

DOI

УДК 550.837.6

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РУДНЫХ ЗАДАЧ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Д.И. Богатырев¹, А.М. Гаракоев¹, В.М. Керцман², Ю.Г. Подмогов², И.А. Савинова¹

¹ ИПУ РАН. 117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65; e-mail: danya.bogatyrev@gmail.com, garac@ipu.ru, siran1981@yandex.ru.

² ООО «Геотехнологии». 119234, Россия, Московская обл., п. Поварово, ул. Юбилейная, д. 21; e-mail: info@geotechnologies.ru, natagm@bk.ru, podmogov1@yandex.ru.

Аннотация. Рассмотрены классификация современных аэроэлектроразведочных систем и особенности комбинированной электромагнитной системы. Показаны геоэлектрические разрезы с объектами, выявленными по результатам инверсии временных, частотных и комбинированных данных. Приводятся практические результаты использования комбинированной аэроэлектроразведки при поисках рудных полезных ископаемых на Дальнем Востоке: при поисках эпitherмальных высокосульфатных месторождений золота на Камчатке в 2021 г. и медно-никелевых руд в ультрамафитах Кунманьенского комплекса в Хабаровском крае в 2023 г.

Ключевые слова. комбинированная аэроэлектроразведка, электрические зондирования во временной и частотной области, комплекс ЭКВАТОР.

APPLICATION OF COMBINED AIRBORNE ELECTROMAGNETIC SURVEY FOR ORE TARGETS AT FAR EAST OF RUSSIA

D.I. Bogatyrev¹, A.M. Garakoev¹, V.M. Kertsman², Yu.G. Podmogov², I.A. Savinova¹

¹ ICS RAS. 65, Profsoyuznaya str., Moscow, Russia, 117997; e-mail: danya.bogatyrev@gmail.com, garac@ipu.ru, siran1981@yandex.ru.

² LLC "Geotechnologies". 21, Yubileynaya str., Povarovo, Moscow region, Russia, 119234; e-mail: info@geotechnologies.ru

Abstract. The classification of modern airborne electromagnetic survey and the features of a combined electromagnetic system are considered. Geoelectric cross sections with objects identified by inversion of time, frequency, and combined data are shown. The practical results of using combined airborne electromagnetic survey for ore targets in the Far East of Russia are presented: in the search for epithermal high-sulfate gold deposits in Kamchatka in 2021 and copper-nickel ores in ultramafic rocks of the Kun-Manie complex in the Khabarovsk region in 2023.

Key words. Keywords: combined airborne electromagnetic survey, time domain, frequency domain, EQUATOR complex.

Введение

Важную роль в повышении эффективности поисков рудных месторождений сегодня играют аэрогеофизические исследования, отличительной особенностью которых являются высокая мобильность и производительность, что обеспечивает создание плотных и равномерных сетей геофизических измерений на больших территориях. Современные аэрогеофизические комплексы, как правило, содержат каналы электроразведки, магнитометрии и гамма-спектрометрии. Большой информационный вклад в геофизический комплекс вносит электроразведка.

Классификация современных аэроэлектроразведочных систем и особенности канала электроразведки комплекса ЭКВАТОР

Главным отличием разнообразных аэрокомплексов являются конструкции и принципы измерений их электроразведочных систем. Первая аэроэлектроразведочная система была разработана в середине прошлого столетия. С тех пор было создано огромное количество таких систем, которые устанавливаются на фюзеляже или на внешней подвеске летательного аппарата [Fountain, 1998; Sorensen et al., 2013; Kaufman et al, 2014; Smith, 2014; Legault, 2015; Sorensen, 2018; Мойланен, 2022, Volkovitsky and Karshakov, 2013]. Краткая

классификация аэроэлектроразведочных систем, находящихся в эксплуатации приведена на рисунке 1.

К пассивным системам относятся системы СДВР или VLF, использующие в качестве источника возбуждения поля сверхдлинноволновых радиостанций и магнитотеллурические поля дальних грозных разрядов (AFMAG).

Активные системы генерируют собственные первичные поля и регистрируют отклики сигналов, которые возникают в земле под их воздействием. В свою очередь активные системы подразделяются на ча-

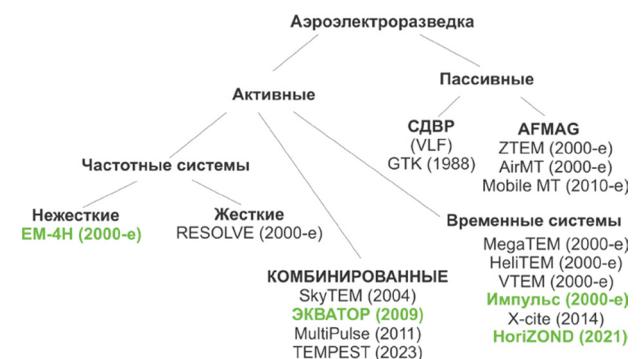


Рис 1. Классификация современных аэроэлектроразведочных систем: зеленым цветом выделены системы, работающие в России

стотные (Frequency Domaine, FD), временные (Time Domaine, TD) и комбинированные. В частотных системах (FD) происходит возбуждение гармонических колебаний на различных фиксированных частотах, на этих же частотах измеряются отклики среды. Во временных системах (TD) возбуждающий импульс обычно имеет форму полусинуса или трапеции, а регистрация откликов осуществляется в различных временных окнах с задержками от 0,001 до 5 мс после выключения импульса. Системы FD и TD имеют свои преимущества и недостатки. FD системы хорошо дифференцируют большой диапазон сопротивлений и имеют высокое разрешение в верхней части разреза, а TD системы обладают большей глубинностью (порядка 400 м) и обеспечивают поиски контрастных проводников на этих глубинах. Комбинированные электроразведочные системы объединяют преимущества FD и TD систем. В них возбуждение, регистрация и обработка измерений может осуществляться одновременно как в частотной, так и во временной области.

