

Возможности аэроэлектроразведки при детальном поиске кимберлитов

Е.В. Каршаков¹, В.М. Керцман², Е.В. Мойланен¹, Ю.Г. Подмогов³

¹ИПУ РАН, moilanen@mail.ru

²МГУ им. М.В. Ломоносова, natagm@bk.ru

³ООО «Геотехнологии», info@geotechnologies-rus.com

Аннотация

Описаны возможности современной аэроэлектроразведки при работе в комплексе с магниторазведкой на поиск кимберлитов. Приведены примеры аэроэлектроразведочных данных в условиях платформенного чехла на зимнем берегу Белого моря и в пределах Мало-Ботуобинского района Якутской алмазональной провинции, а также в условиях Ангольского кристаллического щита. Оценены возможности современной аэроэлектроразведки при поисках изометричных тел разной контрастности удельных сопротивлений по отношению к вмещающим породам.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка во временной области, аэроэлектроразведка в частотной области, магниторазведка, кимберлитовая трубка

ВВЕДЕНИЕ

С середины 1950-х годов до середины 2000-х магниторазведка являлась единственным массовым геофизическим методом поиска кимберлитовых трубок. С помощью этого метода обнаружены сотни кимберлитовых тел и, в том числе, крупные месторождения алмазов. Однако, в последние десятилетия поисковая эффективность метода резко упала. Например, в Архангельской области статистика обнаружения кимберлитов на магнитных аномалиях составляет менее 1.2% (Кутинов и Чистова, 2004). Появление в середине двухтысячных комплексных систем, включающих магнитный канал и канал аэроэлектроразведки, кардинально ситуацию не изменило. При выделении аномалий трубчатого типа и их ранжировании по степени перспективности многие специалисты продолжают считать магнитометрию основным поисковым методом, а электроразведку вспомогательным (Bournas et. al, 2018). Такой подход приводит к серьезным негативным последствиям, снижающим результативность поисков кимберлитов. Обоснуем этот вывод на примере алмазопроисхождения работ последнего десятилетия в Анголе, Западной Якутии и Архангельской области.

Ангольский щит

Вначале рассмотрим пример из Африки. В условиях Ангольского кристаллического щита основным поисковым критерием обнаружения кимберлитов является наличие локальных аномалий пониженных сопротивлений значительного распространения на глубину. Удельные сопротивления трубки, в том числе ее кратера и диатремы, как правило, ниже

удельных сопротивлений вмещающих пород (Рис. 1). Трубки взрыва некимберлитовой природы и многочисленные интрузивные образования различного состава похожие по форме на тела кимберлитов обычно имеют более высокие сопротивления. В условиях Ангольского щита это главный и достаточно надежный критерий выделения аномалий трубчатого типа кимберлитовой природы.

Класс геологических помех, создающих «типично трубчатые» магнитные аномалии гораздо шире, чем для аномалий сопротивлений.

Приведем несколько примеров. Они будут касаться съемки выполненной в Анголе в 2013 г. Для площади характерно огромное количество локальных магнитных аномалий как прямого, так и обратного намагничивания, а количество локальных аномалий проводимости существенно меньше (Рис 2-4).

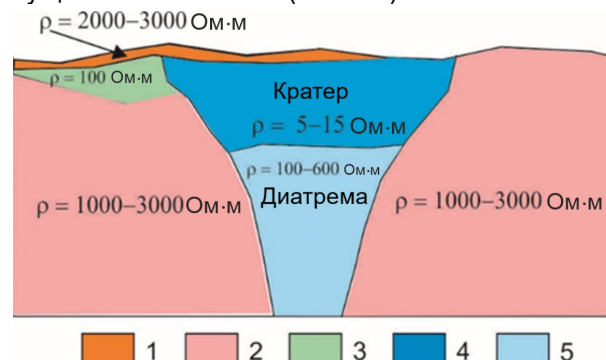


Рисунок 1. Схематическая геoeлектрическая модель для кимберлитовых трубок Ангольского щита. 1 – пески группы Калахари, 2 – кристаллическое основание, 3 – коры выветривания по породам основания, 4 – кратерная часть кимберлитовой трубки, 5 – диатрема.

