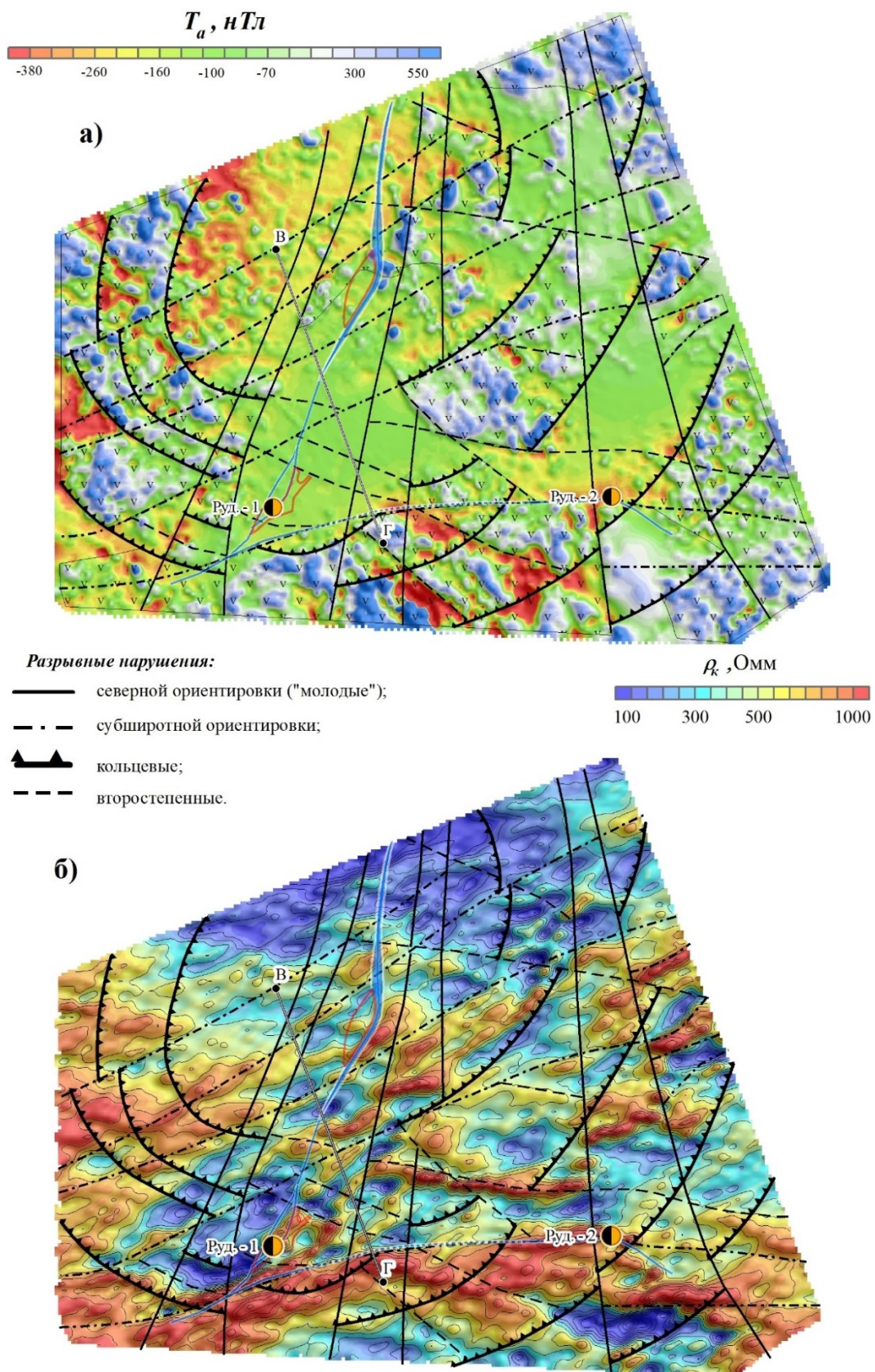


Рис. 3. Карты раскрашенного псевдорельефа (а) аномального магнитного поля и (б) логарифма удельного электрического сопротивления (по данным ЭП-СГ) для центральной части Малейвайамского золоторудного поля с элементами интерпретации.