Главной особенностью электромагнитной системы комплекса ЭКВАТОР (рис. 2) является использование разнесенной дипольной установки «Источник – Приемник», а также фиксация в реальном времени изменений геометрии измерительной установки. Разнесенная установка позволяет заметно ослабить амплитуду первичного импульса в приемной рамке и осуществлять без перегрузки непрерывные измерения не только в паузах, но и во время действия первичного импульса. Непрерывные измерения в режиме «Full Time» позволяют при обработке сигналов легко переходить, при помощи преобразования Фурье, из временной области в частотную и обратно. Учет реальной геометрии установки позволяет избавиться от ложных аномалий сопротивлений, не связанных с геологией.

Первичный сигнал комбинированной электромагнитной системы содержит мощный импульс для изучения глубинных слоев и дополнительные высокочастотные гармоники для более детального изучения верхней части разреза.

Практические результаты использования комбинированной электроразведки комплекса ЭКВАТОР при поисках рудных объектов приводятся по двум площадям, расположенным на Камчатке и севере Хабаровского края.

Поиски эпитермальных высокосульфатных месторождений типа «хай сульфидэйшин» (HS). Камчатка 2021 г.

В месторождениях эпитермального (HS – high sulfidation) типа содержится значительная доля мировых запасов золота и меди (рис. 3–4) [Sillitoe, 2010; Hedenquist et al., 1998; Goldie, 2000, Kwan et al., 2015]. Месторождения этого типа обладают уникальными геофизическими характеристиками. Золоторудные залежи связаны со вторичными кварцитами, для которых характерны очень высокие сопротивления и отсутствие намагнитченных и радиоактивных объектов в верхней части разреза (ВЧР).

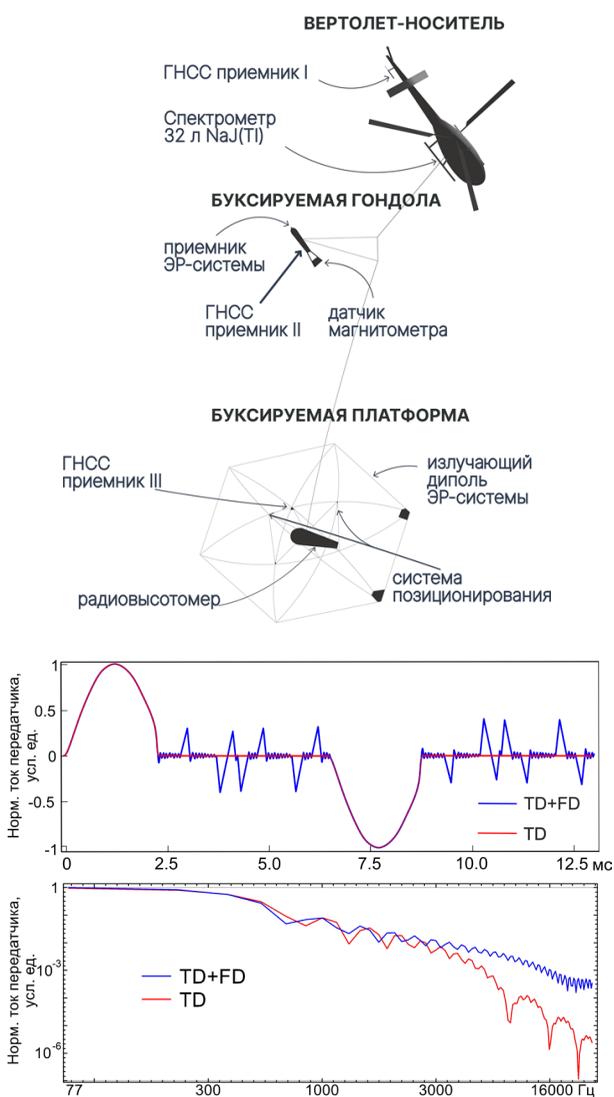


Рис. 2. Компоновка комплекса ЭКВАТОР, форма и спектры получаемых сигналов

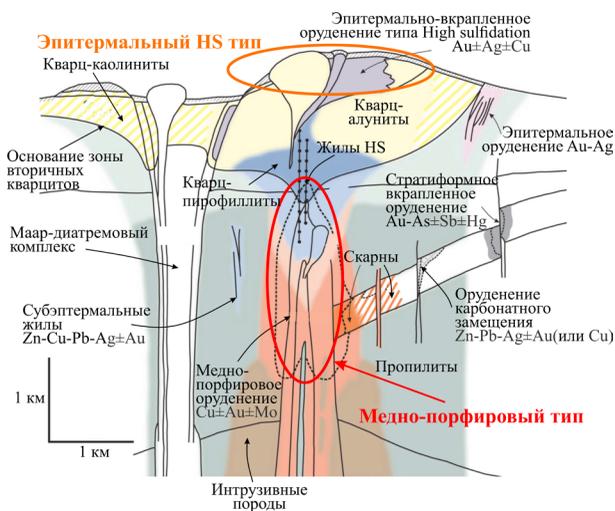


Рис. 3. Модель формирования крупных месторождений эпитермального (HS) и Cu-Au порфирирового типа