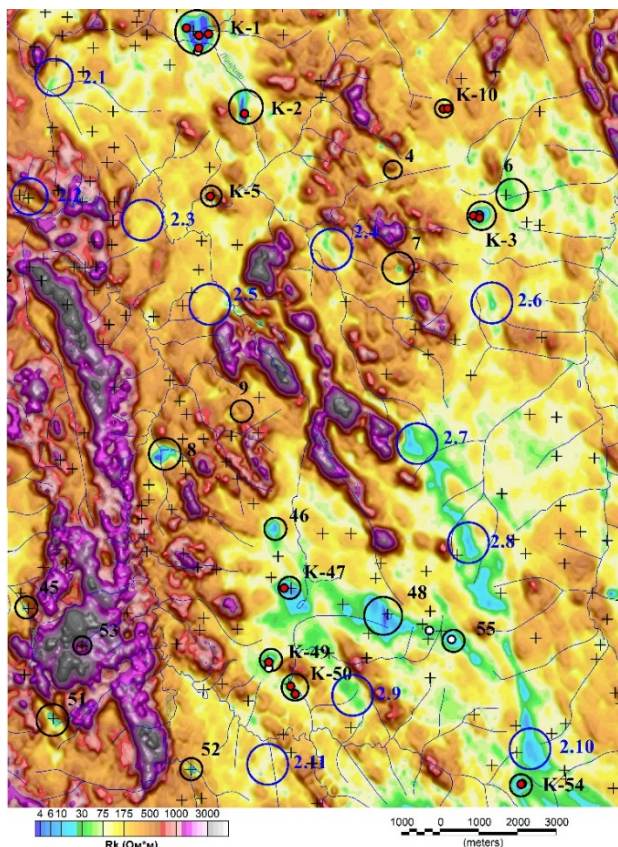


Рисунок 2. Карта кажущихся сопротивлений, вычисленных для частотного канала 3163 Гц.

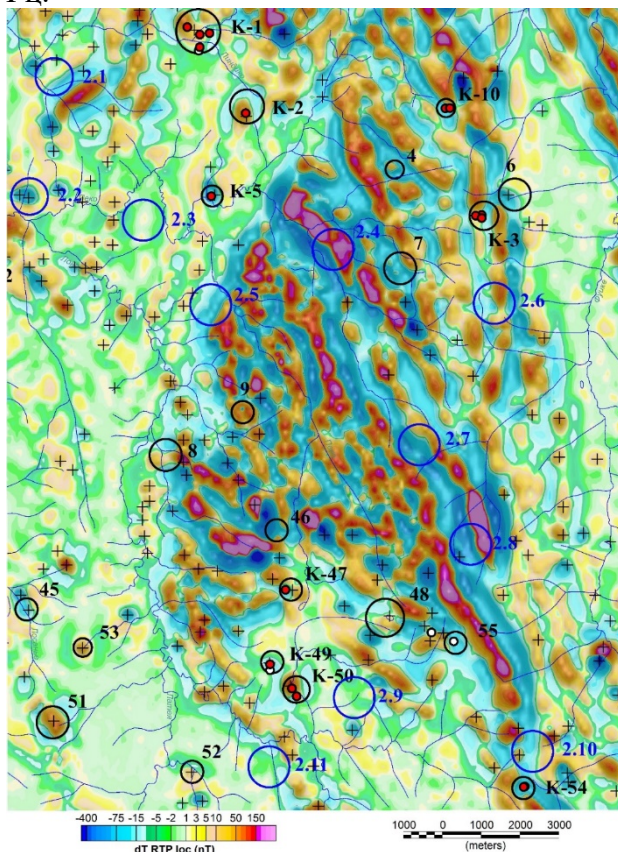
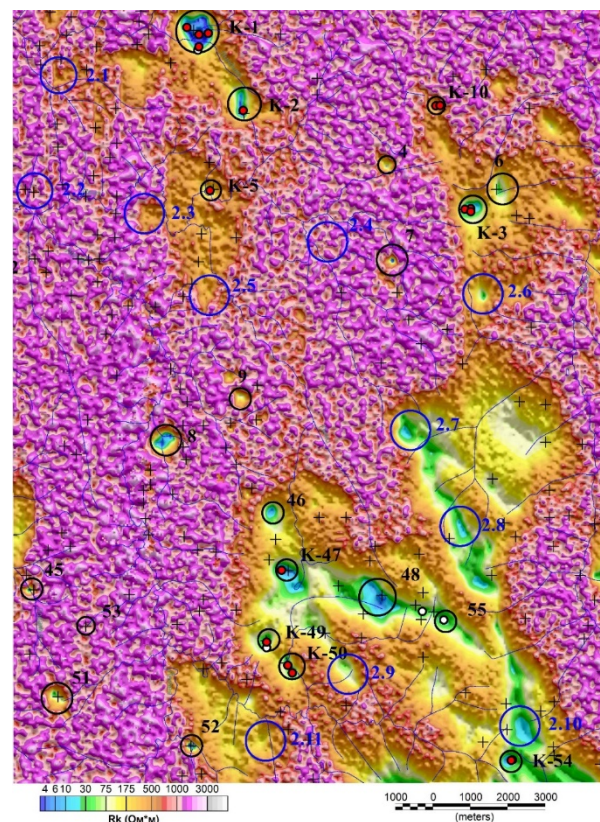


