

Разработка методики проведения 3D-электротомографии при поисках кимберлитовых тел

■ Адаров Т.Д., Тихонова А.В., Федоров Д.Н., Гончаров Е.М.,
АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

Аннотация: В 2023 г. Вилуйская геологоразведочная экспедиция провела электроразведочные работы методом 3D-электротомография на известных кимберлитовых телах с целью определения возможностей метода при картировании кимберлитовых тел. Перед началом работ проведено моделирование в программе Zondres3D. По результатам моделирования в открытом поле трубки выделяются уверенно. Пространственное положение и размеры трубок восстанавливаются с достаточно хорошей точностью.

Опытно-методические исследования проводились с помощью многоканальной аппаратуры «Скала64К15Е» с двумя коммутаторами (СКАЛА64К15+), что позволило одновременно проводить исследования 192 электродами. Для оптимизации проведения полевых работ была спроектирована схема измерений из 3 параллельных профилей по 64 электрода. Впервые в России проведена высокоплотная 3D-электротомография на кимберлитовых телах. По результатам проведенных исследований кимберлитовые трубки уверенно выделяются по данным 3D-электротомографии.

Специалистами ВГРЭ разработана оптимальная методика проведения 3D-электротомографии, которая может применена при поисках рудных тел. Предлагаемая методика применима при детализационных работах и разбраковке аномалий перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок, выделенных площадными геофизическими методами (электропрофилирование, наземная магниторазведка, комплексная аэрогеофизическая съемка, аэромагниторазведка).

Ключевые слова: 3D-электротомография, электротомография, кимберлитовые трубки, алмазы, геофизические методы, электроразведка, ZondRes3D, Скала64К15Е, моделирование, дипольная установка, трехэлектродная установка, методы на постоянном токе.

В 2023 г. Вилуйская геологоразведочная экспедиция провела электроразведочные работы методом 3D-электротомография на известных кимберлитовых телах с целью определения возможностей метода при картировании кимберлитовых тел. Главная задача метода при картировании кимберлитовых тел – определение форм и размеров, разбраковка аномалий. Полевые работы проведены на Далдынском кимберлитовом поле. Далдынское кимберлитовое поле расположено в северо-восточной части одноименного Далдыно-Алакитского алмазоносного района в 25 км от Алакит-Мархинского поля и включает около 60 трубчатых тел (рис. 1).

Объектами исследования являются 2 кимберлитовые трубки Далдынского кимберлитового поля: трубка Чебурашка

15х15 м и трубка Саратовская 50х100 м. Кимберлитовые тела выходят на дневную поверхность. Вмещающими породами на уровне современного эрозионного среза являются отложения моркокинской, онхойюряхской и олдондинской свит (сложены известняками, доломитами и их глинистыми, алевролитистыми и песчанистыми разностями, мергелями и аргиллитами). Взаимоотношение кимберлитовых тел с вмещающими породами – секущее. Обычно в приконтактных зонах кимберлитовых пород отмечается увеличение содержания обломков вмещающих пород. Залегание вмещающих карбонатных пород в зоне экзоконтакта близкое к горизонтальному. Непосредственно у контактов с кимберлитами отмечаются задиры пластов с углами падения 5–40°. Нередко вдоль контактов