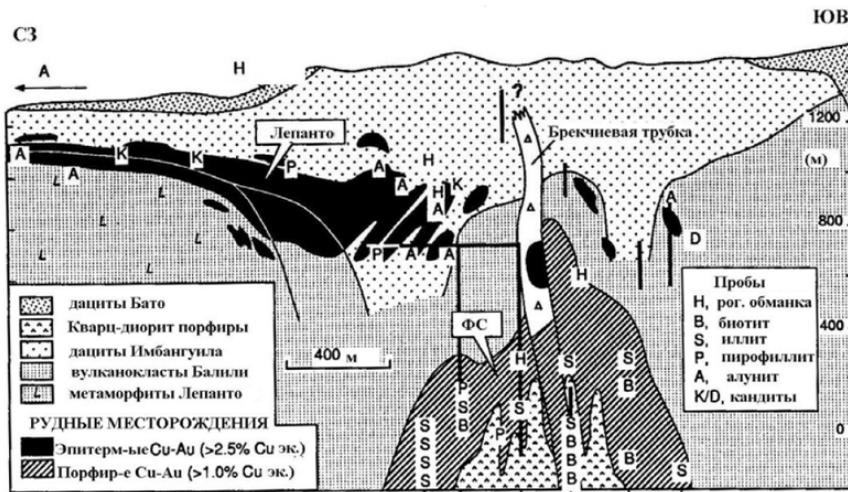


Рис. 4. Схематический продольный разрез СЗ-ЮВ через эпитермальное рудное тело Лепанто и подстилающее порфироворудное тело Фар Сауит

В России крупные месторождения типа HS пока отсутствуют. Весьма перспективной областью для их обнаружения является Северо-Камчатский рудный район. В этом районе были выполнены аэрогеофизические исследования на шести разрозненных участках.

Результаты работ по участкам Малетойваям и Ламут.

На рис. 5 представлена обзорная карта работ по этим участкам.

Участок Малетойваям. На участке площадью 140 кв.км съёмочные работы масштаба 1:20 000 были выполнены в течении 3-х дней. Прогнозная геолого-поисковая характеристика участка хорошо описана в работе [Мигачев и др., 2020].

На рис. 6 представлен фрагмент профиля участка работ Малетойваям, для которого хорошо видно преимущество комбинированных систем аэроэлектроразведки. Отображены геоэлектрические разрезы, построенные по результатам решения одномерной обратной

задачи с использованием итерационного обобщенного фильтра Калмана [Karshakov, 2020] для частотных, временных и комбинированных (и частотных, и временных) данных. Использование данного алгоритма дает возможность анализировать полученное решение с помощью стохастических мер оценивания [Golovan and Pagnusnikov, 1998]. Сравнение таких мер позволяет не только оценивать качество решения по невязке, но и получить относительную достоверность полученных параметров для данного решения – какие удельные сопротивления оценивались лучше, какие хуже. Красным показаны графики невязки, участки с низкой достоверностью решения показаны бледным.



Рис. 5. Обзорная карта района работ

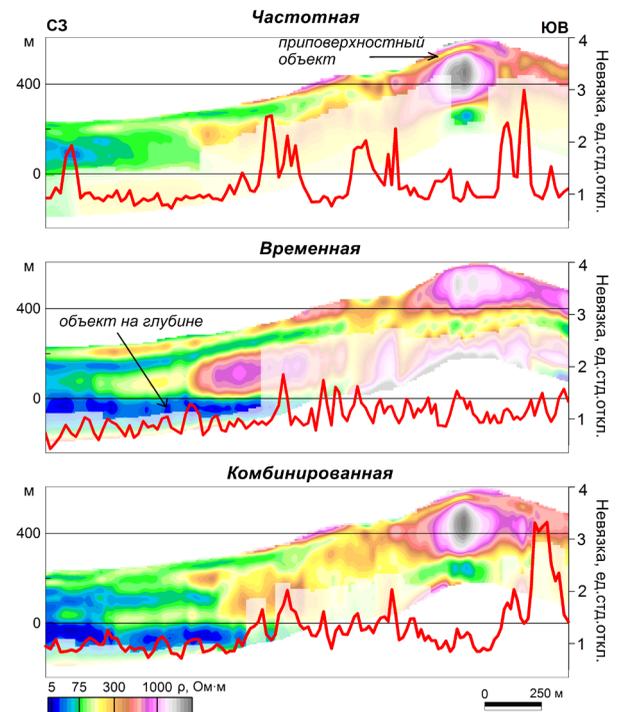


Рис. 6. Геоэлектрические разрезы и графики невязок решения (красным) для участка профиля по результатам 1-D инверсии, построенные по частотным (вверху), временным (в центре) и комбинированным (внизу) данным

Области высоких сопротивлений соответствуют объектам поиска – кварцевым ядрам во вторичных кварцитах [Керцман и др., 2019]. Они хорошо согласуются с аномалиями SiO₂, выделенным по спутниковым снимкам ASTER. Высокоомным аномалиям на карте содержаний калия соответствуют минимальные значения, что является также характерным признаком для месторождений типа HS (рис. 7).

В магнитном поле фиксируется слепая интрузия с глубиной верхней кромки в 300–400 м, которая может быть источником гидротерм для формирования руд HS и потенциально перспективна на обнаружение Cu-Au оруденения порфирирового типа. Контур и глу-

бина интрузии уточнены с использованием процедур 3D-инверсии магнитных данных. Карта локальной составляющей демонстрирует отсутствие магнитных объектов в ВЧР, что является характерным признаком для месторождений типа HS (рис. 8).