Рисунок 3. Карта локальной составляющей

аномального магнитного поля, использован фильтр Керцмана (Бабаянц и Тарарухина, 2009) шириной 700 м.



- К-2** Кимберлитовые трубки, обнаруженные при заверке аномалий проводимости
- Скважины, вскрывшие кимберлит
- Скважины, не вскрывшие кимберлит
- 8** Аномалии электропроводности, выделенные после первого этапа интерпретации (до сдачи отчета).
- 2.1** Аномалии электропроводности, выделенные после второго этапа интерпретации и использования процедур повышения контрастности аномалий.
- Эпицентры локальных магнитных аномалий трубчатого типа.

Рисунок 4. Карта кажущихся сопротивлений, вычисленных для временного канала 250 мкс.

Анализ электрических и магнитных свойств аномалий позволил идентифицировать объекты кимберлитовой природы, даже в неблагоприятных условиях развития низкоомных латеритных кор выветривания мощностью 30-70 м.

Это подтверждают результаты проведенных в 2015 году заверочных буровых работ (рис. 2-4). Кимберлит был вскрыт в 80% случаев.

Кимберлитовые трубки К-1, К-2, К-3, К-5, К-10, К-47, К-49, К-50 вскрыты при заверке локальных аномалий пониженных сопротивлений. Другие аномалии на приводимом участке не завершались.

В целом, при изучении верхней части разреза высокочастотные каналы более предпочтительны чем ранние временные (Hodges, 2013). В то же время для изучения глубинных проводников в изоляторе временная область подходит лучше частотной.

Западная Якутия

В условиях Якутской Алмазоносной Провинции (ЯАП) контрастность кимберлитов по электрическим свойствам существенно ниже по сравнению с вмещающими породами карбонатного цоколя. На значительной части территории регистрируются эффекты индуктивно-вызванной поляризации, что осложняет условия поиска (Viezzoli and Kaminski, 2016, Каршаков и Мойланен, 2020). Трубки, как правило, значительно эродированы и не содержат низкоомных кратерных фаций (Зинчук и др., 2002). Поэтому, в зависимости от степени глинистости карбонатных пород, разница сопротивлений вмещающие породы – кимберлит может меняться от нескольких единиц до трехсот Ом·м. Другими словами, в определенных условиях, по электрическим свойствам возможны пропуски кимберлитовых тел. Но вероятность наличия локальных аномалий сопротивлений 30-150 Ом·м, связанных с кимберлитами остается довольно высокой.