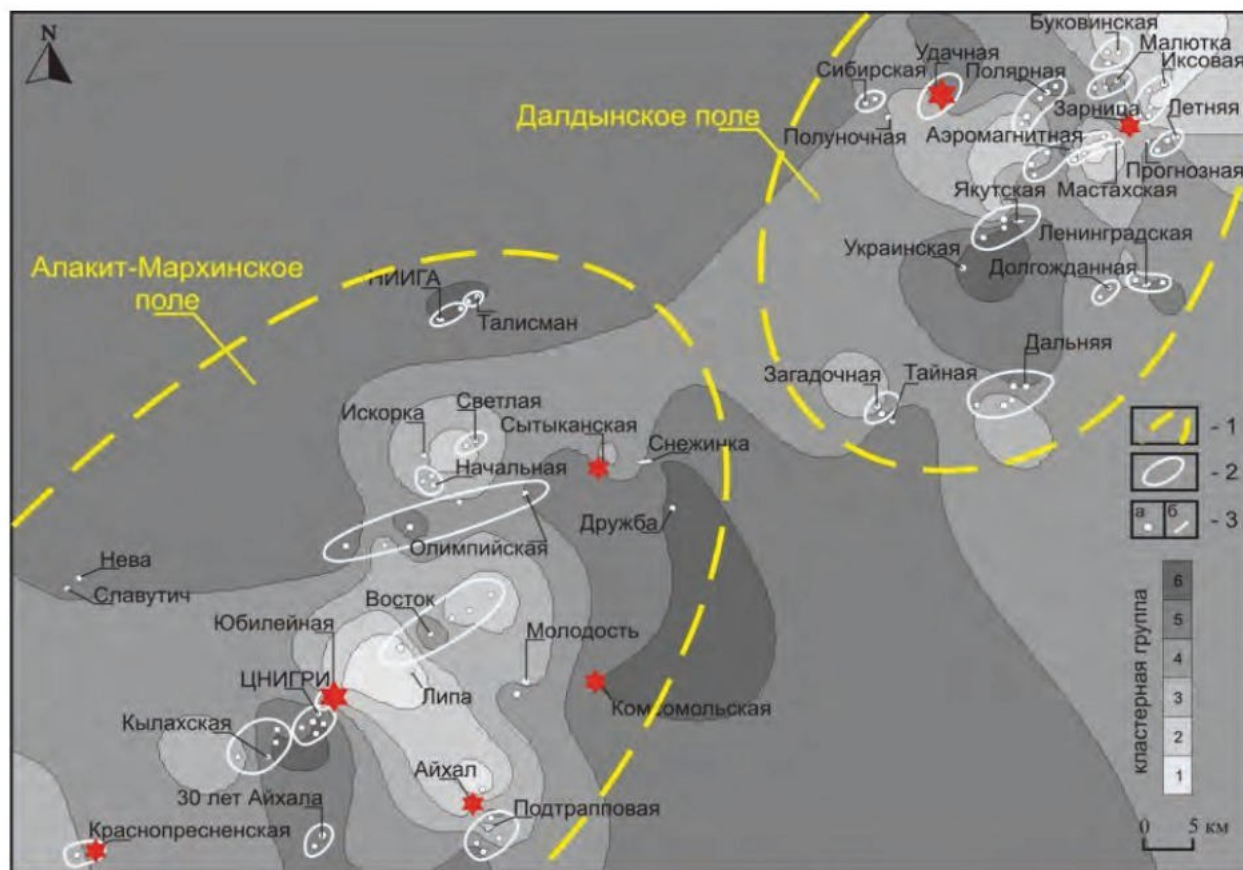


Схема распределения кластерных групп Далдыно-Алаки́тского района
(приведены названия наиболее крупных трубок в кусте и одиночных тел).

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1 - кимберлитовые поля; 2 - кусты кимберлитовых тел; 3 - кимберлитовые тела: а - трубки, б - дайки

