

Научная статья

УДК 550.83:550.814:528

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_115-125

Ключевые слова: *аэрогеофизическая съемка, геофизическая основа, геологическое картирование*

Для цитирования: Современная аэрогеофизическая основа — залог успешного изучения недр при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых / Ф. Д. Лазарев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 115–125. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_115-125

Original article

UDC 550.83:550.814:528

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_115-125

Keywords: *airborne geophysical survey, geophysical basement, geological mapping*

For citation: Modern airborne geophysical basement is the key to successful exploration for geological mapping and mineral prospecting / F. D. Lazarev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 115–125. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_115-125



© Ф. Д. Лазарев, П. В. Кирплюк,
А. Н. Онищенко, Р. А. Леденгский,
В. К. Старостин, 2024

Современная аэрогеофизическая основа — залог успешного изучения недр при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых

Ф. Д. Лазарев[✉], П. В. Кирплюк, А. Н. Онищенко,
Р. А. Леденгский, В. К. Старостин

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия, FLazarev@karpinskyinstitute.ru[✉]

Аннотация. Представлена история Норильского филиала — структурного подразделения ФГБУ «Институт Карпинского», одной из задач которой является создание опережающей геофизической основы. Приведены примеры создания геофизической основы, включающей комплект карт геофизических полей и результатов их интерпретации, являющейся базисом геологического картирования и поисков твердых полезных ископаемых. В статье показано, что наземные геолого-геофизические работы по заверке аномалий должны являться неотъемлемой частью геологоразведочных работ при геологическом доизучении площадей в масштабе 1 : 200 000.

Modern airborne geophysical basement is the key to successful exploration for geological mapping and mineral prospecting

F. D. Lazarev[✉], P. V. Kirplyuk, A. N. Onishchenko,
R. A. Ledengskiy, V. K. Starostin

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Norilsk Branch, Norilsk, Russia, FLazarev@karpinskyinstitute.ru[✉]

Abstract. The paper presents the history of the Norilsk Branch, a structural unit of the All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, which aims to create an advanced geophysical basement. There are examples of creating a geophysical basement, including a maps set of geophysical fields and their interpretation results, which determine geological mapping and solid mineral prospecting. The paper shows that the ground geological and geophysical work to verify anomalies should be an essential part of geological exploration involving additional site appraisal at a scale of 1 : 200,000.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (далее — ФГБУ «Институт Карпинского») является ведущим предприятием по организации и проведению геологосъемочных и картографических работ территории Российской Федерации. В настоящее время институт ведет большой объем работ по созданию Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 второго поколения (далее — ГК-200), в рамках которого выполняются тематические, геохимические, лабораторные и геофизические исследования.

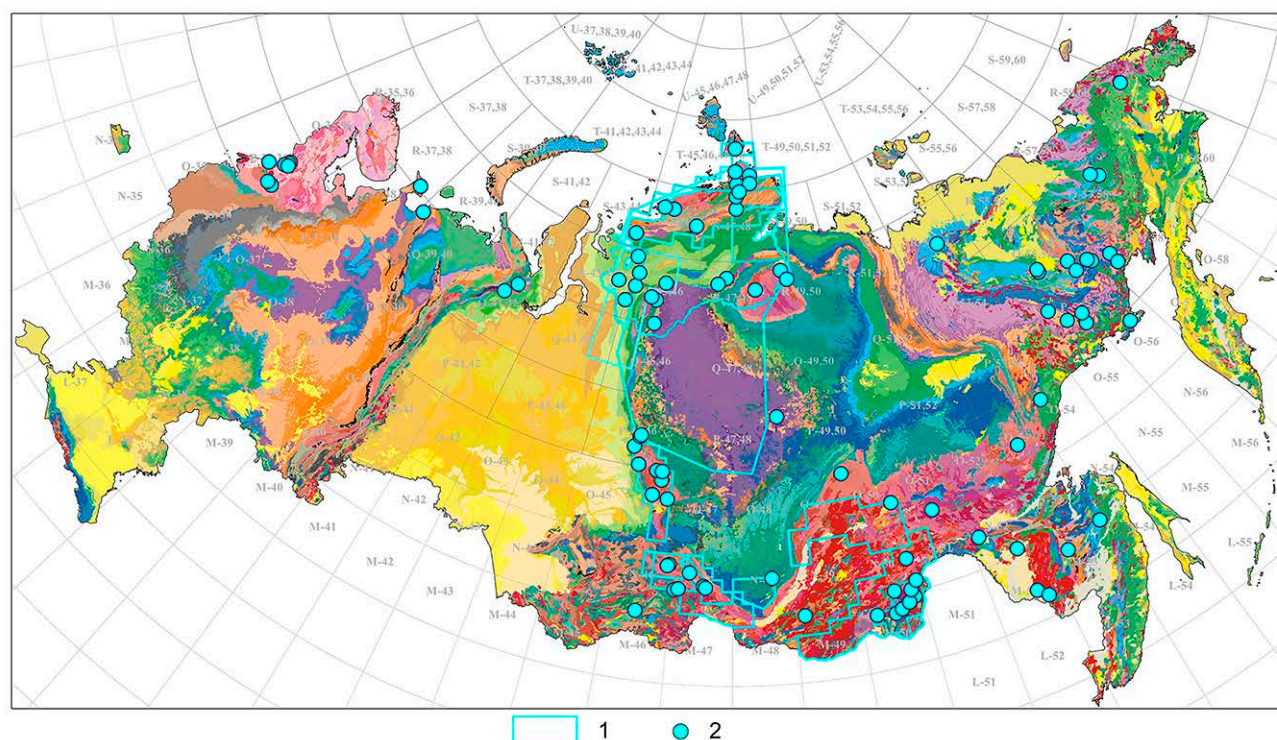
Одним из структурных подразделений института является Норильский филиал, организованный на основе аэрогеофизической партии, ранее входившей в состав Центральной Арктической геолого-разведочной экспедиции. В 2002 г. экспедиция была упразднена, а аэрогеофизическая партия преобразована в Норильский филиал, который осуществляет аэро- и наземные геофизические работы. Сегодня эти работы представляют собой широкий комплекс исследований на стадиях геологической съемки, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, включающих аэрогеофизическую и наземную съемки с заверкой выявленных аномалий, обработку материалов, их интерпретацию и рекомендации по дальнейшему направлению работ.