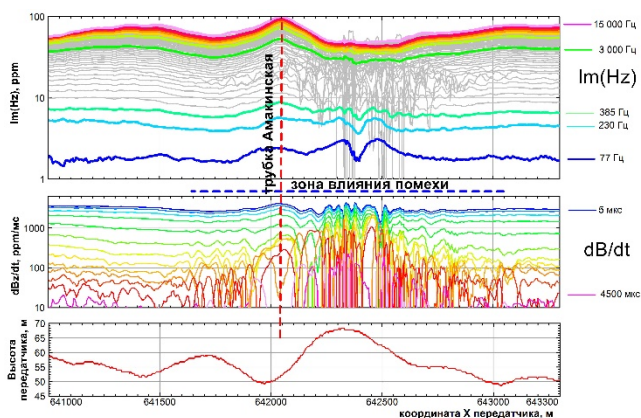


Рисунок 5. Отклики в частотной (верхние графики) и временной (средние графики) областях, высота полета (нижний график) над трубкой Амакинская в присутствии промышленных помех. Серыми графиками показаны данные на частотах, подвергшихся влиянию промышленной помехи.

Возможности магнитометрии в условиях Западной Якутии, как отдельного метода, для поисков кимберлитов, по нашему мнению, практически исчерпаны, по следующим причинам:

1. Начиная с 2000 г. и по настоящее время в ЯАП выполнен огромный объем работ (многие

десятки тысяч кв.км) кондиционной, по современным стандартам, высокоточной и детальной аэромагнитной съемки.

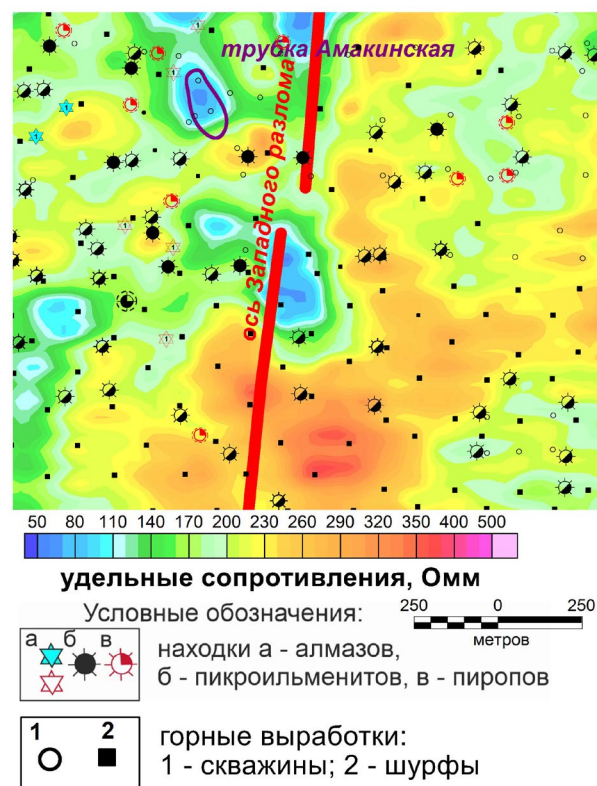


Рисунок 6. Карта удельных сопротивлений для глубины 10 м в районе тр. Амакинская.

