

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.11>

УДК: 537.87, 550.37

## ПОИСК ЗОЛОТО-КВАРЦЕВОЙ ЖИЛЫ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ МЕТОДОМ ГЛУБИННОЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

О.А. Гулевич<sup>1,2</sup>, Л.Б. Волкомирская<sup>1,2</sup>, В.В. Варенков<sup>1</sup>, А.Е. Резников<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.  
Н.В. Пушкова РАН, 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское ш., д. 4

<sup>2</sup> ООО «Таймер», 10840, г. Москва, г. Троицк, ул. Лесная 4Б

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2022 г.

**Аннотация.** Методом глубинной георадиолокации исследован участок золоторудного месторождения в Восточной Якутии на глубину до 300 м, выявлены основные структурные особенности верхней части разреза, включающего слой мерзлых пород, и определены перспективные зоны для разведочного бурения. Высокое пространственное разрешение глубинной георадиолокации обеспечило локализацию дайки гранодиорит-порфиров мощностью 2 м как в толще многолетнемерзлых пород, так и в нижележащих талых слоях. Подошва многолетнемерзлых пород контрастно выделяется на данных глубинной георадиолокации. Приводятся радарограммы с высокоомной аномалией, приуроченной к рудной зоне, во вмещающих мерзлых породах, характеризующихся меньшим удельным электрическим сопротивлением.

**Ключевые слова:** глубинная георадиолокация, золото, кварцевая жила, высокое разрешение.

**Автор для переписки:** Гулевич Оксана Александровна, [o.a.gulevich@gmail.com](mailto:o.a.gulevich@gmail.com)

## Введение

На месторождениях Дальневосточного региона России добывается значительная часть общего объема золота. Большое влияние на рентабельность добычи твердых полезных ископаемых здесь оказывают суровые климатические условия, сложный и труднодоступный рельеф местности, характер строения и залегания рудных тел, особенности геологоразведочных работ в условиях криолитозоны. Рудные тела часто представлены золото-кварцевыми жилами малой мощности. Для снижения потерь при разработке жильных месторождений необходимо развитие эффективных геофизических методов исследования на ранней стадии геологоразведочных работ. Такой геофизический метод должен обладать способностью выявлять и прослеживать рудную зону на фоне вмещающих пород, в том числе находящихся в мерзлом состоянии, и иметь необходимое для обнаружения рудных тел малой мощности пространственное разрешение на требуемых глубинах.

Маломощные кварцево-золоторудные тела с малым количеством сульфидов достаточно сложно выявлять и прослеживать традиционными геофизическими методами. Методы электроразведки могут применяться здесь для общего выявления структуры участка: зон тектонических нарушений, геологических контактов и картирования геологических образований, имеющих различные электрические параметры.

Классическая георадиолокация отмечается как оперативный и эффективный метод исследования на россыпных месторождениях золота в криолитозоне на небольших глубинах, в том числе при обследовании пресноводных водоемов с низкой минерализацией [1]. Однако, максимальная глубина исследований с георадаром, собранным по традиционной схеме, как правило, не превышает 10–30 метров.

Современная глубинная георадиолокация отличается от классической георадиолокации рядом технологических особенностей, в том числе: способом генерации и формой зондирующего сигнала, высоким динамическим диапазоном аппаратуры, более широкой полосой рабочих частот, технологией

регистрации сигнала в приемном устройстве и т.д. [2,3]. Развитие технологии метода отраженных электромагнитных волн на базе технологии георадаров ГРОТ позволяет проводить исследования на глубину свыше 500 метров [4].

В сравнении с методами электроразведки георадар отличается высокая разрешающая способность, достигаемая за счет локализации подповерхностных границ прямыми измерениями с высокой точностью. Главным преимуществом георадарной съемки по сравнению с бурением является непрерывность исследования с требуемой точностью по профилю, которая позволяет проследить подповерхностные границы и оконтурить аномалии с признаками рудных зон.