В течение 40 лет специалисты Норильского филиала участвовали в исследованиях более сотни объектов, расположенных на территории России в разнообразных географических и горно-геологических условиях (рис. 1).

В данной статье изложены наиболее актуальные моменты становления коллектива Норильского филиала, показана роль геофизических исследований в системе государственного геологического картирования с целью геологического доизучения площадей в масштабе 1 : 200 000 (далее — ГДП-200) и некоторые результаты успешного применения этих исследований, а также отмечены нежелательные тенденции в текущих геолого-геофизических работах.

Основной объем геофизических работ до 2016 г. выполнялся по заказам частных компаний. Так, в первом десятилетии текущего века, выполняя на Тиманском кряже субподрядные работы по заказу ПАО «ГМК «Норильский Никель», сотрудничавшего в ту пору с альянсом BHP Billiton, коллектив столкнулся с необходимостью осуществлять работу в соответствии с принятыми этой организацией требованиями производства. Учитывая опыт работы в Арктике (арх. Северная Земля), на Полярном Урале, на Таймыре и в других регионах страны, коллектив справился с задачей, удовлетворил требования по качеству съемки, в том числе по скорости полетов, по их высоте и отклонению от заданных линий маршрутов, по регистрации геомагнитных вариаций в условиях северных широт, а также по методике обработки, интерпретации и подготовке отчетных материалов в соответствии с международными стандартами.

Другим объектом, изучение которого привело к совершенствованию производственного опыта, был заказ все того же предприятия на выполнение аэромагнитной съемки Сырадасайской площади, в ее пределах расположено одноименное месторождение высокосортных углей. Работы выполнялись на самолете Ан-2 в сложных природно-климатических условиях, поскольку объект расположен далеко за Полярным кругом, в районе пос. Диксон. Вскоре с использованием положительных результатов магнитной съемки началось освоение



этого месторождения. Сегодня оно находится в стадии набирающей темпы разработки, которую ведет компания «Северная звезда», дочерняя структура ПАО «ГМК «Норильский никель».

В тот же период были осуществлены крупномасштабные аэрогеофизические съемки с целью создания геофизических основ для поисков рудного золота на Енисейском кряже по договорам с ПАО «Полус». Здесь впервые открылись возможности поискового потенциала гамма-спектрометрической съемки при решении задач выявления и локализации зон, подвергшихся метасоматическим изменениям, которые в данном районе представляли поисковый интерес. В процессе производства были определены признаки рудных объектов, выявляемые по гамма-спектрометрическим данным, и сформулированы их поисковые критерии. Было установлено, что уникальное золото-сульфидное Олимпиадинское и крупное золото-сульфидно-кварцевое Благодатное месторождения Енисейского кряжа расположены в пределах аномальных урановых зон. Это дает основание утверждать, что выделение таких аномальных зон и участков — одна из важнейших поисковых задач, которая с успехом решается с применением аэрогамма-спектрометрии. Более того, результаты наших исследований, завершенных в 2008 г., показали, что благодаря высокой чувствительности и точности аэрогеофизических съемок имеется возможность обнаружить и локализовать не только золоторудные объекты ранга рудных районов и узлов, но и рудных полей, что существенно повышает эффективность поисков золота.

Важным шагом профессионального роста стали работы в Забайкалье по договору с ООО «Востокгеология» (дочернее предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель») в 2007–2009 гг. Тогда впервые нашему коллективу (рис. 2) пришлось осваивать проведение аэрогеофизической съемки на самолете Ан-3 комплексом методов, включающим электроразведку ЕМ-4Н. Целевым назначением работ являлось создание геофизической основы для оценки наличия перспективных объектов на цветные и благородные металлы. Работы на этом объекте велись интенсивно двумя бригадами. В процессе полевых работ оперативно велась обработка снятых материалов, строились геофизические карты полей, выделялись локальные аномалии, параметры которых оперативно передавались заказчику; тот, в свою очередь, в кратчайшие сроки осуществлял их наземную заверку геолого-геофизическими методами, вплоть до бурения. Результаты именно этих аэрогеофизических работ ускорили освоение Быстринского месторождения и строительство одноименного горно-обогатительного комбината.

Существенно новый опыт коллектив филиала приобрел при реализации аэрогеофизического проекта на Африканском континенте, исследуя горнорудный участок Китубия, находящийся в провинции Южная Кванза в Республике Ангола. Работы выполнялись совместно с ООО «Геотехнологии» с применением ими разработанного комплекса «Экватор» по договору с Горнорудным обществом «Катока». Исследования охватывали территории

как с известными кимберлитовыми трубками, так и новые площади, где трубки были неизвестны. В результате проведенных работ был выявлен ряд перспективных аномалий, имеющих магнитную и электромагнитную природу. Последующая заверка 18 аномальных объектов бурением, выделенных по картам кажущегося сопротивления во временной области, показала, что на 16 из них обнаружены кимберлитовые породы, на одном из которых они оказались алмазонасными [8].

С 2017 г., имея опыт эксплуатации аэрогеофизических комплексов на различных воздушных судах, коллектив филиала приступил к выполнению работ по Государственным заказам, первым из которых стал объект в Магаданской области на Балыгичанской площади. Там впервые была выполнена комплексная аэрогеофизическая съемка на вертолете Eurocopter AS 350 B3 с использованием аэромагнитометра GT-MAG, аэрогамма-спектрометра RS-500 и носового стингера, изготовленного из легкого авиационного композитного материала, для размещения магниточувствительного и феррозондового датчиков, радиовысотомера и навигационной антенны [6]. При проведении работ выяснилось, что их выполнение на легком вертолете в условиях высокогорного рельефа имеет целый ряд преимуществ (достоинств), выгодно отличающихся от работы на тяжелом вертолете Ми-8 и по маневренности, и по экономичности, и по энерговооруженности, а также по ряду других параметров.

Дальнейшие работы филиала по созданию опережающих основ для ГК-200 охватили районы Забайкалья, Амурской области, Якутии и Чукотки, где наращивался опыт не только аэросъемочных работ, но и новых методов интерпретации совместно с геологами Института Карпинского.