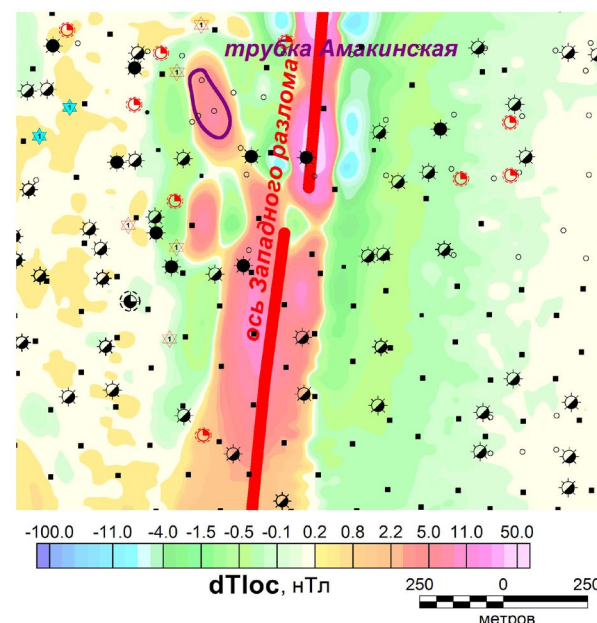


Рисунок 7. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля в районе тр. Амакинская. Использовался фильтр Керцмана, шириной 175 м.

Существенная часть работ выполнялась в пределах площадей, шлихоминералогическая

обстановка на которых явно свидетельствовала о наличии алмазонасных кимберлитов. Выделены и заверены сотни магнитных аномалий трубчатого типа, вскрыты единичные мелкие неалмазонасные кимберлитовые тела на участках с простым геологическим строением, где перекрывающие отложения отсутствуют.

2. Следует считать, что в пределах известных алмазонасных кимберлитовых полей, не перекрытых палеозойскими и мезозойскими породами (площади 1 геотипа), все магнитные объекты с аномалиями более 5 нТл обнаружены.

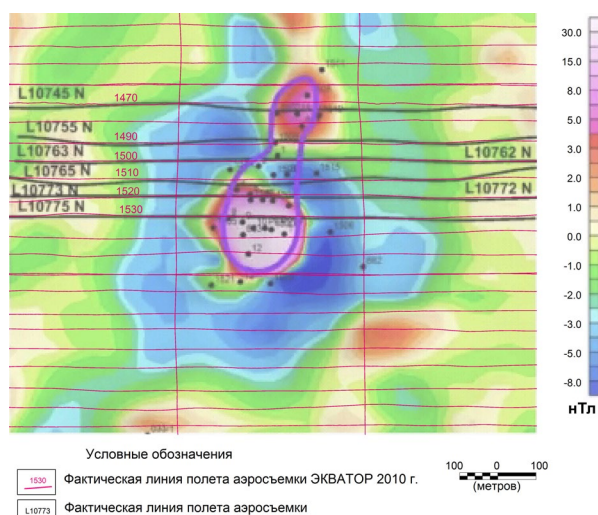


Рисунок 8. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля для данных ГНПП «Аэрогеофизика» в районе трубки Волчья.

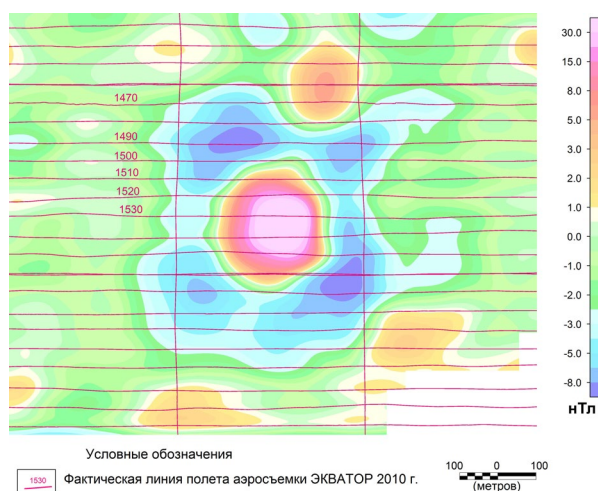


Рисунок 9. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (использован фильтр Керцмана шириной 350 м) для системы ЭКВАТОР в районе трубки Волчья.