В настоящей работе приводятся результаты глубинного георадарного исследования участка золоторудного месторождения в Восточной Якутии на глубину до 300 м.

## **1. Методика работ**

Исследуемое золоторудное месторождение, составная часть Эльгенджинского рудного узла Адычанской золотоносной зоны, находится в 250 км к юго-востоку от пос. Батагай. Рельеф района средневысокогорный, сильно расчлененный с каньонистыми водотоками, свойственный горной цепи хребта Черского [5]. На рисунке 1 представлены фотографии участка, на котором проводились георадиолокационные исследования.

Георадарные исследования проводились методом профилирования с построением сетки профилей по поверхности участка размером 70 м на 140 м с расстоянием между профилями 10 м и шагом между точками измерения 2 м с помощью глубинного георадара повышенной мощности, собранного по технологии ГРОТ 12, производства ООО «Таймер», г. Москва, Россия. Пиковое импульсное напряжение передатчика 16 кВ, длина антенн 10 м. Длина записи в приёмнике составляла 10000 нс.



Рис. 1. Фотографии с места работ

Месторождение представлено минерализованной зоной, образованной стержневой дайкой гранодиорит-порфиров, которая контролирует позицию золото-кварцевых жил, лежащих параллельно вдоль обоих контактов, иногда пересекающих дайку. Морфологически рудные тела характеризуются довольно выдержанной по простиранию и падению слабоизвилистой формой. Их мощность в среднем 1 м с раздувами и сужениями в пределах 0,2–5 м (рис. 2). Вмещающие породы представлены верхнетриасовыми песчаниками и алевролитами, реже глинистыми сланцами някуньинской свиты. Структура месторождения обусловлена тектоническими факторами. Рудная зона,

состоящая из дайки гранодиорит-порфиров и кварцевых жил, претерпела неоднократные тектонические деформации взбросовой и сдвиговой направленности. Минерализованная зона и рудные тела имеют крутопадающее залегание под углами  $75\text{--}80^\circ$  с небольшими изгибами. Со сдвиговыми смещениями вдоль рудной зоны связаны и круто погружающиеся складки толщ [5].