Комплекс геофизических методов для проведения аэрогеофизической съемки, которым располагает филиал сегодня, включает в себя аэромагниторазведку, аэрогамма-спектрометрию и аэроэлектроразведку. Наземные методы представлены магнитометрической, гамма-спектрометрической и различными видами электроразведочной аппаратуры. На интерпретационном этапе всегда используются материалы гравирозведочных работ.

Выбор аэрогеофизической аппаратуры для создания оптимального комплекса съемки зависит от объема наших предварительных знаний о конкретной геологической ситуации площади съемки и поставленных перед съемочными работами задач, что, в свою очередь, определяет также и оптимальную высоту полета ее носителя [3]. Так, например, включение в аэрогеофизический комплекс электроразведки автоматически повышает высоту полета до 120 м, тогда как для аэрогамма-спектрометрической съемки оптимальной является высота 70–90 м.

Таким образом, геологические работы разных стадий их производства и аэрогеофизическая съемка, сопровождающая или опережающая эти работы, как показывает практика, наиболее эффективны тогда, когда они направлены на достижение единой цели — поиск и открытие месторождений полезных ископаемых. Для эффективного целенаправленного



Рис. 2. Забайкалье, 2008 г. Газимурский завод. Геофизики-бортовые операторы Норильского филиала: Е. А. Бомбизов, А. В. Маджара, С. Ю. Перетолчин, А. И. Гарасика, П. В. Мельников

Источник: архив Норильского филиала

Fig. 2. Transbaikial, 2008. Gazimursky Zavod. Aero-geophysicists, Norilsk Branch: E. A. Bombizov, A. V. Madzhara, S. Yu. Peretolchin, A. I. Garasika, P. V. Melnikov

Source: Norilsk Branch's archives

проведения геологических работ необходимо наличие качественной геофизической основы, выполняющей роль базиса планирования и последующей концентрации тяжелых и дорогостоящих геологических (горных и буровых) работ на локальных участках, сокращая, а зачастую исключая их проведение на неперспективных площадях.

Современная геофизическая основа представляет собой совокупность карт геофизических полей, их целевых трансформант, петрофизических разрезов и результатов интерпретации, позволяющих определять направления дальнейших поисковых работ.

Из всех этапов создания геофизической основы *интерпретация* — наиболее важный и ответственный этап. Умение извлечь из материалов съемки максимально полезную геологическую информацию — дело профессионального мастерства, до настоящего времени граничащее с искусством. Достоверность построений при условии проведения исчерпывающего комплекса работ квалифицированными и опытными специалистами достаточно высока. Более того, объективность оценки прогнозных построений должна подкрепляться наземной заверкой выявленных аномалий, что сегодня осуществляется в очень незначительных объемах.

Процесс интерпретации, как правило, включает в себя картировочную и прогнозную составляющие. Первая преследует цель изучить геологическое строение района, выделить различающиеся по физическим свойствам структурно-вещественные комплексы, уточнить глубинное строение территории, выявить и проследить тектонические нарушения, картировать интрузивные образования, определить их геохимическую специализацию и характер

наложенных (эпигенетических) изменений. Процесс интерпретации это — анализ и синтез данных, полученных посредством геофизических полей и их трансформант.

Следует отметить, что трансформация исходного материала проводится с целью подчеркнуть интересные интерпретатора особенности поля и затушевать, сгладить сторонние эффекты. Опыт работ показывает, что из всего многообразия трансформаций практическое применение имеют: для потенциальных полей — вертикальная составляющая градиента, модуль горизонтальной составляющей градиента, модуль полного градиента для магнитного поля и поля силы тяжести; для гамма-спектрометрических полей — «индикаторные отношения» (Th/U , Th/K , U/K , $\text{U}^*/\text{K}/\text{Th}$) и карта радиогеохимической зональности. Важной составляющей является районирование геофизических полей, позволяющее визуализировать распределение физических свойств пород на рассматриваемой площади.

В результате проведенного таким образом анализа строится итоговая схема геологической интерпретации геофизических данных, на которой в соответствии с достигнутой в процессе анализа детальностью отражены контуры, фиксирующие положение выявленного объекта на территории съемочных работ, а также присущие ему геологические свойства, выявленные путем дешифрирования геофизических полей, их трансформант. Картировочная составляющая интерпретации аэрогеофизических материалов, выполненная по данным комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1 : 50 000 (далее — КАГС-50) на Попигайской площади в 2022 г., представлена на рис. 3, которая в полной мере отображает особенности ее

геологического строения, в т. ч. структурное положение, разрывную тектонику, вещественные комплексы и метасоматическую зональность.

Для изучения глубинного строения применяется объемное петрофизическое моделирование, основанное на послойном разделении гравитационного и магнитного полей на составляющие по значениям величины и направления векторов их горизонтальных градиентов. Полученный трехмерный массив данных дает представление о распределении плотностных и магнитных неоднородностей в нижнем полупространстве и позволяет провести петромагнитное моделирование по заданным направлениям. Латеральные и вертикальные вариации магнитно-плотностных свойств среды с определенной долей уверенности можно отождествлять со структурными и вещественными изменениями глубинного геологического строения, а также использовать их, применяя для прослеживания тектонических нарушений (рис. 4).

Другим наглядным примером методики интерпретации, направленной на решение задач геологического картирования, служит публикация [6], в которой изложены методические приемы решения задач для целей картирования интрузивных массивов на примере северной части Балыгычано-Сугойского прогиба. В результате уточнены контуры известных массивов, впервые выделены не вскрытые гранитоидные образования, а также серии даек и малых интрузий. По результатам объемного моделирования и классификации потенциальных полей изучено глубинное строение массивов. Разделены интрузивные образования по геофизическим данным, отражающим различные петрофизические свойства пород. Массивы классифицированы по комплексам и определена их перспективность на золото-серебряное и оловянное оруденение.

На выстроенном таким образом геолого-геофизическом базисе, учитывая основные факторы прогноза, поисковую практику, региональное и локальное геологическое положение района работ, его металлогеническую специфику, а также теоретически возможные в его пределах типы рудогенеза и наличие соответствующих им рудоконтролирующих признаков, проводится анализ размещения полезных ископаемых и прогнозная интерпретация в пределах изученной территории в целом.