*Линия ВГ – профиль ЭТ-ВП (результаты см. на рисунке 5).*

По данным ЭП-СГ среди неизменных вулканогенно-осадочных образований выделяются пачки с преобладанием туфов, характеризующиеся пониженным удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ), и лав — характеризующиеся повышенным и высоким  $\rho$ . На карте изолиний  $\lg(\rho_k)$ , приведенной на рисунке 3а, видно, что в северной и центральной частях участка работ преобладают туфы, а в южной и северо-западной — лавы. Однако их картирование по площади работ затруднено, так как глинистые разности вторичных кварцитов (кварц-серицитовые, каолинит-монтмориллонитовые и др.) также характеризуются сопоставимыми значениями  $\rho$ , а вулканогенно-осадочные образования обладают фациальной изменчивостью.

Интенсивно измененные породы (вторичные кварциты, аргиллизиты и др.) обычно слабомагнитны или немагнитны. Поэтому в магнитном поле они выделяются площадными отрицательными аномалиями интенсивностью до - 300 – -500 нТл и низкой изрезанностью поля. Кроме того, аномалии, отвечающие массивам интенсивно измененных пород, обычно разрушают общую «структуру» поля, что обусловлено преобразованием протолита — вулканогенно-осадочных образований (см. Рис. 3а). По данным электроразведки методами кажущегося сопротивления (Рис. 3б) и вызванной поляризации (Рис. 4) среди группы интенсивно измененных пород дополнительно удастся выделить глинистые (монтмориллонитовые, алунитовые и др.), сульфидизированные (кварц-пиритового, кварц-алунит-пиритового состава и др.) и окварцованные породы (монокварциты, окварцованные вторичные кварциты различного вещественного состава).

Наиболее контрастно интенсивными аномалиями повышенных значений  $\rho_k$  (более 300 Ом·м) на фоне глинистых разностей «вторичных кварцитов» выделяются тела окварцованных пород, которые мы разделили на два типа: площадные (пласто- или линзообразные) и дайкообразные.

Дайкообразные тела монокварцитов выделяются контрастными линейно-вытянутыми аномалиями  $\rho_k$ , которые часто приурочены к разрывным нарушениям широтной и СВ ориентировки. Мощность дайкообразных тел изменяется от 20 до 80 м, протяженность — от первых сотен метров до километров. На геоэлектрических разрезах распределения  $\rho$ , построенных по данным ЭТ-ВП, они выделяются субвертикальными линейно-вытянутыми аномалиями повышенных значений  $\rho_k$  (Рис. 5, пикеты 1800, 2000, 2300).

Выделенные по геофизическим данным дайкообразные тела монокварцитов показаны на схеме интерпретации, приведенной на рисунке 6. Хорошо видно, что они образуют подобие «жилы» зоны субширотной ориентировки, в которую можно объединить до 80 % от общего количества выделенных тел.

Тела окварцованных пород площадного типа распространены в центральной части участка работ. Они объединяются в зону окварцевания шириной около 500 – 600 м, вытягивающуюся в северо-восточном (субширотном) направлении. На геоэлектрических разрезах ЭТ-ВП (Рис. 5), они выделяются линзо- и пластообразными аномалиями повышенных значений  $\rho_k = 300 – 5000$  Ом·м. Чаще всего окварцованные тела площадного типа имеют субгоризонтальное положение в разрезе, что отражает ведущую роль литологического фактора (экранирование гидротермальных растворов) при их формировании. Мощность пластообразных тел окварцованных пород по данным ЭТ-ВП изменяется от десятка метров в центральной части участка работ, до 100 – 150 м в его ЮЗ части (вблизи месторождения 1).

Таким образом, по данным площадных электроразведочных работ показано, что выдержанных стержневых структур и массива окварцованных пород северного простирания, выделенных на геологической карте, не установлено. При этом выделена зона окварцевания субширотного, а не северного направления, включающая серию субпараллельных дайкообразных тел монокварцитов (подобие жильно-прожилковой зоны), большинство из которых не отражено на геологической карте.

Разрывные нарушения также хорошо отражаются в геофизических полях. Они выделяются линейно-вытянутыми локальными аномалиями, ступенями поля, нарушением осей корреляции аномалий (смещением в плане) и др (Рис. 3, 4).