★ - месторождения алмазов

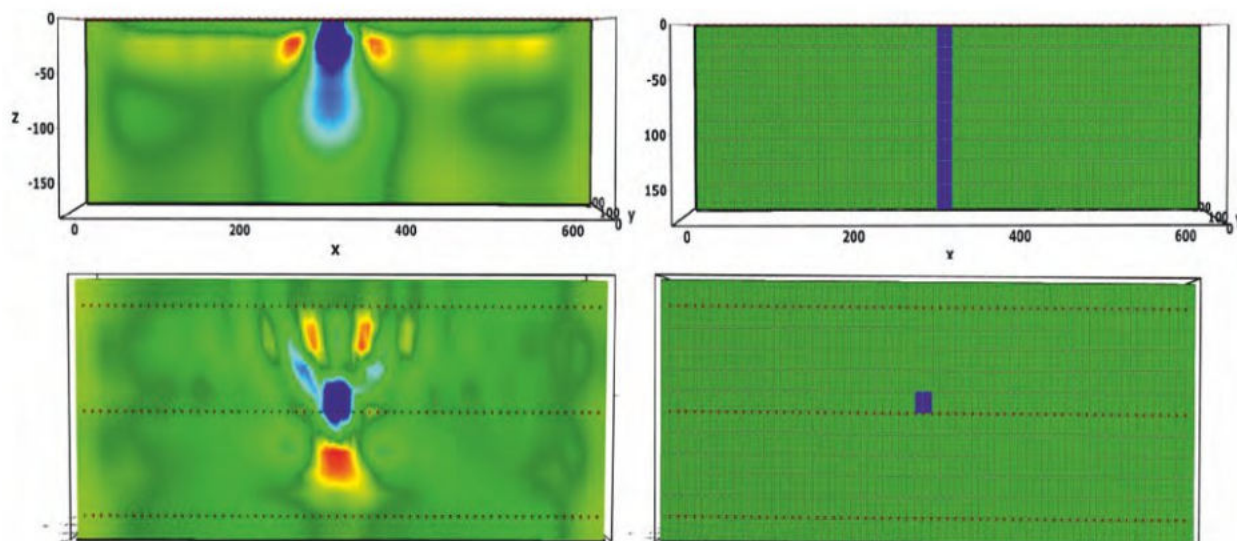
★ - месторождения алмазов с балансовыми запасами на 01.01.2014 г более 100 млн. карат

▲ Рис. 1. Схема размещения кимберлитовых тел в Далдыно-Алаки́тском алмазоносном районе [1].

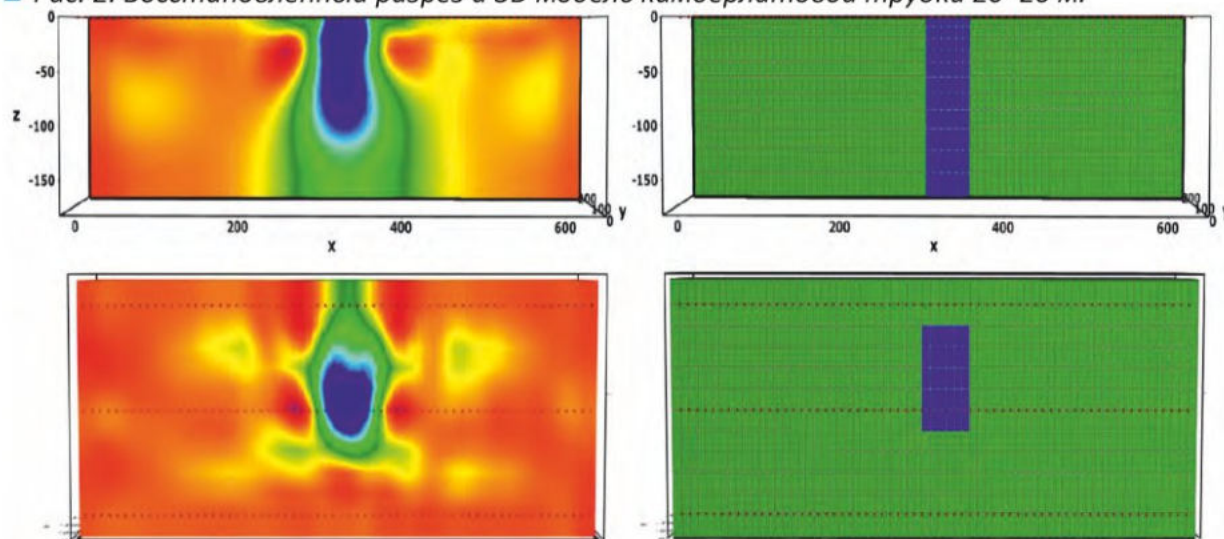
вокруг трубок во вмещающих породах развиты зоны интенсивной трещиноватости и дробления с образованием приконтактных карбонатных брекчий. Мощность зон дробления колеблется в пределах 0,2–5 м. Зачастую отмечаются зеркала скольжения. Приконтактные изменения вмещающих пород выражаются в их незначительной закалке, серпентинизации, кальцитизации и ожелезнении. Конфигурация кимберлитовых тел в вертикальном разрезе также довольно разнообразна и нередко характеризуется большой изменчивостью углов падения контактов с вмещаю-

щими породами, при этом пологое и наклонное падение подводящих каналов отмечается как в верхних частях, так и на глубине.