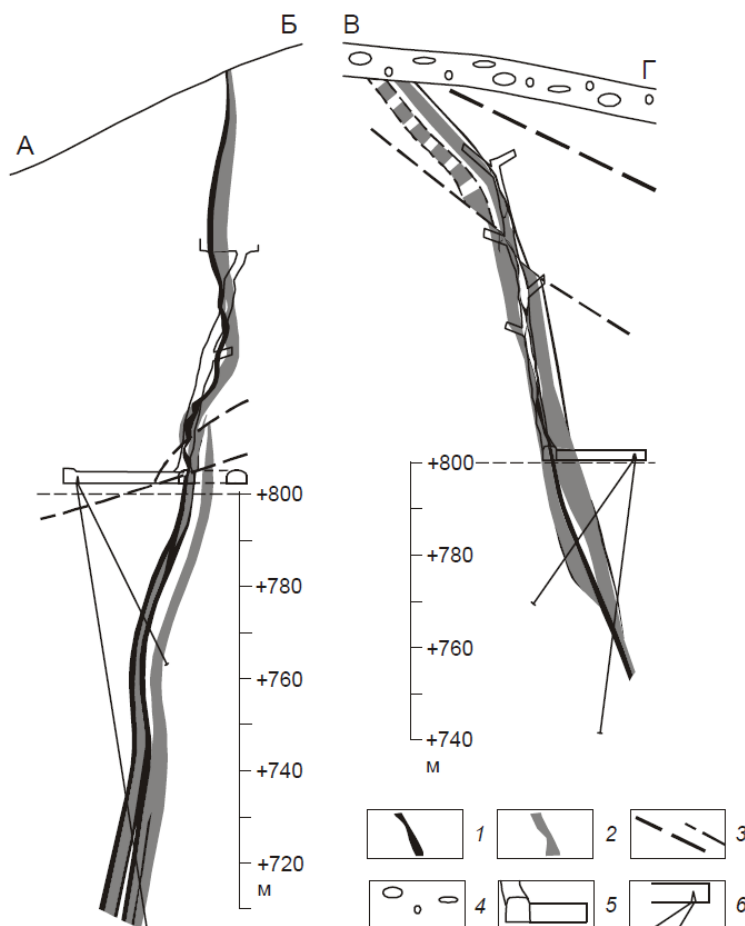


Рис. 2. Морфология рудной зоны и рудных тел месторождения на разрезах по линиям А-Б и В-Г [5]: 1 – золото-кварцевая жила; 2 – дайка гранодиорит-порфиров; 3 – разрывные нарушения взбросо-надвиговой кинематики; 4 – отложения цокольной террасы; 5 – подземные горные выработки; 6 – скважины подземного колонкового бурения

Рудные месторождения относятся к малосульфидному золото-кварцевому типу и характеризуются довольно простым минеральным составом. Главным доминирующим минералом выполнения руд является жильный кварц с включениями прожилково-окварцованных алевролитов, аргиллитов и березитизированных гранодиорит-порфиров [6].

Кварц по своим электрическим свойствам является минералом-диэлектриком с очень высоким сопротивлением ( $10^{12}$ – $10^{15}$  Ом·м) поэтому, при исследовании методом глубинной георадиолокации основное внимание было обращено на выявление аномальных зон с повышенным удельным электрическим сопротивлением и с субвертикальной направленностью, соответствующей морфологии рудных тел месторождения.

## 2. Результаты

По результатам проведенного георадарного исследования были выявлены структурные особенности верхней части исследуемого разреза до временных задержек сигнала свыше 6000 нс.

Рассмотрим более подробно радарограммы с глубиной зондирования первых ста метров (рис. 3–5). Для перевода шкалы временных задержек в шкалу глубин здесь применяется усредненная относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = 5$ . На радарограммах номер профиля по центру вверху, слева – шкала глубин в метрах, по горизонтали – расстояние по профилю от начальной точки измерений в метрах, справа шкала временных задержек сигнала в наносекундах.

На всех профилях исследования наблюдается контрастная граница на уровне 1000-1500 нс, которая отделяет область повышенных амплитуд регистрируемого сигнала от нижележащих слоев. Изменение полярности сигнала на данной границе свидетельствует о том, что скорость электромагнитного сигнала в нижележащем слое пород меньше скорости в слое повышенных амплитуд [7]. Учитывая геологическое строение участка, наблюдаемые признаки позволяют определить данную границу как подошву многолетнемерзлых пород (ММП). Для ее визуального выделения на радарограмме, значения окрестности нуля амплитуд отмечены контрастным цветом.

На радарограммах наблюдаются неоднородности в приповерхностном слое. На образование данных неоднородностей влияют несколько основных



факторов: состав горных пород, строение и условия залегания. Для метода глубинной георадиолокации контакты талых и мерзлых пород достаточно контрастны, чтобы в некоторых случаях на наблюдаемых данных они преобладали над всеми другими особенностями геологической среды.