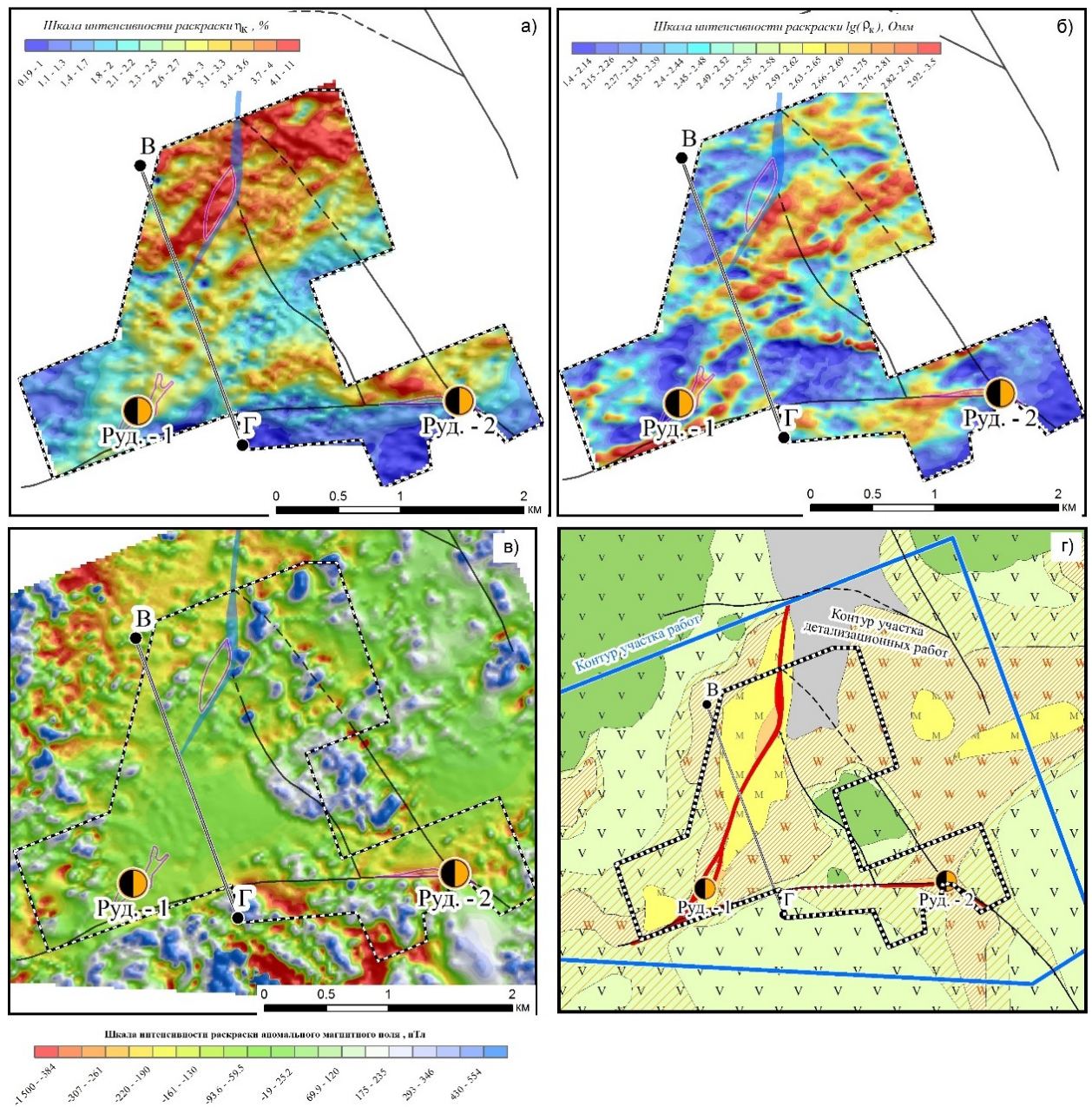


Рис. 4. Результаты геофизических работ на детальном участке.

Карты раскрашенного псевдорельефа: (а) кажущейся поляризуемости, (б) логарифма кажущегося удельного электрического сопротивления, (в) аномального магнитного поля (в). г – Схематическая геологическая карта центральной части Малотиваямского золоторудного поля.