Перед началом работ проведено моделирование в программе Zondres3D. Модель измерения со 192 электродами: электроды расположены по профилю, на каждом профиле по 64 электрода, расстояние между электродами 10 м, между профилями 100 м. Кимберлитовые трубки преимущественно близвертикальные тела в форме трубки или столбообразные тела, вытянутые вдоль рудоконтролирующего разлома. В качес-



▲ Рис. 2. Восстановленный разрез и 3D модель кимберлитовой трубки 20*20 м.



▲ Рис. 3. Восстановленный разрез и 3D модель кимберлитовой трубки 60*100 м.

тве моделей были выбраны трубчатые тела размерами 20х20 м и вытянутое трубчатое тело с размерами 60*х100 м. Параметры геологической среды следующие: сопротивление вмещающих карбонатных отложений 1500 Ом*м, кимберлитов – 200 Ом*м. По результатам моделирования в открытом поле трубки выделяются уверенно. Пространственное положение и размеры трубок восстанавливаются с достаточно хорошей точностью (рис. 2 и 3).

Опытно-методические исследования проводились с помощью многоканальной аппаратуры «Скала64К15Е» с двумя

коммутаторами (СКАЛА64К15+), что позволило одновременно проводить исследования 192 электродами. Для оптимизации проведения полевых работ была спроектирована схема измерений из 3 параллельных профилей по 64 электрода (рис. 4). Расстояние между электродами составляло 10 м. В зависимости от размеров тел расстояние между профилями составляло 50 или 100 м. В программном комплексе Ertlab были созданы наиболее оптимальные протоколы измерения, включающие дипольную и трехэлектродную прямую и обратную установки.



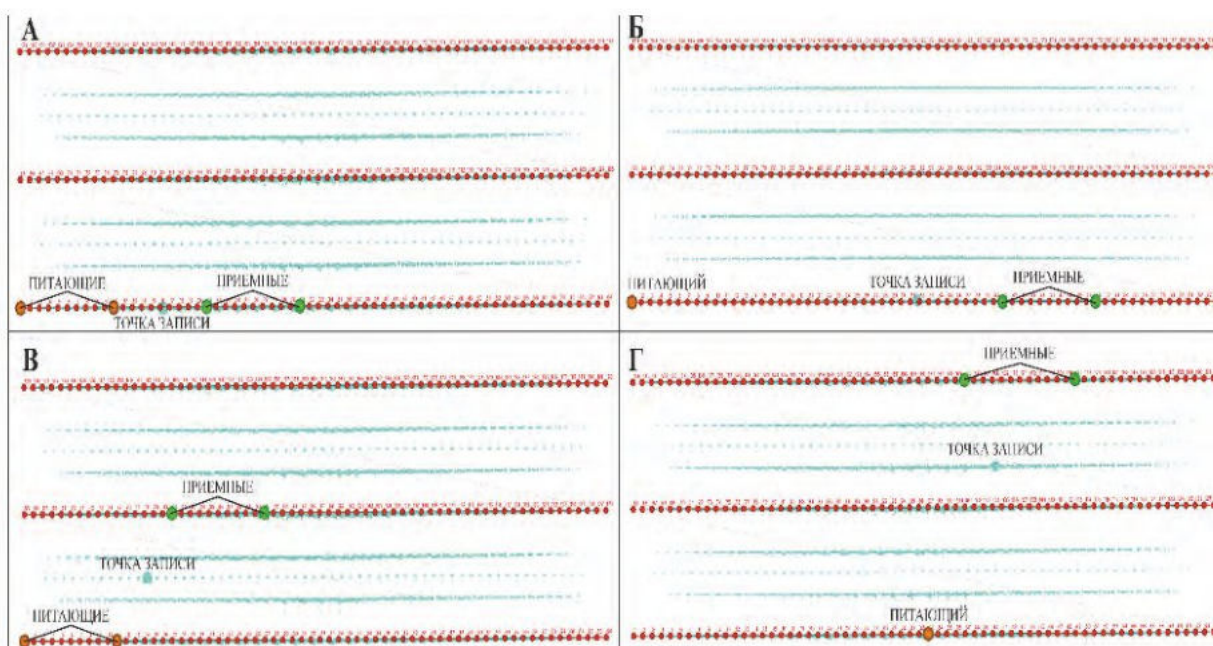
▲ Рис. 4. Схема расположения электродов такой-то установки.