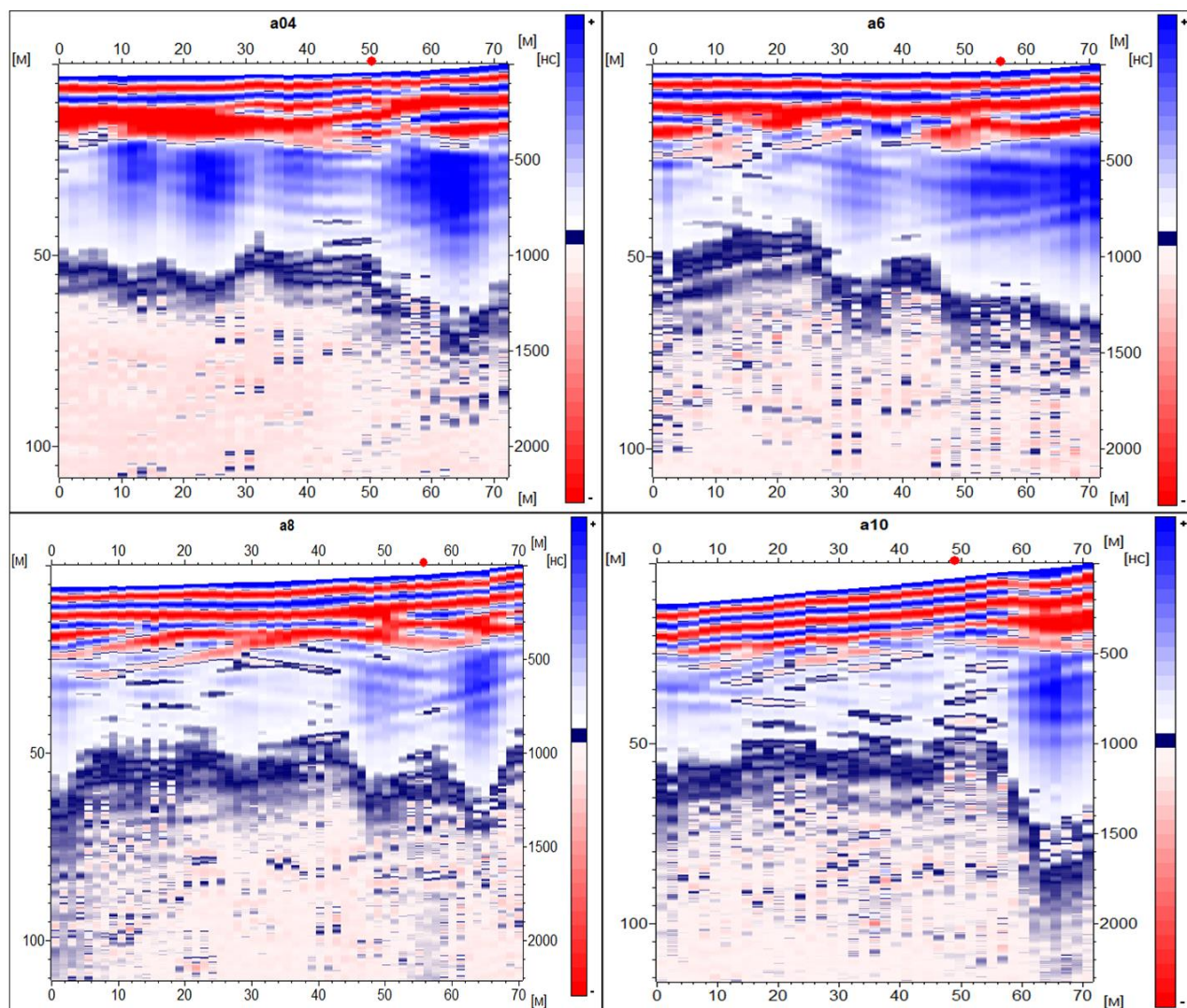


Рис. 3. Радарограммы профилей, пройденных с юго-востока на северо-запад,  $\varepsilon = 5$

Помимо общих признаков, по регистрации слоя повышенных амплитуд на радарограммах, пройденных в различных направлениях по площадке исследования, прослеживается общая закономерность: в северо-восточной части участка отображается аномалия с максимальными амплитудами, которая соответствует положению рудной зоны золото-кварцевой жилы. Поперечные профили длиной 70 м проходят вкрест рудной зоны. На профилях, пройденных с юго-восточного направления на северо-запад, аномальная область в слое ММП

наблюдается с 60 по 70 м (рис. 3). На профилях, пройденных в обратном направлении, та же протяженная аномалия наблюдается с 0–5 по 10–20 м (рис. 4).