Выделенные высокоомные области дают более корректное представление о распространении вторичных кварцитов на площади работ, по сравнению с априорной информацией (рис. 9) [Белков и др., 1972; Воскресенский и др., 2011; Гурин, 2021; Калинин и Частухин, 2019], а геоэлектрические разрезы надежно фиксируют их распространение на глубину (рис. 10).

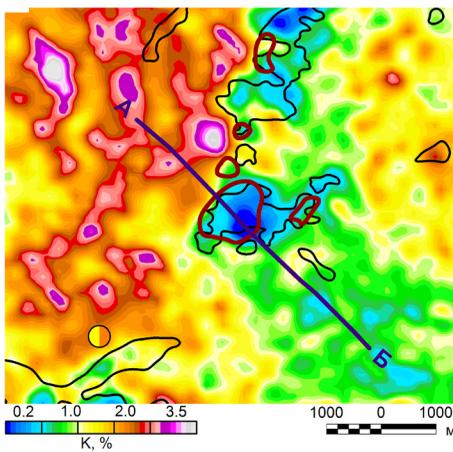
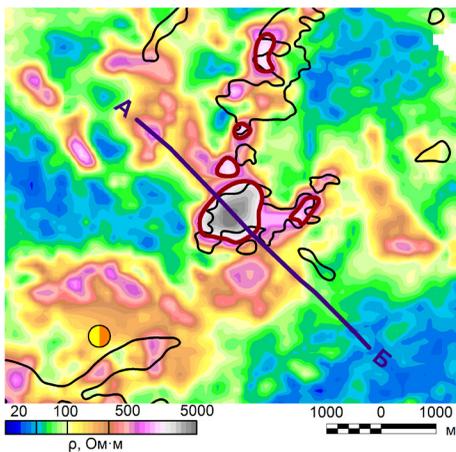


Рис. 7. Карты кажущихся сопротивлений и содержаний калия участка Малотойваям

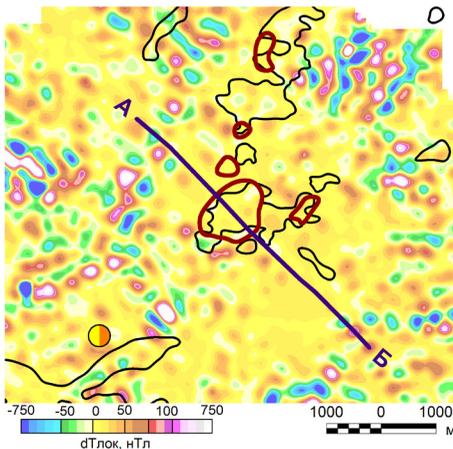
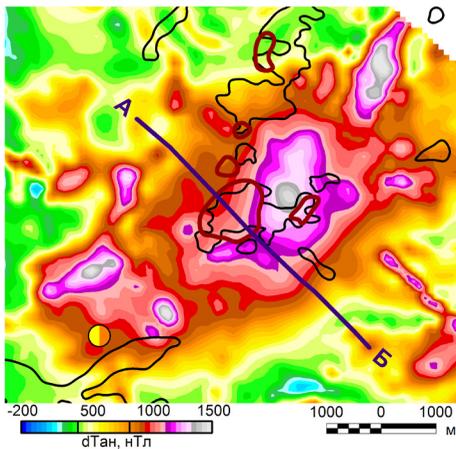


Рис. 8. Карты аномального магнитного поля и его локальной компоненты участка Малотойваям

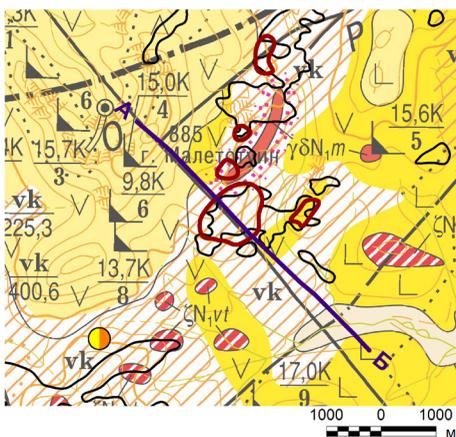


Рис. 9. Геологическая карта участка Малотойваям (условные обозначения к рисункам 6 и 8)

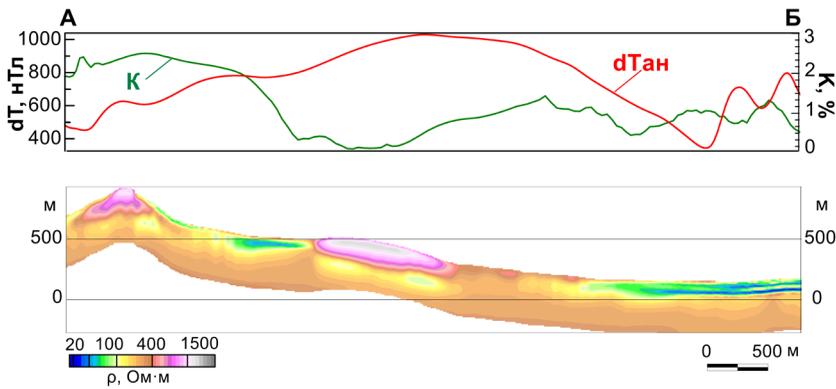


Рис. 10. Геоэлектрический разрез участка Малотайвая, построенный по результатам 1D-инверсии электромагнитных данных

В целом пространственное распределение удельных сопротивлений дает объективную информацию для планирования и оптимизации объемов геологоразведочных работ поисково-оценочной стадии.