Максимальный геометрический коэффициент составил 15000. Комбинирование трёхэлектродной и дипольной установок повышает итоговую разрешающую способность и повышает качество воспроизведения исходной модели относительно результатов индивидуальных инверсий [1]. Симметричная установка не была включена в протокол измерения из-за увеличения на порядок длительности измерения.

Единичное измерение включало

электроды, которые расположены как вдоль одного профиля, так и на разных профилях (рис. 5), что позволило провести полноценную 3D-электротомографию [2, 3]. Всего протокол измерения включал 13699 измерений, и с измерением параметра вызванной поляризации продолжительность съемки составила около 2.5 часов. В отличие от расположения электродов «змейкой», аппаратура СКАЛА64К15Е позволяет расположить электроды по вышеуказанной схеме,

▼ Рис. 5. Измерения дипольной установкой А – вдоль профиля, В – между профилями; Измерения трехэлектродной установкой Б – вдоль профиля, Г – между профилями.





▲ Рис. 6. Схема измерения планшетами.

которая обладает существенным преимуществом перед расположением электродов по традиционной схеме. Полученный протокол измерения позволил проводить измерения по регулярной сети.

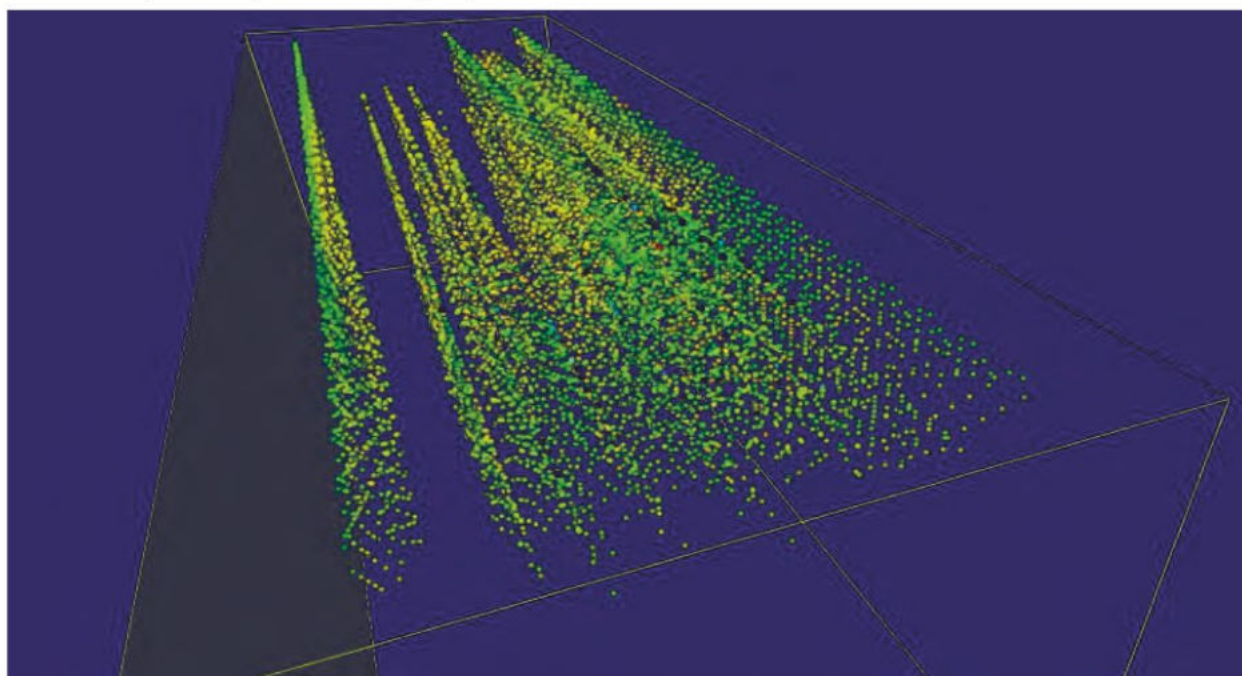
При проведении работ на участках размерами превышающими 630x200 м исследования проводились попланшетно (пример на рис. 6). При таких измерениях реализована схема измерения продолжа-