Большинство рудоконтролирующих факторов с разной степенью достоверности находят свое отображение в геофизических полях, где их размещение выявляется характерным набором геофизических параметров. Полученные характеристики геофизических полей достаточно надежно увязываются с распространением ведущих полезных ископаемых в ранге рудного района-узла-поля. В аномальном магнитном поле и поле силы тяжести проявлены преимущественно признаки рудоконтролирующего характера (интрузивные тела, тектонические нарушения, зоны контактово-измененных пород). Данные гамма-спектрометрии и электроразведки используются в качестве геофизических признаков рудофокусирующих факторов (гидротермально-метасоматические минерализованные зоны).

Существенную, если не сказать основную роль при интерпретации играет опыт, обретенный исследованиями рудных объектов, на примере которых отрабатывались обоснованные методы прогноза самых разнообразных типов промышленного оруденения.

Так, в предыдущие годы в процессе аэрогеофизических съемок в районах размещения известных медно-порфировых месторождений: Быстринское, Култуминское, Шахтаминское, Бугдаинское (2007, 2008 гг.), Ак-Суг (2010 г.), Песчанка (2011 г.), фактически была установлена прямая пространственная связь между развитием площадных метасоматических изменений и радиогеохимической специализацией пород, отражающейся в тонкой структуре гамма-спектрометрических полей. Эта закономерность положена в основу созданной модели радиогеохимической зональности медно-порфировых систем и доказала свою эффективность на практике [2].

Большая библиотека наработанных эталонных геофизических моделей различных месторождений полезных ископаемых позволяет прогнозировать возможность их выявления на исследуемых площадях [4].

Прогнозирование основано на вероятностно-статистическом анализе, реализованном в алгоритме распознавания образов. В целом процедура прогнозирования требует решения ряда частных задач, основными из которых являются выбор объекта прогноза; определение элементарного участка прогнозирования; формирование исходной совокупности признаков или целевых трансформант геофизических полей; создание выборки эталонных объектов; преобразование и оценка информативности признаков; описание всей совокупности данных через информативные признаки; проверка надежности признаков; построение прогнозной схемы.

При выделении перспективных участков в качестве основного показателя используются вероятности соответствия рудным объектам, полученные при вероятностно-статистическом анализе аэрогеофизических данных в совокупности с благоприятными геологическими признаками. Пример такой прогнозной схемы, построенной по результатам интерпретации материалов съемки на Попигайской площади, представлен на рис. 5.

Схема отражает положение Попигайской астроблемы, основных дизъюнктивных дислокаций, радиогеохимическую специализацию рудофокусирующих геологических образований, перспективные участки на обнаружение различных видов полезных ископаемых.

В процессе интерпретации материалов на этом объекте, в зоне Анабарского щита по методике, созданной и опробованной при поисках алмазов в Республике Ангола (2014 г.), была выделена группа локальных аномалий электропроводности трубчатого типа, по-видимому связанная с кимберлитовыми трубками. При последующей наземной геолого-геофизической заверке одной из аномалий установлена ее трубчатая природа. По результатам моделирования геофизических данных с глубины 100 м устанавливается магнитовозмущающий