Участок Ламут. На участке Ламут, площадью 68 кв.км, съемочные работы масштаба 1:10 000 были выполнены в объеме 682 п.км. На участке области высоких сопротивлений имеют более широкое распространение. Для сопоставления аномальных эффектов в разных геофизических полях, значения сопротивлений более 1000 Омм выделены черной сплошной линией, а значения более 500 Омм черным пунктиром. Вероятно, не все выделенные объекты связаны со вторичными кварцитами. На карте

калия видно, что далеко не все высокоомные объекты сопровождаются минимальными значениями содержаний ЕРЭ, характерными для вторичных кварцитов (рис. 11). В магнитном поле участка более широкое распространение получили интенсивные аномалии от объектов близких к дневной поверхности. Многие высокоомные объекты попадают в области интенсивных локальных магнитных аномалий. Вероятно, они связаны с полуслепыми интрузиями базальтов и диоритов. Карта локальной компоненты хорошо фиксирует область, где отсутствуют магнитоактивные объекты в ВЧР. Именно в этой области высокоомные объекты могут связываться с наличием вторичных кварцитов (рис. 12).

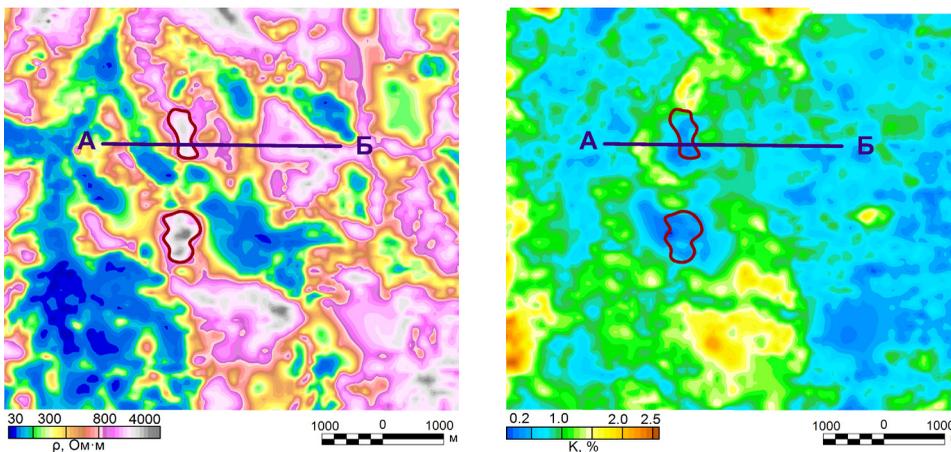


Рис. 11. Карты кажущихся сопротивлений и содержаний калия участка Ламут

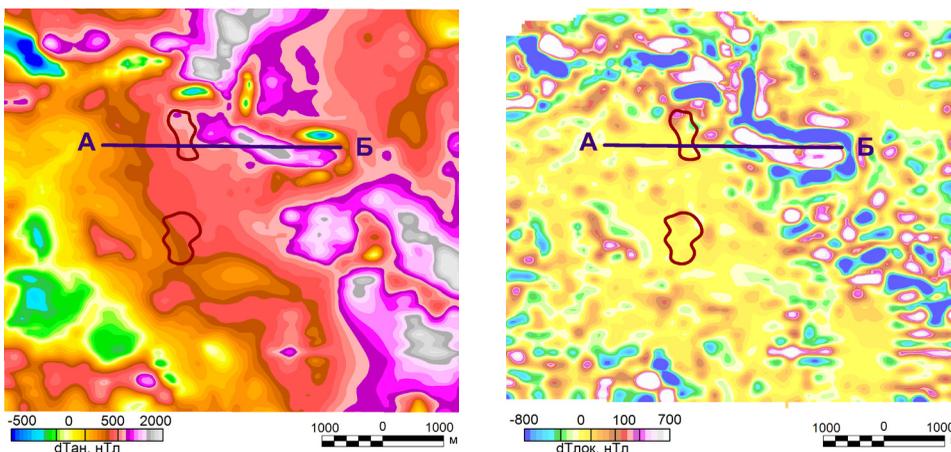


Рис. 12. Карты аномального магнитного поля и его локальной компоненты участка Ламут