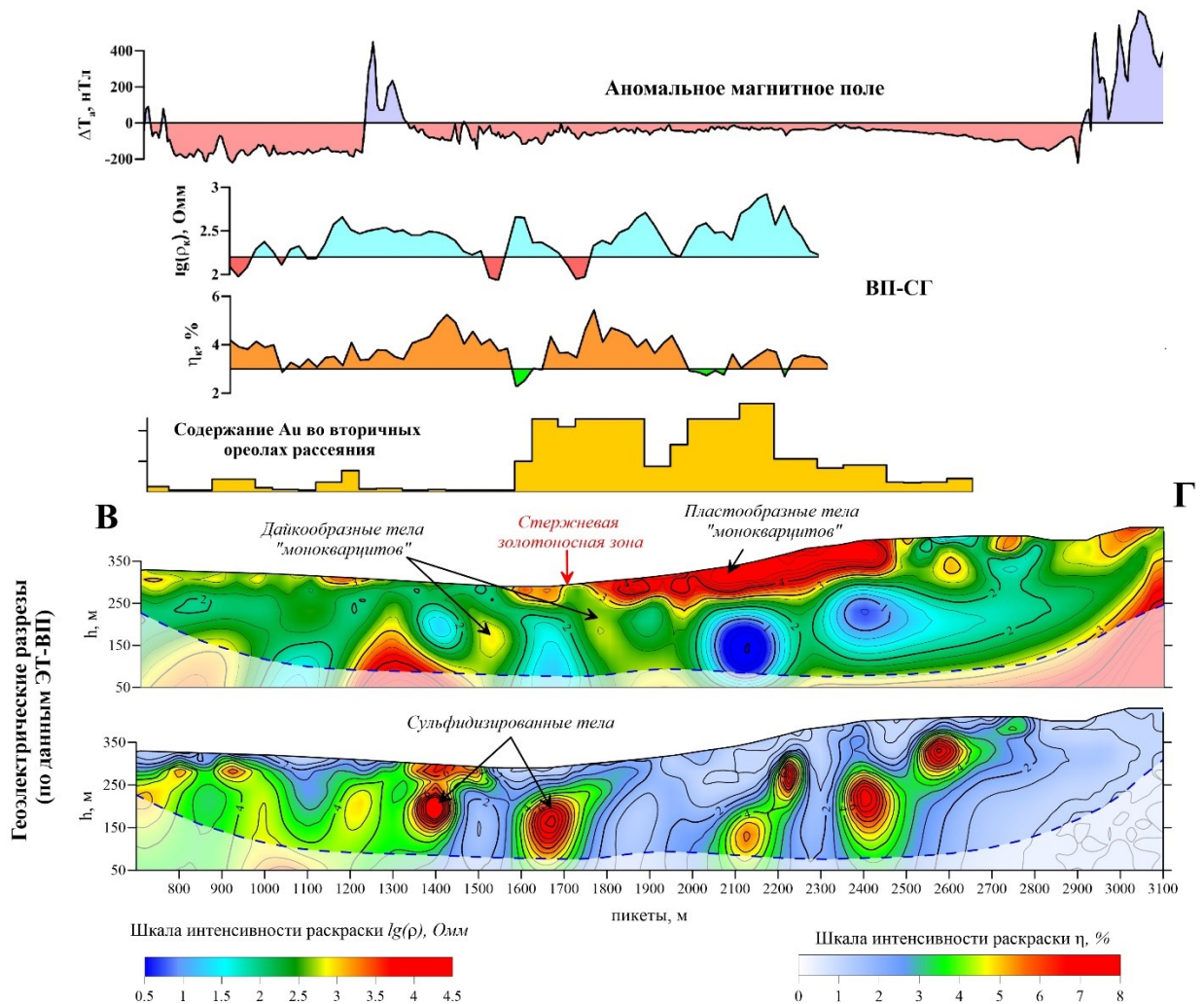


Рис. 5. Результаты геофизических работ по профилю ВГ.

По результатам анализа данных магнито- и электроразведки, а также их структурно-геологической интерпретации выделены главные и второстепенные разрывные нарушения. К главным отнесены разломы глубинного заложения (кольцевые и субширотные), а к второстепенным — все остальные.