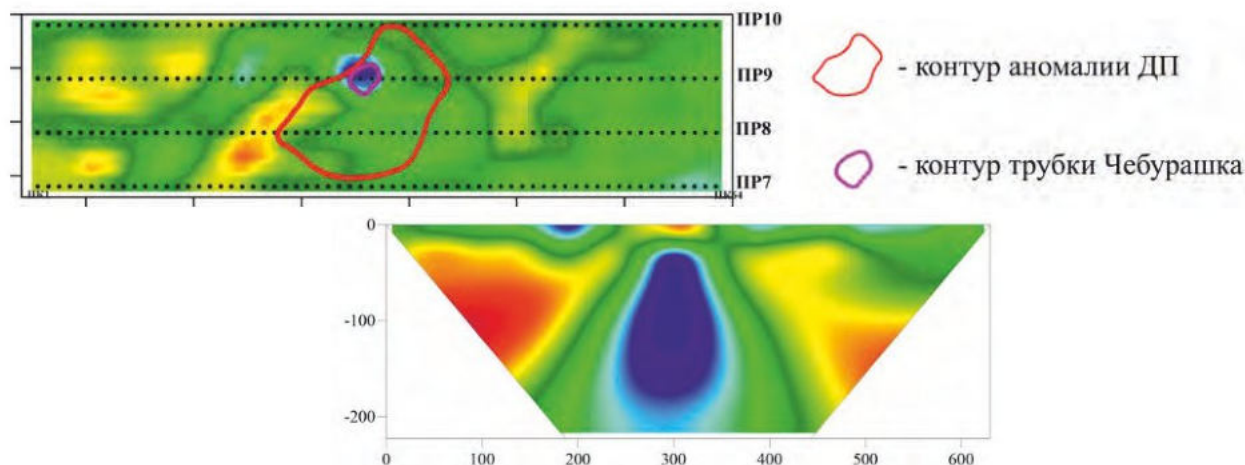
ющегося профиля. Благодаря такой схеме измерения площадь исследования полностью покрывается 3D-измерениями.

Полевые работы выполнены в период июль-август 2023 года. Первичная обработка проведена в программе Xeris (рис. 7), инверсия данных в программе ZondRes3D.

На трубке Чебурашка 3D-электротомография выполнена по четырем профилям длиной 630 м, расстояние

▼ Рис. 7. Просмотр данных в программе Xeris.





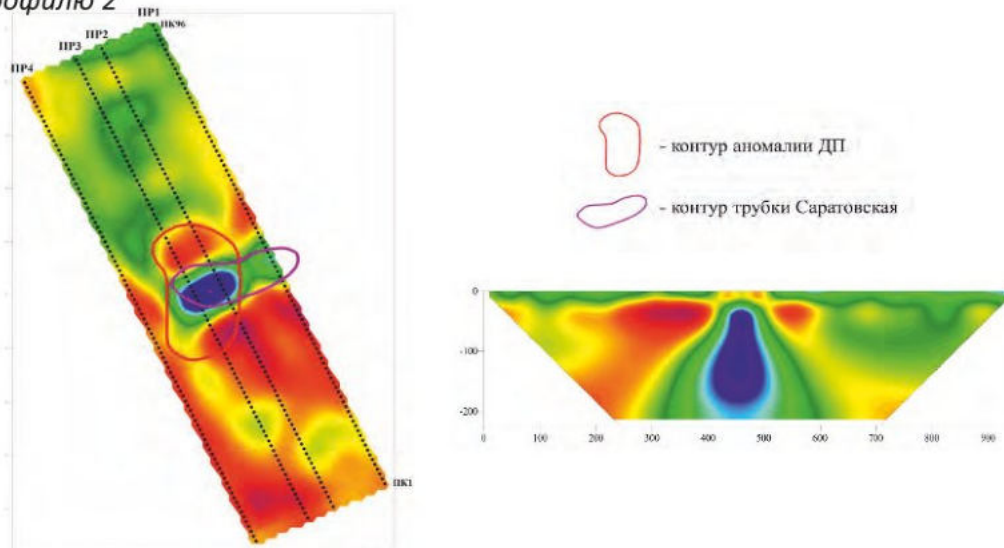
▲ Рис. 8. Результаты исследований на тр. Чебурашка: Срез на глубине 20 м и разрез по профилю 9.