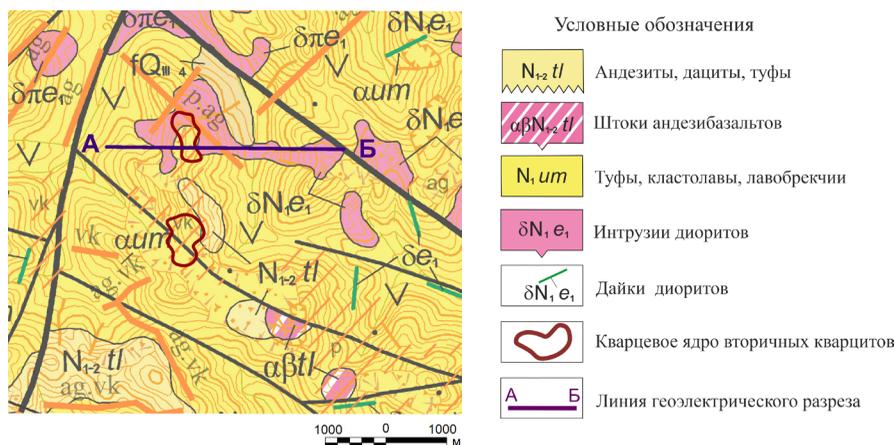
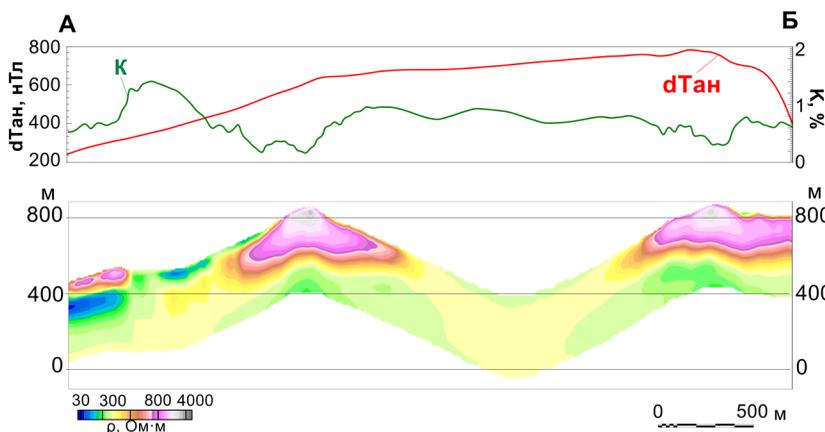


Рис. 13. Геологическая карта участка Ламут (условные обозначения к рис. 11, 12)



Напомним, что для золоторудных залежей месторождений типа HS характерны очень высокие сопротивления и отсутствие намагниченных и радиоактивных объектов в ВЧР. По этим признакам из большого количества высокоомных аномалий на площади, в качестве перспективных на возможное обнаружение золота во вторичных кварцитах, выбраны только два объекта (рис. 13). Геоэлектрический разрез с графиками аномального магнитного поля и концентраций калия представлен на рис. 14.

Поиски медно-никелевых руд в ультрамафитах Кунманьенского комплекса

Площадь работ находилась на севере Хабаровского края (рис. 15) Аэрогеофизическая съемка была направлена на изучение геологического строения участка Кун-Манье и сопредельных территорий.

Цель съемки – выделение участков перспективных на обнаружение оруденения, связанного с сульфидизированными раннепротерозойскими мафит-ультрамафитами кунманьенского комплекса. Были выполнены опытные работы над известными рудными залежами в пределах площади работ. Эти работы показали, что геоэлектрические разрезы достаточно хорошо согласуются с данными бурения, рудные интервалы, насыщенные сульфидами, заметно отличаются более низким сопротивлением от высокоомных ультрамафитов (рис. 16).

В целом, выполненные работы на участках, содержащих установленные и разведанные рудные тела, позволили установить главный геофизический признак наличия руд Кунманьенского типа [Гурьянов и Кириллов, 2023; Иванов и др., 2024]. Это значительный перепад удельных сопротивлений пород от уровня 8 000–15 000 Ом·м и более, характерный для рудовмещающих габброидов до уровня 2000–3 000 Ом·м для рудных интервалов. Причиной падения сопротивления является наличие сульфидов, содержащих рудные элементы. Рудовмещающие габброиды, кроме высоких сопротив-



Рис. 15. Обзорная карта работ на площади Кун-Манье

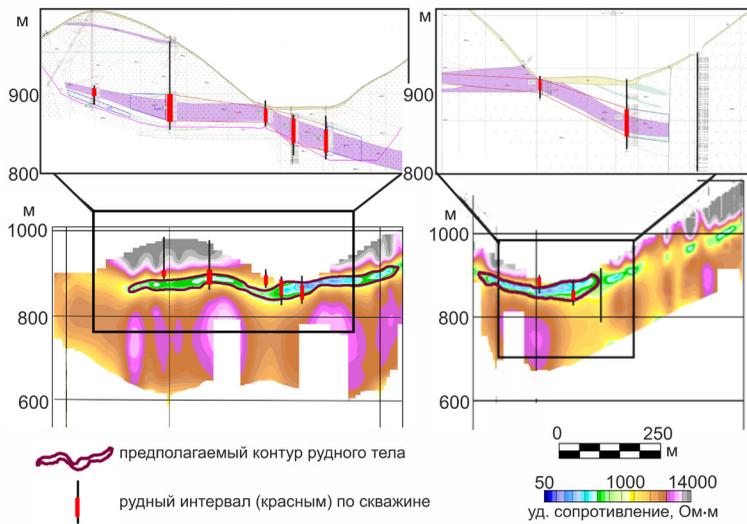


Рис. 16. Сопоставление геоэлектрических разрезов с данными бурения на площади Кун-Манье. Залег Соболевская

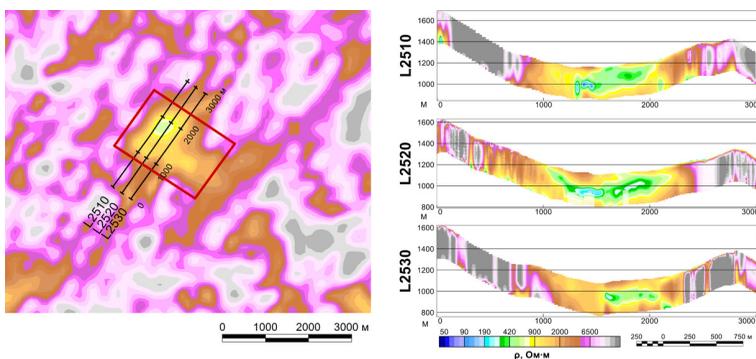


Рис. 17. Перспективный участок на площади Кун-Манье. Картирование объектов с аномально низкими сопротивлениями