3. Современная магнитометрия способна надежно фиксировать очень слабые аномалии (доли нТл), которые потенциально могут

связываться со слабомагнитными кимберлитовыми телами. Повышение чувствительности и разрешающей способности магнитной съемки, приводит к значительному росту количества аномалий-помех некимберлитовой природы. При этом вероятность обнаружения кимберлитового тела не возрастает.

В отличие от аэромагнитной съемки аэроэлектроразведочные работы в пределах известных алмазонасных кимберлитовых полей и перспективных площадей в массовом порядке никогда не проводились. Однако есть все основания считать, что массовая аэросъемка с использованием магнитного и электрического каналов, особенно в относительно простых условиях площадей 2-3 геотипа (Зинчук и др., 2002), может существенно повысить эффективность алмазопроисковых работ.

Приведем пример по результатам опытно-методических работ (ОМР) на небольшом участке Улегир Мало-Ботуобинского района. Тестовый объект - трубка Амакинская сопровождается магнитной и электропроводной аномалиями (Рис. 5-7). Наблюдается различное влияние промышленных помех на данные во временной и частотной областях. В частотной области искажены только смежные частоты с частотами промышленных помех и их гармоники (рис. 5).

АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Алмазопроисковые работы с использованием комплекса ЭКВАТОР выполнялись в 2010 г. совместно с ГНПП «Аэрогеофизика» на условиях аренды оборудования. На рисунках 8 и 9 представлены карты локальной составляющей аномального магнитного поля для съемок, выполненных ГНПП «Аэрогеофизика» и системы ЭКВАТОР («Геотехнологии»).

На исследуемой территории четвертичные отложения представлены всем разнообразием водно-ледниковых отложений мощностью до 120 м. По значениям удельных сопротивлений они варьируют от торфяников и глин (удельные сопротивления <50 Ом·м) до перебитых песков (в сухом состоянии >300-500 Ом·м).

Трубка Волчья является единственным эталонным объектом в пределах зимнего берега Белого моря, на котором есть возможность сравнить электроразведочные данные двух систем ЭКВАТОР и HelITEM (Калмыков и Трусов, 2021).

На геоэлектрических разрезах (рис. 10) проводник (70-100 Ом·м на фоне 140-260 Ом·м), связанный с кимберлитовым телом по данным системы ЭКВАТОР имеет вид вертикальной

неоднородности и соответствует имеющейся геологической модели.

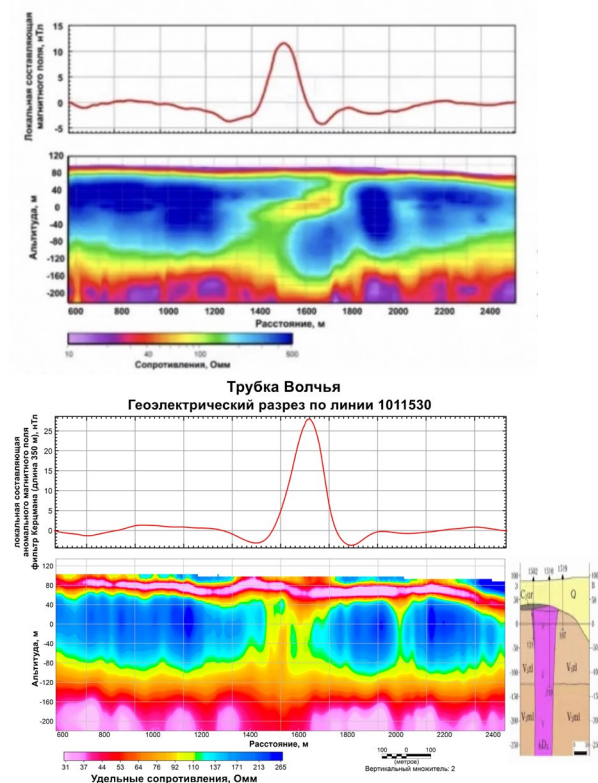


Рисунок 10. Геоэлектрические разрезы по совмещенным профилям через трубку Волчья по данным систем HelITEM (вверху), ЭКВАТОР (профиль 1011530) (внизу) и геологическая модель трубки.