По результатам анализа геолого-геофизической информации, в центральной части Малетойваямского рудного поля выделен участок детализации (Рис. 5), в пределах которого располагается наиболее перспективная на выявление золотого оруденения площадь (возможно продолжение рудоносных структур в северо-восточном и широтном направлениях). На участке детализации выполнены электропрофилеирование ВП-СГ (Рис. 5) и ЭТ-ВП (Рис. 4) с целью поиска и выделения сульфидизированных пород, а также изучения строения золотоносных структур на глубину.

По данным ВП-СГ оконтурены ореолы сульфидизированных пород, включающие линейные зоны сульфидизации — минерализованные разрывные нарушения и сульфидизированные тела монокварцитов. На картах изолиний  $\eta_k$  и  $\rho_k$  видно, что интенсивные аномалии  $\eta_k$  располагаются в краевых частях массива окварцованных пород. Таким образом, для центральной части Малетойваямского золоторудного поля выделяется зональность, типичная для месторождений медно-порфиrowого типа: в центре кварцевое ядро, на периферии — сульфидизированные породы.



Линейным зонам сульфидизации часто отвечают дайкообразные тела монокварцитов, содержащие сульфиды. При этом сульфидизированными оказываются тела монокварцитов северо-восточного простирания, а тела широтного и северо-западного простирания — чаще всего не содержат сульфидов (Рис. 4, 6). Это может указывать на разные временные этапы их образования или на то, что часть структур неоднократно подновлялась (являются «долгоживущими»).