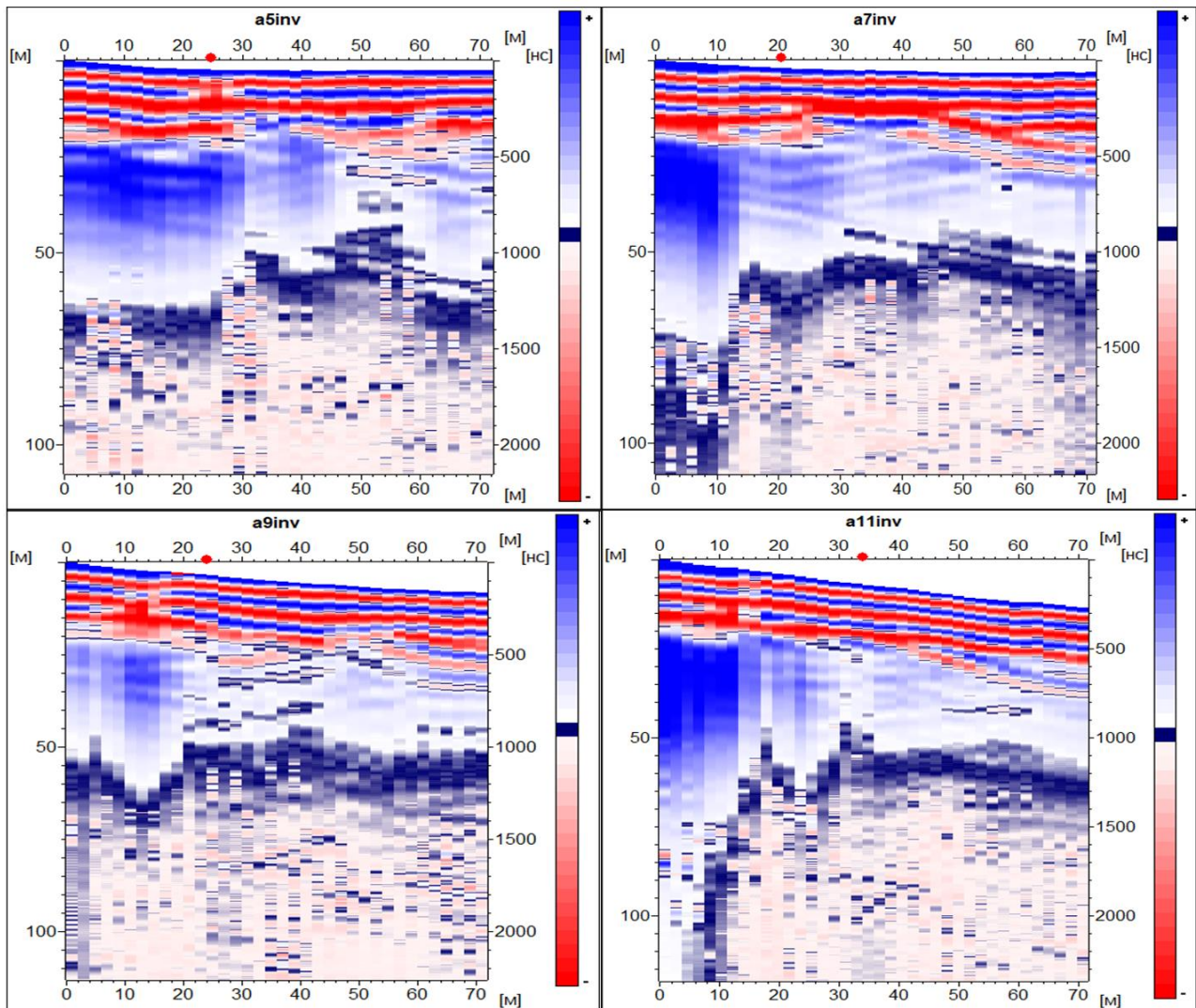


Рис. 4. Радарограммы профилей, пройденных с северо-запада на юго-восток,  $\varepsilon = 5$

На исходной радарограмме профиля а04 по осям синфазности прослеживается моноклиналиное залегание вмещающих горных пород с многочисленными, приблизительно параллельными, границами, которые расположены под небольшим углом к поверхности. Их положение на радарограмме условно обозначено с помощью заливки по наиболее ярким отражениям (рис. 5). Ход падения высокоамплитудной аномалии, приуроченной к дайке гранодиорит-порфиров обозначен желтой кривой (рис. 5).