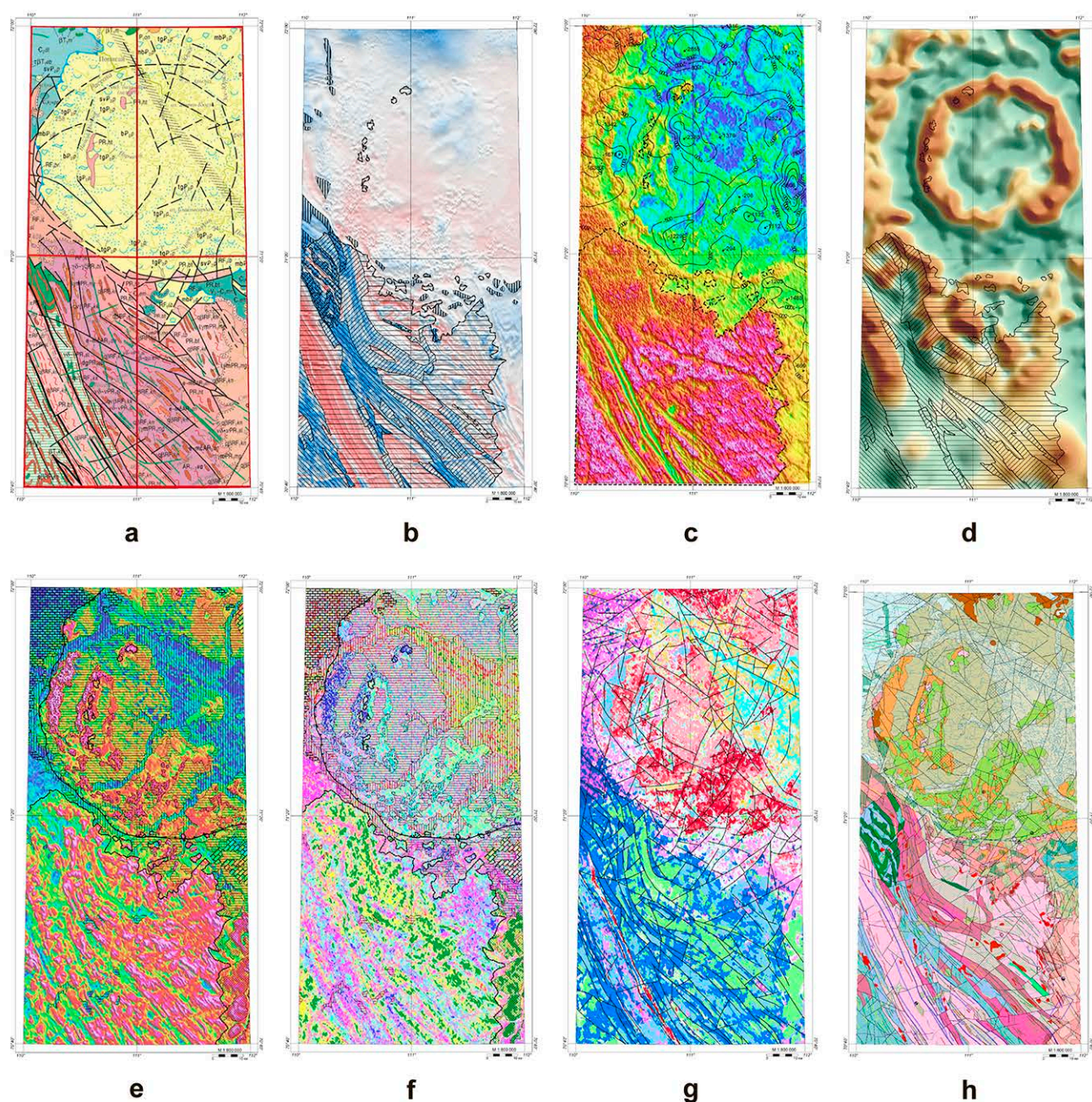


Рис. 3. Результаты картирования по данным КАГС-50 на Попигайской площади (R-49-III, IV, IX, X), 2022 г.

a — геологическая карта ГК-1000/3; отражение структур фундамента Сибирской платформы; *b* — в аномальном магнитном поле, *c* — в поле эффективной удельной электропроводности на частоте 2080 Гц, *d* — в вертикальном градиенте поля силы тяжести; отражение структур чехла Сибирской платформы; *e* — в поле мощности дозы суммарного гамма-излучения, *f* — на карте радиогеохимической зональности, *g* — отражение структурно-вещественных комплексов с разрывной тектоникой на схеме районирования геофизических полей, *h* — схема геологической интерпретации геофизических данных

Источник: составлено авторами П. В. Кирплюком, Р. А. Леденгским по материалам отчета*

Fig. 3. Mapping results from the complex airborne geophysical survey of the Popigai site, scale of 1 : 50,000 (R-49-III, IV, IX, X), 2022

a — State Geological Map, scale of 1 : 1,000,000 (third generation); presentation of the Siberian Platform basement structures; *b* — in an anomalous magnetic field, *c* — in an effective electrical conductivity field at a frequency of 2,080 Hz, *d* — in a vertical gravity gradient; presentation of the Siberian Platform cover structures; *e* — in a cumulative gamma-ray radiation dose rate field, *f* — in a radiogeochemical zoning map, *g* — presentation of structural and compositional complexes with fault tectonics in the geophysical field zoning diagram, *h* — geological interpretation data diagram

Source: adapted by the authors P. V. Kirplyuk, R. A. Ledengskiy from the report**

*Окончательный геологический отчет о результатах работ за 2023 г. по объекту «Комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэроэлектроразведочная, аэрогамма-спектрометрическая) съемка масштаба 1 : 50 000 и гиперспектральная съемка листов R-49-III, IV, IX, X (Попигайская площадь)»

**Final geological report 2023, the object "Complex airborne geophysical (aeromagnetic, airborne electromagnetic, airborne gamma-ray spectrometer) survey, scale of 1 : 50,000, and hyperspectral survey of sheets R-49-III, IV, IX, X (Popigai site)"

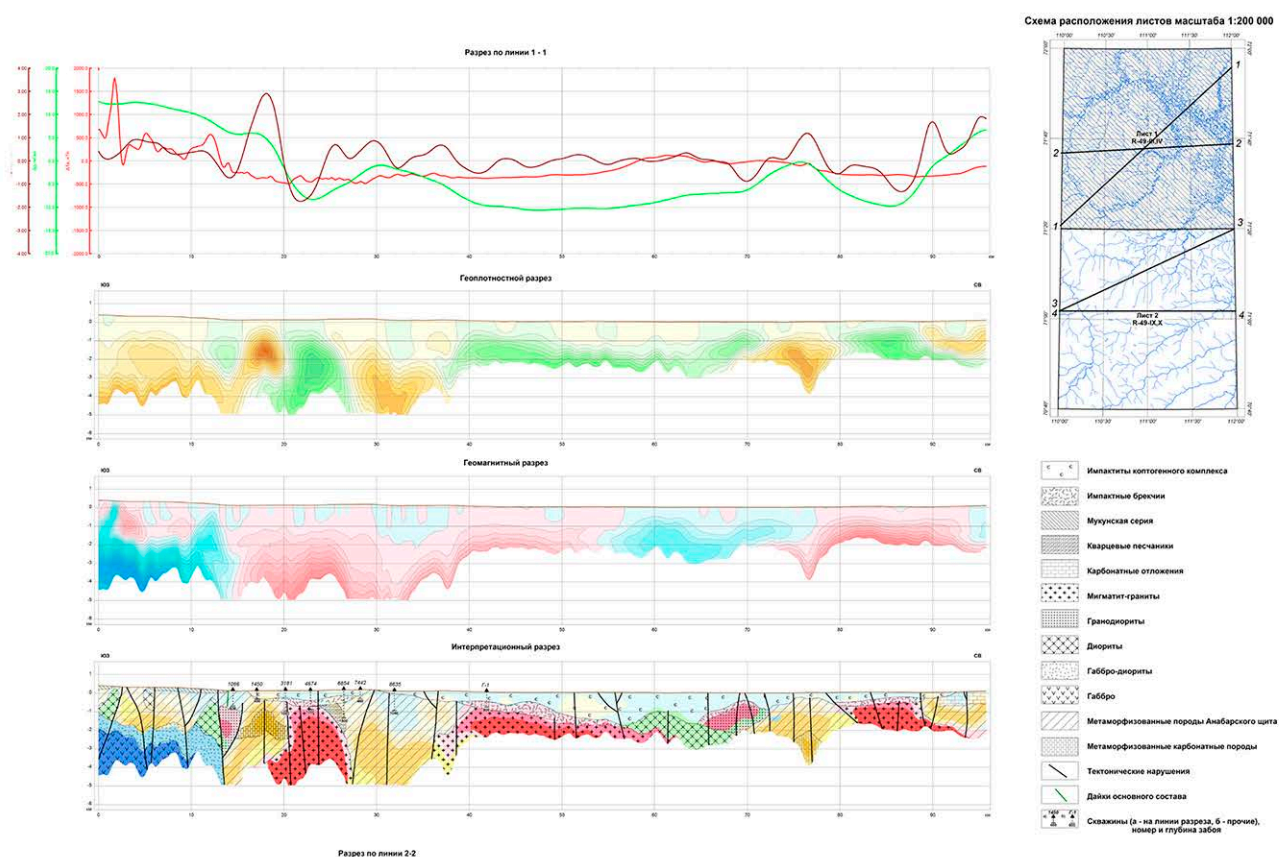


Рис. 4. Геолого-геофизический разрез по линии 1-1, Попигайская площадь

Источник: составлено Р. А. Леденским по материалам отчета (см. отчет в подписи к рис. 3)