между профилями 50 м (рис. 8). Всего выполнено два планшета: первый планшет – 1, 2 и 3 профили, второй планшет – 2, 3 и 4 профили. На срезах УЭС выделяется локальная относительно низкоомная аномалия (400–1000 Ом*м) при сопротивлении вмещающих пород до 17000 Ом*м. Размеры ее составляют 30х30 метров. На плане сопротивлений на глубине 20 метров контур аномалии совпадает с контуром кимберлитового тела Чебурашка, выделенного предшествующими работами и отмечается в центральной части профиля №9. С глуби-

ной аномалия расширяется до 100 м. Верхняя часть разреза обладает сопротивлениями до 500 Ом*м. Вмещающие карбонатные породы обладают сопротивлениями до 2500 Ом*м.

На трубке Саратовская исследования выполнялись по четырем профилям длиной 950 м (рис. 9). В целях оптимизации работ расстояние между профилями составило 50 и 100 м. Верхняя часть исследуемого участка проводящая, вмещающие карбонаты преимущественно высокоомные. По результатам инверсии уверенно выделяется вертикальная

▼ Рис. 9. Результаты исследований на тр. Саратовская: Срез на глубине 45 м и разрез по профилю 2



проводящая конусообразная аномалия. В верхней части аномалия имеет размеры 50х100 метров, с глубиной аномалия увеличивается до 80х150 метров. Характер аномалии полностью соответствует ранее проведенному моделированию кимберлитовой трубки в поле данных электротомографии для этого региона. Эпицентр аномалии расположен на профиле №2 ПК 46.

Заключение

Впервые в России проведена высокоплотная 3D-электротомография на кимберлитовых телах. По результатам проведенных исследований кимберлитовые трубки уверенно выделяются по данным 3D-электротомографии. Специалистами ВГРЭ разработана оптимальная методика проведения 3D-электротомографии, которая может применена при поисках рудных тел. Предлагаемая методика применима при детализационных работах и разбраковке аномалий перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок, выделенных площадными геофизическими методами (электропрофилирование, наземная магниторазведка, комплексная аэрогеофизическая съемка, аэромагниторазведка).

Литература:

1. Каргин, А. В. Закономерности пространственного распределения вещественных характеристик кимберлитов Далдыно-Алакитского района (Якутия) / А. В. Каргин, Ю. Ю. Голубева, В. А. Кононова // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. – Якутск : Издательство ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 68-75.
2. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения / Е. В. Балков, Г. Л. Панин, Ю. А. Манштейн [и др.]. – 2019.

3. Большаков, Д. К. Методика и технология получения трехмерных данных методом электротомографии / Д. К. Большаков, К. Д. Ефремов, И. Н. Модин // ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. – Тверь : ПолиПРЕСС, 2022. – С. 144-147.

4. Павлова, А. М. 3D-электротомография при исследованиях ледниковых отложений / А. М. Павлова, В. А. Шевнин // Геофизика. – 2013. – № 6. – С. 32-37.

Подробнее об авторах



Адаров
Тимофей Дмитриевич

Эксперт Экспертно-геологического центра Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)



Тихонова
Анастасия Васильевна

Ведущий геофизик
Экспертно-геологического центра Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)



Федоров
Денис Николаевич

Руководитель направления
Экспертно-геологического центра Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)



Гончаров
Евгений Михайлович

Начальник отдела
экспертизы и методологии
Управления минерально-сырьевой базы
АК «АЛРОСА» (ПАО)