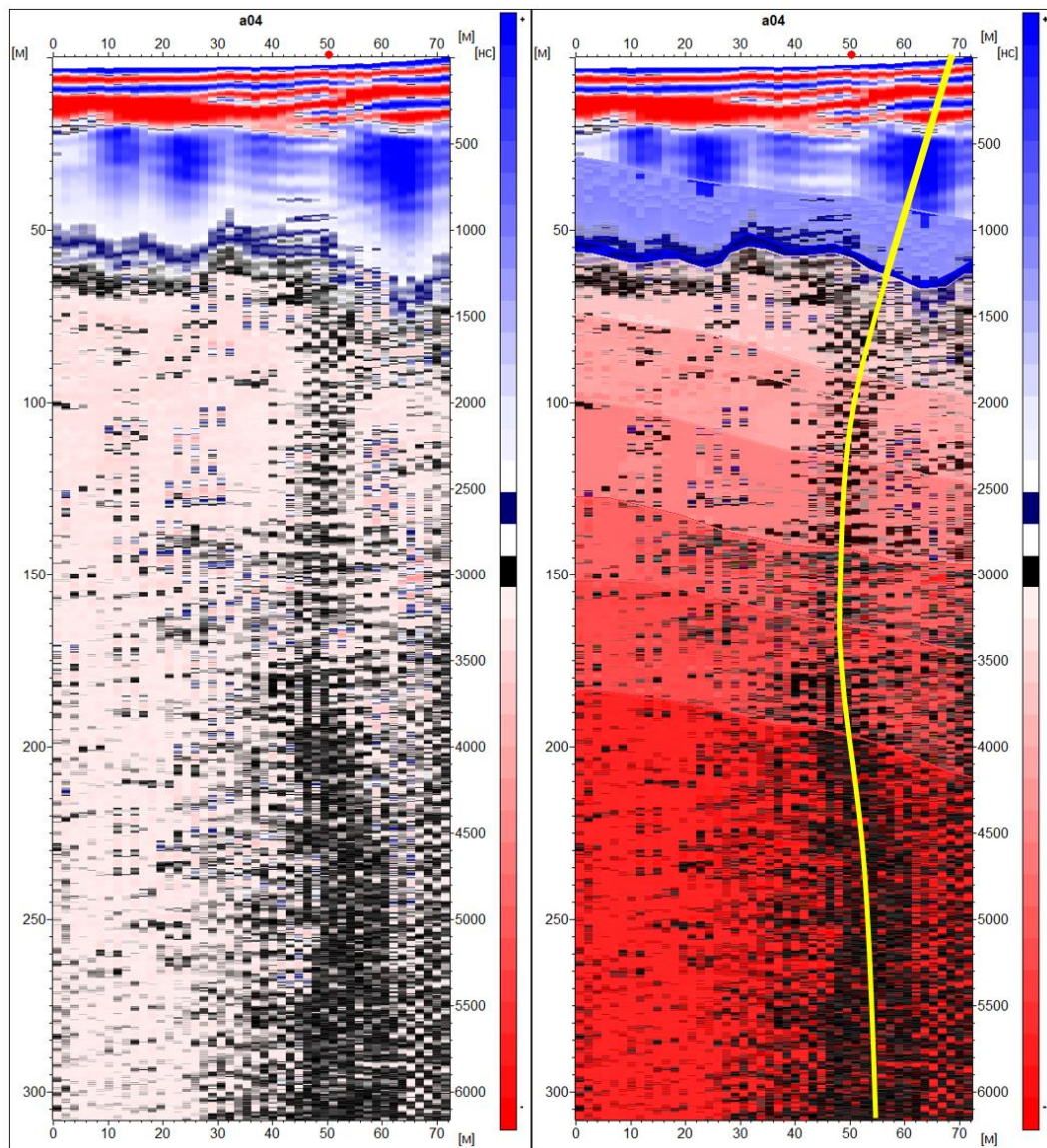


Рис. 5. Радарограмма профиля а04, пройденных с юго-востока на северо-запад,  $\varepsilon = 9$ : исходная радарограмма (слева) и с интерпретацией (справа)