Fig. 4. Geological and geophysical section 1-1, Popigai site

Source: adapted by P. A. Ledengskiy from the report (refer to the report in fig. 3 caption)

объект трубчатого типа, предположительно, кимберлитового состава [5].

На площади этого же листа (в юго-восточной части) был выделен объект, имеющий перспективы выявления уранового оруденения типа «несогласие», его перспективы также подтверждены наземными геолого-геофизическими работами [7].

Другим примером методического подхода прогнозирования являются результаты работ на Расошинской площади в 2018 г., на которой была выделена аэрогамма-спектрометрическая аномалия в сопровождении шлихового ореола меди и свинца. Это позволило сделать предположение о вероятном присутствии слабо эродированной гидротермальной рудно-магматической системы и наметить здесь участок для постановки наземных геолого-геофизических работ. В результате последующих наземных геолого-геофизических работ здесь впервые установлена верхняя часть рудно-магматической системы с медно-порфировым оруденением с перспективами выявления крупного месторождения [3].

В следующем, 2025 г. коллективу филиала предстоит участвовать в реализации государственной программы «Геология. Возрождение легенды», которая направлена на оценку перспектив и поиски полезных ископаемых в Центральной Сибири и Дальневосточных регионах. Мы полагаем, что

коллектив Норильского филиала Института Карпинского является одним из лидеров среди организаций, занятых производством аэро- и наземных геофизических работ, и полностью подготовлен для решения задач, стоящих перед этим проектом.

В завершающей части нашей работы хотелось бы обратить внимание на некоторые проблемы, прямо или косвенно связанные с производством аэрогеофизических работ и сказывающиеся на их эффективности.

В современных условиях коммерциализации информации в сфере поиска и разведки месторождений полезных ископаемых и запрета на разглашение коммерческой тайны (Стратегия-2030) [9] геофизики, участвовавшие в прогнозе, не могут получить информацию о конечных результатах данного ими прогноза. Кроме того, от момента прогноза до практической его проверки нередко проходят долгие годы, и проследить его результат не представляется возможным. Это большая проблема в деле изыскательского прогнозирования.

Проведение опережающих аэрогеофизических работ в рамках программы ГДП-200 закреплено на уровне законодательства и почти все объекты предваряются аэрогеофизическими съемками. Заверка аномалий, призванная подтвердить или опровергнуть достоверность прогнозных построений и вывести геологов на поисковый объект,

не предусматривается в программе работ. Такой подход, по-нашему мнению, имеет слабо аргументированный формалистический характер и нередко ведет к дополнительным и необоснованным расходам государственных средств на последующих стадиях поиска месторождений.

Во времена СССР Министерство геологии целенаправленно и систематически проводило исследования по совершенствованию теоретических основ и практического применения геофизических

методов, конструировалась и создавалась соответствующая аппаратура. Над этим трудились коллективы научно-производственных организаций. Теоретические и конструкторские разработки, после их тщательного изучения в ходе опытно-методических натурных испытаний и последующей массовой практической проверки их эффективности в производственных организациях, производящих геофизические работы в различных условиях, становились основой, на которой создана вся современная

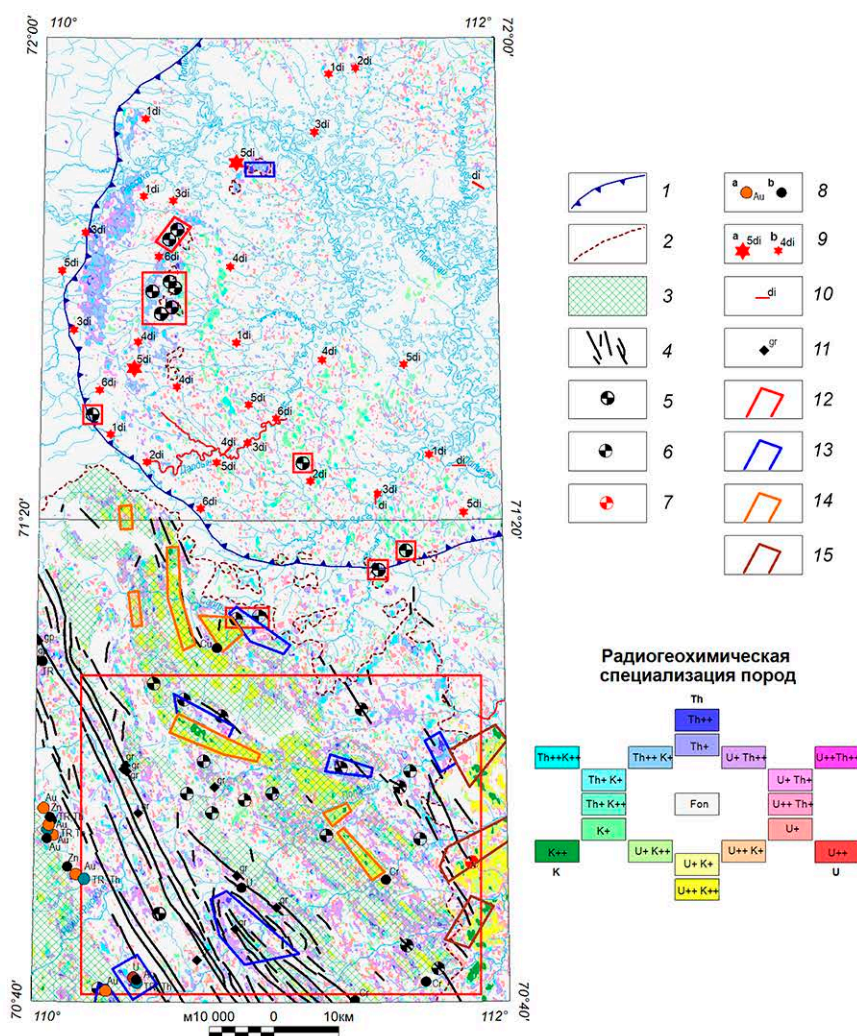


Рис. 5. Прогнозная схема по данным КАГС-50 на Попигайской площади (R-49-III, IV, IX, X), 2022 г.