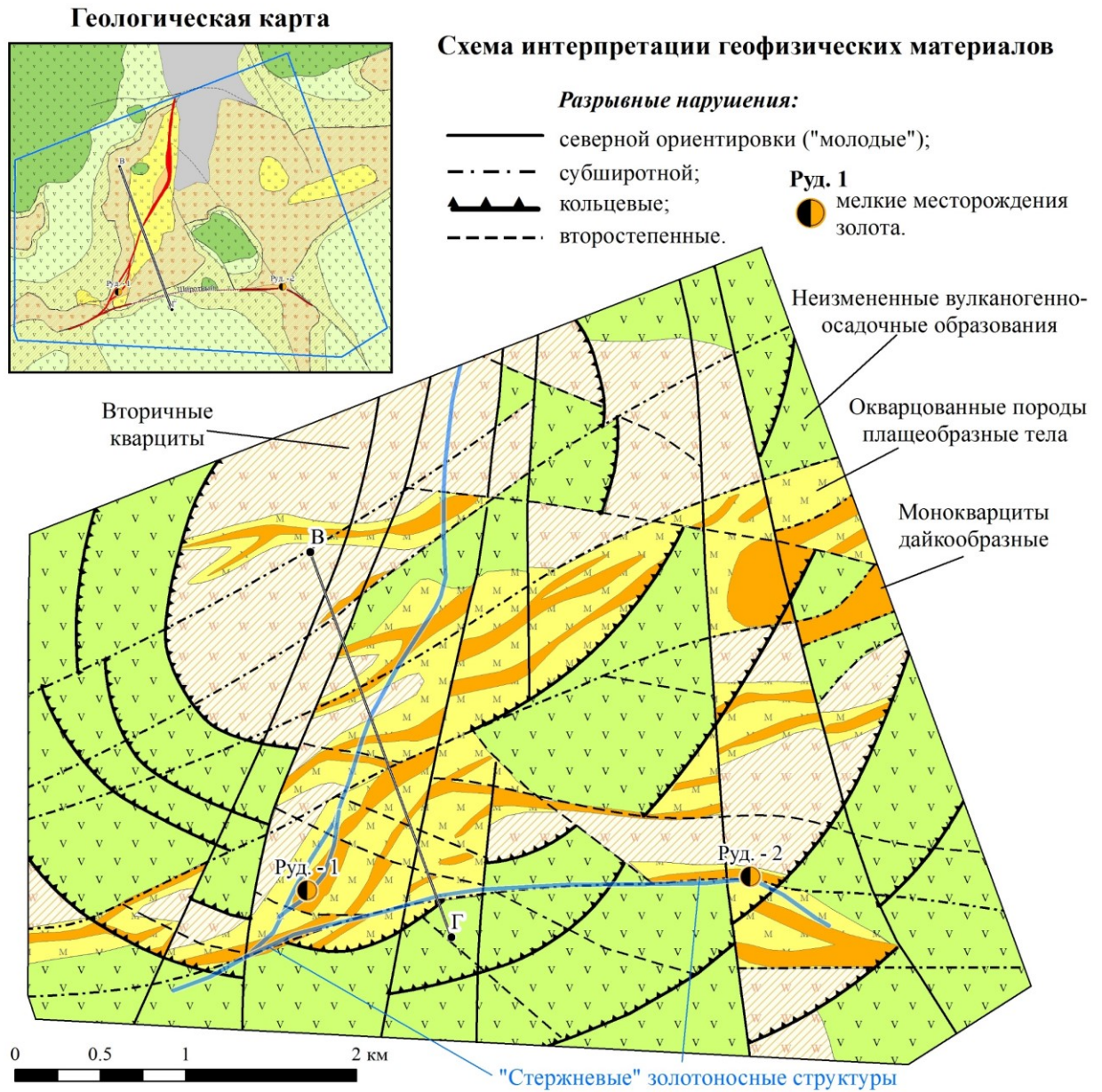


Рис. 6. Геологическое строение центральной части Малотиваямского золоторудного поля по геофизическим данным.

Линия ВГ – профиль ЭТ-ВП (результаты см. на рисунке 5).

## Выводы

Проведенный анализ геолого-геофизических материалов показал, что, несмотря на значительный объем геологоразведочных работ, проведенных в пределах Малетойваямского рудного узла в разные годы, многие элементы его геологического строения (структура, метасоматическая зональность и др.) остались изучены недостаточно для постановки разведочных работ. Выдержанных стержневых золотоносных структур и массива окварцованных пород северного простирания по геофизическим данным не установлено. По этой причине часть скважин и горных выработок были пройдены за пределами или на флангах потенциально золотоносных зон (пространственное положение поисково-разведочных скважин и горных выработок определялось существующим представлением о наличии стержневых золотоносных структур).

По результатам выполненных работ уточнено геологическое строение центральной части Малетойваямского золоторудного поля и основных золотоносных структур (зон), что, в свою очередь, позволило выдать рекомендации по дальнейшему проведению поисково-разведочных работ в его пределах, а также скорректировать размещение скважин поискового бурения.

## Список литературы

**Волчков А. Г. Звездов В. С.** *Природа проявлений медно-мышьяковой минерализации Малетойваямского стратовулкана // Руды и металлы, 5, 1997, С. 44–52.*

**Волков, А.В., Савва Н.Е., Сидоров, А.А., Колова Е.Е., Чижова И.А., Алексеев В.Ю.** *Эпитермальное золото-серебряное месторождение Атаган и перспективы выявления минерализации высокосульфидизированного типа на Северо-Востоке России // Геология рудных месторождений, 2015, 57 (1), С. 25–47.*

**Петренко И. Д.** *Золото-серебряные формации Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 1999. 116 с.*

**Яроцкий Г.П.** *Геолого-геофизические закономерности размещения вулканических серных месторождений Тихоокеанского рудного пояса (Корякия-Камчатка-Курилы-Япония). Петропавловск-Камчатский, 2006, 138 с.*

**Allis R. G.** *Geophysical anomalies over epithermal systems // Journal of Geochemical Exploration. Vol. 36, 1990, P. 339 – 374.*

**Arribas A., Gonzalez-Urien E. and Hedenquist J.W.** *Exploration for epithermal gold deposits // Society of Economic Geologists. 2000, Vol. 13, P. 245 – 277.*

**Irvine R. J. and Smith M. J.** *Geophysical exploration for epithermal gold deposits // Journal of Geochemical Exploration, Vol. 36, 1990, P. 375 – 412.*

**Locke A. et al.** *Geophysical characteristics of the southern Coromandel Volcanic Zone, New Zealand, and associated epithermal deposits // ASEG 2007 – Perth, Western Australi. P. 1 – 5.*

**Sillitoe R. H.** *Styles of High-Sulphidation Gold, Silver and Copper Mineralisation in Porphyry and Epithermal Environments // Pacrim 1999 Proceedings, Bali, Indonesia; The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, P. 29 – 45.*

**Tolstykh N.V., Tuhý A.M. and Shapovalova M.** *Conditions of formation of Au-Se-Te mineralization in the Gaching ore occurrence (Maletoyvayam ore field), Kamchatka, Russia // Mineralogical Magazine. 2018, P. 1 – 44.*