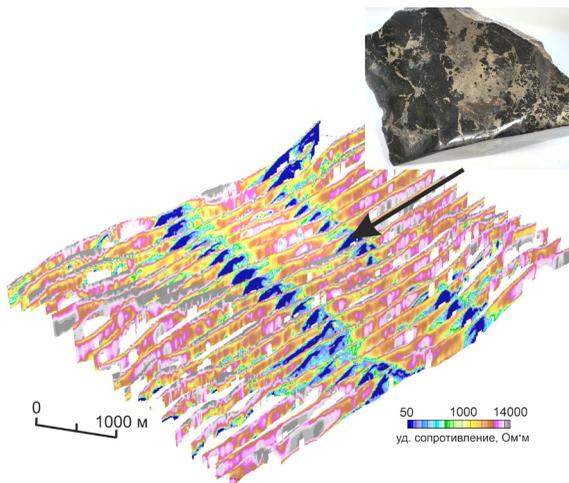


Рис. 18. 3D-представление геоэлектрических разрезов по участку Тырган

лений, хорошо картируются по резкодифференцированному магнитному полю и минимальным значениям радиоактивности. По аналогии с известными залежами выделялись перспективные участки содержащие объекты с аномально низкими сопротивлениями среди высокоомных раннеархейских габброидов майско-джанинского комплекса (nAR1md). Пример картирования такого перспективного участка показан на рис. 17. Субгоризонтальный проводник по мощности и сопротивлению сопоставим с аномальным эффектом от залежи Соболевская. Очень часто на выделяемых аномальных объ-

ектах удельные сопротивления имеют значения ниже 1000 Ом·м, достигая 150–600 Ом·м. Мы предполагаем, что в этих объектах содержания сульфидов, а значит и содержания полезных рудных компонентов, может заметно превышать содержания в установленных рудных телах месторождения Кун-Манье. На перспективном участке Тырган в зоне аномально низких сопротивлений, в скальном обнажении, обнаружен образец ультрамафитов, обогащенный сульфидами (рис. 18).

Выводы

Комбинированная электроразведка позволяет выполнять высокоточные измерения удельных сопротивлений в широком динамическом диапазоне 0,1–10 000 Ом·м.

Интерпретация, с использованием частотных и временных данных, существенно улучшает информативность и достоверность построения геоэлектрических разрезов.

Представленные в статье результаты работ на участках Малетойваям, Ламут и Кун-Манье, значительно сокращают трудозатраты на поиск перспективных участков изученных месторождений.

Благодарность

Авторы выражают признательность компании Highland Gold, А.В. Красных и Д.В. Макарову за возможность опубликования приведенных материалов.

Положительная рецензия

ЛИТЕРАТУРА

1. Белков Е.Е., Дмитриев Е.И., Шелудченко С.Д. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Энынгваям-Лигиниваям (Окончательный отчет Усть-Малетойваямской партии за 1970–1971 гг. М-б 1:50000. Q-P-58-126-B,Г): п. Корф, Камчатское ГУ, Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 3478, РФГФ № 330240, 1972.
2. Воскресенский К.И., Корнеев А.В. Отчет о результатах поисковых и оценочных работ в пределах Малетойваямской площади в 2007–2010 гг.: г. Петропавловск на Камчатке, ООО «Камчатская медная компания», Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 8472, 2011.
3. Гурьянов В.А., Кириллов В.Е. Никеленосность Кун-Маньенской минерагенической зоны юго-восточного обрамления Сибирской платформы // Отечественная геология. М.: ФБГУ «ЦНИГРИ», 2, 2023. С. 43–55.
4. Гуринов Г.В. Опыт применения геофизических методов при поисках эпitherмальных месторождений золота (на примере Малетойваямского золоторудного поля, Камчатка) // ЛИТОСФЕРА. 2021. 21(1). С. 116–132.
5. Иванов В.В., Игнатов П.А., Красных А.В., Макаров Д.В. Анализ геохимических ореолов района Cu-Ni месторождения Кун-Манье: Материалы XIII Российской международной научно-практической школы «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН, 2024. С. 1–4.
6. Калинин К.Б., Частухин А.В. Поисково-оценочные работы на флангах месторождения Малетойваям, в центральной и восточной части Малетойваямской площади в 2012–2018 гг.: г. Петропавловск-Камчатский, ООО «Интерминералс», Камчатский филиал ФБУ «ТФГИ по ДФО» № 9219, РФГФ № 535717, 2019.
7. Керцман В.М., Мойланен Е.В., Подмогов Ю.Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. 2019. № 4. С. 52–59.
8. Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С. Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция: Отечественная геология. М. 2020. № 4–5. С. 3–23.
9. Мойланен Е.В. Современные методы аэроэлектроразведки // Физика Земли. 2022. 68(5). С. 171–180.
10. Goldie M.K. A geophysical case history of the Yanacocha gold district, northern Peru: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2000, January/2000, 750–753. <https://doi.org/10.1190/1.1816178>.
11. Golovan A.A., Parusnikov N.A. A relationship between the stochastic estimability measure and singular matrix expansions; Automation and Remote Control. 1998; 59(2). P. 190–193.
12. Hedenquist J.W., Arribas A.Jr., Reynolds T.J. Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines: Economic Geology and Bulletin of the society of Economic geology. 1998. 93(4). P. 373–404.
13. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion // Exploration Geophysics. 2020. 51(1). P. 66–73.
14. Kwan K., Prikhodko A., Legault J.M., Plastow G.C., Kapetas J., Druecker M. VTEM airborne EM, aeromagnetic and gamma-ray spectrometric data over the Cerro Quema high sulphidation epithermal gold deposits, Panama* // Exploration Geophysics. 2015; (1). P. 1–4. <https://doi.org/10.1071/ASEG2015ab309>.
15. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Economic geology. 2010. 105. P. 3–41.
16. Volkovitsky A.K., Karshakov E.V. Airborne EM systems variety. What is the difference?: Extended Abstracts of the 6th International AEM Conference, South Africa: Kruger Park. 2013. P. 1–4.