1 — граница Попигайской астроблемы; 2 — граница Анабарского щита; 3 — зоны гидротермально-метасоматических изменений; 4 — графит-содержащие гнейсы. Локальные геофизические аномалии, ассоциирующиеся с трубками взрыва: 5 — магнитные, проводящие; 6 — проводящие, слабомагнитные; 7 — аномалия проводимости, заверенная наземными геолого-геофизическими наблюдениями. Полезные ископаемые: 8 — проявления (a), пункты минерализации (b). Алмазы импактные: 9 — коренные, месторождения (a), пункты минерализации (b); 10 — россыпные; 11 — проявления графита. Перспективные участки для поисковых работ: 12 — на кимберлитовые алмазы; 13 — на редкоземельное и редкометалльное оруденение; 14 — на золото-полиметаллическое оруденение; 15 — на урановое оруденение типа «несогласия»

Источник: составлено автором П. В. Кирплюком по материалам отчета (см. отчет в подписи к рис. 3)

Fig. 5 Predictive diagram from the complex airborne geophysical survey of the Popigai site, scale of 1 : 50,000 (R-49-III, IV, IX, X), 2022

1 — Popigai astrobleme boundary; 2 — Anabar Shield boundary; 3 — hydrothermal and metasomatic changes zones; 4 — graphite-bearing gneisses. Pipe-associated local geophysical anomalies: 5 — magnetic, conductive; 6 — conductive, weakly magnetic; 7 — conductivity anomaly confirmed by ground geological and geophysical observation. Mineral resources: 8 — occurrences (a), mineralization points, Impact diamonds (b); 9 — primary, deposits (a), mineralization points (b); 10 — placer; 11 — graphite occurrences, Promising exploration areas of 12 — kimberlite diamonds; 13 — rare earth and rare metal mineralization; 14 — gold-polymetallic mineralization; 15 — unconformity-type uranium mineralization

Source: adapted by the author P. V. Kirplyuk from the report (refer to fig. 3 caption)

геофизическая нормативно-инструктивная и методическая документация. Так работала схема наука–производство, в рамках государственных программ выполнялись специальные исследования методики, техники и теории высокоточных геофизических исследований, отраженных, в частности, в содержании технической инструкции по аэрогамма-спектрометрической съемке, утвержденной в 1976 г., а также в инструкции по магниторазведке, изданной в 1981 г. [1; 11]. Этими инструкциями полевая геофизика руководствуется и сегодня. Современные инструктивно-нормативные материалы в области геофизики в настоящее время отсутствуют.

В комплексе аэрогеофизических работ по программам государственного геологического картирования на первом этапе, как было показано выше, выполняются аэросъемки, инструментальной основой которых являются магнитометры, гамма-спектрометры, электроразведочные модули в различных модификациях и спутниковые системы навигации. Если с измерительными модулями аэромагнитометров и электроразведочными комплексами дела обстоят удовлетворительно, поскольку их самостоятельно разрабатывают и производят ГНПП «Аэрогеофизика», ООО «Геотехнологии», АО «ЕМ-Разведка» [8; 10], то с *квантовыми магнитометрическими датчиками* до недавнего времени ситуация была крайне неблагоприятная. Российские аэрогеофизические организации предпочитают датчики CS-3 производства канадской компании Scintrex Limited, да и сейчас все еще продолжают использовать приборы этой фирмы, прекратившей продажу своей продукции в России. Однако завершение разработок и начало выпуска отечественного аналога этих приборов такими компаниями как ООО «Геодевайс» и АО «НПП «Радар ммс» (Санкт-Петербург), которые по техническим характеристикам приближаются к зарубежным аналогам, обнадеживает, поскольку потребность в квантовых магнитометрических датчиках постепенно удовлетворяется.

Состояние дел в сфере выпуска аэрогамма-спектрометрии — неудовлетворительное. Об этом свидетельствует факт отсутствия на российском рынке продукции отечественного приборостроения для производства аэрогамма-спектрометрической съемки. Российское приборостроение прекратило выпуск аэрогамма-спектрометров в конце 1990-х годов; интенции к его возобновлению пока отсутствуют. Эксплуатируются зарубежные модели, отличающиеся не только высоким качеством, но и высокой стоимостью. До недавнего времени, например, приобретение минимально необходимого для аэрогамма-спектрометрической съемки комплекса приборов RS-500 (блок интерфейса RS-501, два блока детектирования RSX-4 по 16 л, общим объемом 32 л, с датчиками давления и температуры Honeywell PPT) канадской компании Radiation Solutions Inc. российскому покупателю обходилось в 100 с лишним млн руб. В условиях санкций даже столь дорогая покупка стала затруднительной. Поэтому хотелось бы обратить внимание Департамента государственной политики и регулирования в области геологии

и недропользования на проблемы в сфере геофизического приборостроения в стране.

Есть и другие проблемы, влияющие на эффективность аэрогеофизических работ, например, отсутствие российских, более совершенных версий фундаментальных программных продуктов типа Oasis Montaj (Geosoft) или сокращение подготовки полевых геофизиков в ведущих вузах страны [9], что сказывается на замедлении обновления кадров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методические подходы изучения геологического пространства на основе интерпретации материалов аэрогеофизических съемок позволяют создавать качественные геофизические основы, которые становятся базисом геологического картирования и поисков полезных ископаемых, а также определения направлений стратегии развития изучаемых территорий.