Выводы

Для условий Ангольского Щита основным критерием присутствия кимберлитов является наличие локальных аномалий проводимости значительного распространения на глубину. Магнитные локальные аномалии должны использоваться как дополнительный признак для классификации аномалий.

Особенностью Якутской алмазонасной провинции является низкий контраст сопротивлений кимберлитов по сравнению с вмещающими породами. Для приведенного участка удельное сопротивление кимберлитов и выявленных аномалий только на 25-50 Ом·м отличается от вмещающих пород (100-300 Ом·м). Тем не менее современная аэроэлектроразведка надежно фиксирует эти слабоинтенсивные аномальные изменения. Что позволяет выделять по комплексу признаков перспективные рудовмещающие зоны и локальные аномалии трубчатого типа. Массовое использование комплексных аэрогеофизических исследований в пределах перспективных площадей 1-3 геотипа, может

существенным образом повысить эффективность алмазопромышленных работ в Западной Якутии, за счет надежного картирования рудовмещающих зон и высокой вероятности обнаружения локальных аномалий трубчатого типа.

Имеются достаточные предпосылки, что и на Зимнем берегу Белого моря геоэлектрические условия позволяют с помощью современной электроразведки детектировать кимберлитовые трубки.

Класс геологических помех, создающих «типично трубчатые» магнитные аномалии гораздо шире, чем для аномалий сопротивлений. Игнорирование этого факта приводит к выделению огромного числа «ложных» аномалий, не связанных с кимберлитами, что дает значительное увеличение затрат по их заверке.

Концептуальные изменения в подходах к выделению аномалий кимберлитовой природы и оценки их перспективности привело к резкому повышению эффективности алмазопромышленных работ в Анголе.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ГНПП «Аэрогеофизика», Д.Б.Дьяконову, К.В.Гаранину за ценные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаянц, П.С., Тарарухина, Н.М., 2009, Особенности технологии интерпретации комплексных аэрогеофизических данных в условиях широкого развития пород траппового комплекса: Современные аэрогеофизические методы и технологии вып. 1, т. 1, С. 71-110.
- Зинчук, Н.Н., Бондаренко, А.Т., Гарат, М.Н., 2002, Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород: М., Недра, с. 695.
- Кутинов, Ю.Г., Чистов, З.Б., 2004, Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазонасной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», с. 285.
- Калмыков, Б.А., Трусов А.А., 2021, Особенности отражения трубок взрыва в материалах аэроэлектромагнитной съемки (на примере Зимнебережного алмазонасного района):

Тезисы X Международной научно-практической конференции Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов, ЦНИГРИ, Москва, с. 102-104.

Каршаков, Е.В., Мойланен Е.В., 2020, Использование частотных данных для расчета индуктивно вызванной поляризации: Тезисы конференции EAGE, Пермь, с. 1-8.

Bournas, N., Legault, J., Prikhodko A., Polianichko, V., Kwan K., Treshchev S., 2018, A new approach for kimberlite exploration using helicopter-borne TDEM data: In Extended Abstracts: SEG-2018, p. 1-5.

Hodges, G., 2013, The power of frequency domain: when you should be using it: in Extended Abstracts: 6th International AEM Conference & Exhibition, 2013, 5 pp.

Karshakov, E., Podmogov, Y., Kertsman, V. and Moilanen, J., 2017, Combined frequency domain and time domain airborne data for environmental and engineering challenges: Journal of Environmental & Engineering Geophysics, 22(1), 1-11.

Karshakov, E., 2020, Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion: Exploration Geophysics 51(1):66-73, DOI: 10.1080/08123985.2019.1593790.

Viezzoli, A., and Kaminski, V., 2016, Airborne IP: examples from the Mount Milligan deposit, Canada, and the Amakinskaya kimberlite pipe, Russia: Exploration Geophysics, 47(4), 269-278.