REFERENCES

1. Belkov E.E., Dmitriev E.I., Sheludchenko S.D. Geological structure and mineral resources of the interfluvium of Enyngvayam-Liginivayam (Final report of the Ust-Maletoyvayamokaya party for 1970–1971. Map scale 1:50000. Q-P-58-126-V,G): p. Korf, Kamchatskoe GU, Kamchatskiy filial FBU “TFGI po DFO” No. 3478, RFGF No. 330240. 1972 (in Russian).
2. Voskresenskiy K.I., Korneev A.V. Report on the results of prospecting and evaluation works within the Maletoyvayam area in 2007–2010: g. Petropavlovsk-Kamchatskiy, OOO “Kamchatskaya mednaya kompaniya”, Kamchatskiy filial FBU “TFGI po DFO” No. 8472. 2011 (in Russian).
3. Guryanov V.A., Kirillov V.E. Nickel content of the Kun-Manye metallogenic zone of the southeastern framing of the Siberian platform. Domestic Geology: Moscow: FBGU “CNIGRI”, 2023. 2. P. 43–55 (in Russian).
4. Gurinov G.V. Experience in using geophysical methods in the search for epithermal gold deposits (on the example of the Maletoyvayam gold ore field, Kamchatka). LITHOSPHERE. 2021; 21(1): 116–132 (in Russian).
5. Ivanov V.V., Ignatov P.A., Krasnykh A.V., Makarov D.V. Analysis of geochemical halos in the area of the Cu-Ni deposit of Kun-Manye: Proceedings of the XIII Russian International Scientific and Practical School “New in the understanding of ore formation processes”, IGEM RAN, 2024; 1–4 (in Russian).
6. Kalinin K.B., Chastukhin A.V. Prospecting and evaluation works on the flanks of the Maletoyvayam deposit, in the central and eastern parts of the Maletoyvayam area in 2012–2018: g. Petropavlovsk-Kamchatskiy, OOO “Interminerals”, Kamchatskiy filial FBU “TFGI po DFO” No. 9219, RFGF No. 535717, 2019 (in Russian).
7. Kertsman V.M., Moylanen E.V., Podmogov Yu.G. Possibilities of airborne geophysics in the search for gold deposits of various types. Geophysics. 2019; (4): 52–59 (in Russian).
8. Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S. Koryak-Kamchatka region – a potential copper-porphyry province. Domestic Geology, Moscow, 4–5. 2020; 3–23 (in Russian).
9. Moilanen J. Modern Methods of Airborne Electromagnetic Survey. Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2022; 58(5): 755–764 (in Russian).
10. Goldie M.K. A geophysical case history of the Yanacocha gold district, northern Peru: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2000, January/2000; 750–753. <https://doi.org/10.1190/1.1816178>.
11. Golovan A.A., Parusnikov N.A. A relationship between the stochastic estimability measure and singular matrix expansions. Automation and Remote Control. 1998; 59(2): 190–193.
12. Hedenquist J.W., Arribas A.Jr., Reynolds T.J. Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines. Economic Geology and Bulletin of the society of Economic geology. 1998; 93(4): 373–404.
13. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion. Exploration Geophysics. 2020; 51(1): 66–73.
14. Kwan K., Prikhodko A., Legault J.M., Plastow G.C., Kapetas J., Druecker M. VTEM airborne EM, aeromagnetic and gamma-ray spectrometric data over the Cerro Quema high sulphidation epithermal gold deposits, Panama*. Exploration Geophysics. 2015; (1): 1–4. <https://doi.org/10.1071/ASEG2015ab309>.
15. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems. Economic geology. 2010; 105: 3–41.
16. Volkovitsky A.K., Karshakov E.V. Airborne EM systems variety. What is the difference?: Extended Abstracts of the 6th International AEM Conference, South Africa: Kruger Park, 2013. P. 1–4.

ОБ АВТОРАХ



БОГАТЫРЕВ
Даниил Иванович

Инженер Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Автор 5 научных работ в области аэрогеофизических исследований.



ГАРАКОЕВ
Амир Мусаевич

Старший научный сотрудник Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. Окончил Московский государственный университет им. Н. Э. Баумана по специальности «Прикладная математика». Автор 6 работ в области оптимального управления подвижными объектами.



КЕРЦМАН
Владимир Менделевич

Преподаватель кафедры геофизических методов исследования земной коры МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Ликвидатор последствий аварии на ЧАЭС 1986 г. Специалист в области геофизики, геологии. Автор более 50 научных работ.



ПОДМОГОВ
Юрий Геннадиевич

Главный геофизик компании «Гео-технологии». Окончил Уральский Государственный Горный Университет. Специалист в области геофизических методов поисков и разведки полезных ископаемых. Автор 30 научных работ.



САВИНОВА
Ирина Анатольевна

Ведущий инженер Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. Окончила Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. Специалист в области геоинформационных систем (GIS). Автор 2 научных работ в области аэрогеофизических исследований.

аэрогеофизических исследований.