2. Норильский филиал ФГБУ «Институт Карпинского» в полной мере обладает технологией производства аэрогеофизических съемок и методическими подходами интерпретации геофизических данных для решения широкого круга геологических задач, в т. ч. геологического картирования и прогнозирования цветных и благородных металлов, а также алмазов.

3. Наземные геолого-геофизические работы по заверке аномалий должны являться неотъемлемой (составной) частью геологоразведочных работ при ГДП-200.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глебовский Ю. С., Никитский В. Е. Инструкция по магниторазведке. Л.: Недра, 1981. 263 с.
2. Кирплюк П. В. Радиогеохимические признаки медно-порфирового оруденения // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов: Тез. докл. VII научно-практической конференции. М.: ЦНИГРИ, 2017. С. 22–23.
3. Лазарев Ф. Д., Маджара А. В., Старостин В. К. К вопросу выбора оптимальной высоты полета воздушного судна при производстве аэро-гамма-спектрометрической съемки // Разведка и охрана недр. 2019. № 6. С. 19–28.
4. Лазарев Ф. Д., Кирплюк П. В., Онищенко А. Н. Прогнозирование рудно-магматических систем на основе аэрогеофизических данных при ГДП-200 // Разведка и охрана недр. 2021. № 4. С. 26–34.
5. Перспективы алмазности восточной части Анабарского щита по данным аэрогеофизической съемки / Ф. Д. Лазарев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. № 99. С. 107–115. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_99_107-115.
6. Леденгский Р. А. Картирование интрузивных массивов северной части Балыгычано-Сугойского прогиба (Магаданская область) по геофизическим данным // Региональная геология и металлогения. 2021. № 88. С. 84–98. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_88_84-98.
7. Перспективы выявления месторождений урана типа «несоглсия» на щитах сибирской платформы / А. В. Молчанов [и др.] // Разведка и охрана недр. 2024. № 4. С. 25–37.

8. Мойланен Е. А. Методы и алгоритмы обработки измерений и интерпретации данных в комбинированных электроразведочных системах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2024.

9. Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1039-р) // Правительство России. Министерства и ведомства. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России). URL: <http://government.ru/departments/48/events/> (дата обращения: 02.12.2024).

10. Трусов А. А. Особенности современной аэроэлектроразведки // Разведка и охрана недр. 2011. № 7. С. 31–36.

11. Вавилин Л. Н., Матвеев А. В., Филимонов В. В. Техническая инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке. М., 1977. 188 с.

REFERENCES

1. Glebovsky Yu. S., Nikitskiy V. E. Instructions for magnetic exploration. Leningrad: Publishing house "Nedra"; 1981. 263 p. (In Russ.).

2. Kirplyuk P. V. Radiogeochemical signs of porphyry copper mineralization. Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting and evaluation of deposits of pre-cious, non-ferrous metals and diamonds: *Thesis of the VII scientific and practical conference*. Moscow: TsNIGRI; 2017. P. 22–23. (In Russ.).

3. Lazarev F. D., Majara A. V., Starostin V. K. On the issue of choosing the optimal flight altitude of an aircraft during the production of aero-gamma spectrometric imaging. *Exploration and protection of mineral resources*. 2019; (6): 19–28. (In Russ.).

4. Lazarev F. D., Kirplyuk P. V., Onishchenko A. N. Forecasting of ore-magmatic systems based on aerogeophysical data at GDP200. *Exploration and protection of the subsoil*. 2021; (4): 26–34. (In Russ.).

5. Prospects for the diamond content of the Anabar shield according to the data of the aerogeophysical survey / F. D. Lazarev [et al.]. *Regional geology and Metallogeny*. 2024; (99): 107–115. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_99_107-115. (In Russ.).

6. Ledengsky R. A. Mapping of intrusive massifs of the northern part of the Bazhchan-Sugoyksky trough (Magadan region) according to geophysical data. *Regional geology and Metallogeny*. 2021; (88): 84–98. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_88_84-98. (In Russ.).

7. Prospects for identifying deposits of uranium of the "disagreement" type on the shields of the Siberian platform / A. V. Molchanov [et al.]. *Exploration and protection of the subsoil*. 2024; (4): 25–37. (In Russ.).

8. Moilanen E. A. Methods and algorithms for processing measurements and data interpretation in combined electrical exploration systems. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences. Moscow; 2024. (In Russ.).

9. Strategy for the development of the geological industry until 2030 (approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1039-r dated June 21, 2010). The Government of Russia. Ministries and departments. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Ministry of Natural Resources of the Russian Federation). URL: <http://government.ru/departments/48/events/> (accessed 02.12.2024). (In Russ.).

10. Trusov A. A. The features of modern electric exploration. *Exploration and protection of the subsoil*. 2011; (7): 31–36. (In Russ.).

11. Vavilin L. N., Matveev A. V., Filimonov V. V. Technical instructions for aerogamma spectrometric photography. Moscow; 1977. 188 p. (In Russ.).

Федор Дмитриевич Лазарев

Кандидат геолого-минералогических наук,
директор

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

FLazarev@karpinskyinstitute.ru

Павел Валентинович Кирплюк

Главный геофизик

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Pavel_Kirplyk@karpinskyinstitute.ru

Андрей Николаевич Онищенко

Главный геолог

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Andrey_Onishenko@karpinskyinstitute.ru

Fedor D. Lazarev

PhD (Geology and Mineralogy),
Director

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

FLazarev@karpinskyinstitute.ru

Pavel V. Kirplyuk

Chief Geophysicist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Pavel_Kirplyk@karpinskyinstitute.ru

Andrey N. Onishchenko

Chief Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Andrey_Onishenko@karpinskyinstitute.ru

Роман Андреевич Леденгский

Геофизик 1-й категории

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Roman_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru

Roman A. Ledengskiy

First Category Geophysicist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Roman_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru

Владимир Карпович Старостин

Кандидат геолого-минералогических наук, геолог

Норильский филиал Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, Норильск, Россия

Starostinvk@yandex.ru

Vladimir K. Starostin

PhD (Geology and Mineralogy), Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Norilsk Branch, Norilsk, Russia

Starostinvk@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 02.12.2024
Одобрена после рецензирования 17.12.2024
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 02.12.2024
Approved after reviewing 17.12.2024
Accepted for publication 28.12.2024