Полученное направление распространения золото-кварцевой жилы было подтверждено данными бурения. Скважина VD-22-047, пробуренная в плоскости профиля а04, пересекла аномальную зону в проекции, отмеченной на профиле красной меткой, на глубине около 80 м. Мощность дайки гранодиорит-порфиров в месте пересечения 2 м. При этом положение дайки гранодиорит-порфиров на поверхности в конце профиля а04 было подтверждено ранее геологическим опробованием керна.

Таким образом, наблюдается соответствие между положением аномалии с признаками высокого УЭС по данным глубинной георадиолокации и данными исследования керна.

## Заключение

Произведено исследование участка золоторудного месторождения в Восточной Якутии, на основании которого определены перспективные зоны для разведочного бурения на глубинах до 300 м. Положение дайки гранодиорит-порфиров со средней мощностью 2 м, соответствующее аномальной зоне на радарограммах, подтверждено данными скважин и опробования керна.

Подтверждена эффективность метода глубинной георадиолокации по локализации маломощных высокоомных рудных зон во вмещающих породах, в том числе в наименее контрастных по электропроводности вмещающих породах в мерзлом состоянии. Получен повторяющийся результат по определению подошвы многолетнемерзлых пород за счет контраста электрофизических свойств горных пород в разных условиях залегания.

Применение метода глубинной георадиолокации на месторождениях твердых полезных ископаемых позволяет повысить коэффициент успешности геологоразведочных работ и снизить потери при разработке рудных месторождений.

## Литература

1. Kulyandin G.A., Fedorova L.L., Savvin, D.V., Prudetskii, N.D. GPR mapping of bedrock of alluvial gold deposits in permafrost. *Conference Proceedings: 2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*. 2016. P.1-4. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2016.7572638>
2. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Ляхов Г.А., Резников А.Е. Георадиолокация больших глубин. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2019. №4. <http://jre.cplire.ru/jre/apr19/6/text.pdf>
3. Gulevich O.A., Volkomirskaya L.B., Reznikov A.E., Krivosheev N.V., Varenkov V.V. Impact of signal registration technology on GPR data. *EarthDoc Conference Proceedings: Engineering and Mining Geophysics 2021 17th Conference and*

*Exhibition. (Gelendzhik, April 2021). 2021. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152005>*

4. Gulevich O.A., Kaigorodov E.P., Lyakhov G.A., Reznikov A.E., Varenkov V.V., Volkomirskaya L.B. Experimental Study of a Deep Oil and Gas Deposit by the Method of Reflected Electromagnetic Waves. *Physics of Wave Phenomena*. 2021. V.29. №4. P.312-322.
5. Анисимова Г.С., Протопопов Р.И. Геологическое строение и состав руд золото-кварцевого месторождения Вьюн, Восточная Якутия. *Руды и металлы*. 2009. №5. С.59-69.
6. Анисимова Г.С., Протопопов Р.И. Особенности минерального состава и типоморфизм самородного золота месторождения Вьюн (В. Якутия). *Сборник докладов Всероссийской научной конференции 16-18 июня 2010 г., Благовещенск, «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии»*. 2010. С.65-67.
7. Annan A.P. *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications*. Mississauga, Sensors & Software Inc. 2003. 286 p.

**Для цитирования:**

Гулевич О.А., Волкомирская Л.Б., Варенков В.В., Резников А.Е. Поиск золото-кварцевой жилы в зоне распространения многолетней мерзлоты методом глубинной георадиолокации. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2023. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.11>