



НАЗЕМНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ В РАЗЛИЧНЫХ ПОИСКОВЫХ ОБСТАНОВКАХ

Наземные геофизические работы при поисках кимберлитовых тел проводятся в целях оценки перспективности аномалий, выявленных аэрогеофизическими работами, и выбора мест заложения заверочных буровых скважин, а также на небольших поисковых площадях, где аэрогеофизические работы нецелесообразны по экономическим соображениям.

Основной сложившийся в мировой практике комплекс наземных геофизических методов включает магнитную съёмку, электроразведку в различных модификациях и в ряде случаев гравиразведку. Наиболее эффективны при поисках кимберлитов магниторазведка и электроразведка. В сложных поисковых обстановках из электроразведочных методов наиболее информативен метод переходных процессов.

Ключевые слова: геофизические методы, магниторазведка, электроразведка, кимберлиты.

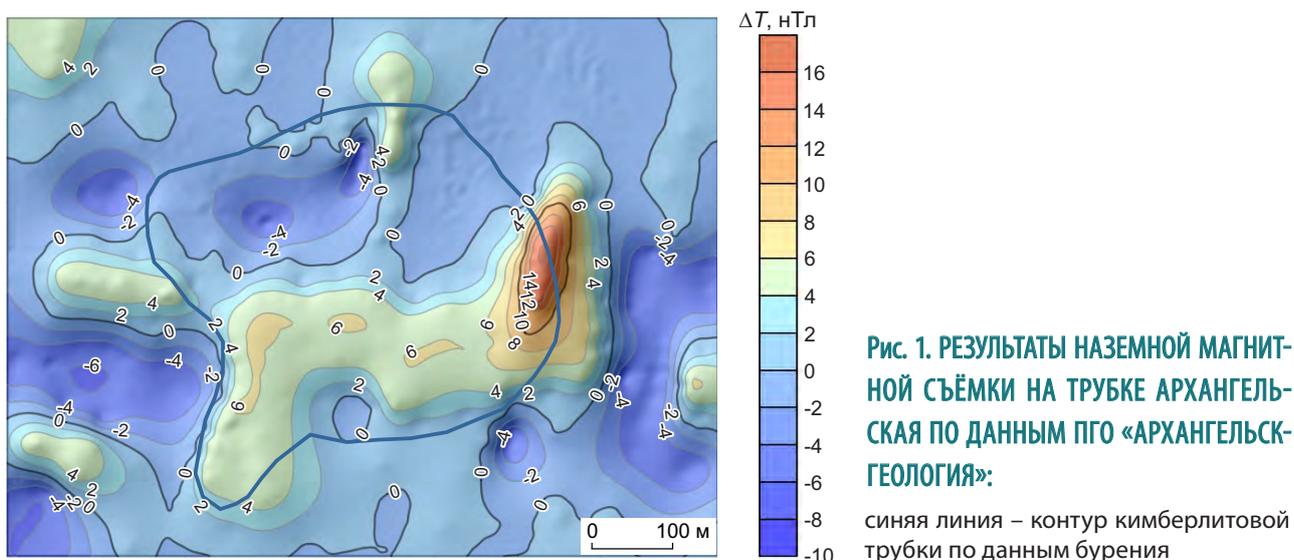
Данные геофизических методов используются на всех стадиях прогноза коренной алмазоносности, от регионального до среднemasштабного, и, конечно, непосредственно при поисках кимберлитовых тел. Современные технологии аэрогеофизической съёмки, применяемые в том числе и при поисках кимберлитов, позволяют обнаруживать малоамплитудные аномалии, а навигационные системы обеспечивают точную привязку точек наблюдений. В связи с этим многие компании утверждают, что выделенные аномалии не требуют заверки наземными геофизическими методами. На наш взгляд, это верно лишь отчасти. Подтверждения самого факта наличия аномалии, как правило, действительно не требуется. Но для выбора точек заложения заверочных буровых скважин данных аэросъёмки в большинстве случаев недостаточно и поэтому проводится наземная геофизика. Помимо заверки (детализации) аэрогеофизических аномалий, наземная геофизическая съёмка осуществляется как самостоятельный вид работ на небольших поисковых площадях, где проведение аэрогеофизики нецелесообразно по экономическим соображениям.

За период проведения алмазопроисковых работ, начиная с середины прошлого века, опробовались, наверное, все имеющиеся геофизические методы, но сложившийся к настоящему времени в мировой практике комплекс наземных геофизических работ в России и на Африканском континенте, где они ведутся наиболее активно, включает три основных метода – магнитную съёмку, электроразведку в различных модификациях и в ряде случаев гравиразведку.

Микоев Игорь Иванович

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
mikoyev@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



Ведущим методом считается магниторазведка. Однако при безусловно высоких показателях эффективности последней, особенно на первых стадиях поисков, по мере приобретения опыта работ в различных ситуациях проявились факторы, ограничивающие её возможности:

- не все кимберлитовые трубки отражаются в магнитном поле;
- локальными магнитными аномалиями, схожими с так называемыми «трубочными», могут выделяться многочисленные объекты-помехи иной, некимберлитовой, природы;
- в сложном магнитном поле, обусловленном трапповыми образованиями, или в случае площадного распространения обогащённых магнитными минералами терригенных пород выделение перспективных аномалий крайне затруднено или даже невозможно;
- в низких широтах, в частности, на Африканском континенте магнитные аномалии имеют биполярный характер, что нередко приводит к недостоверному определению положения предполагаемого объекта по данным только одной магниторазведки.

Наземная детализация аэромагнитных аномалий, призванная уточнить положение эпицентра, также не всегда даёт положительный результат, а иногда, напротив, только усложняет картину. Например, некоторые кимберлитовые трубки Золотницкого поля (Архангельская область) по данным аэромагнитной съёмки соответствуют положительным аномалиям магнитного поля «трубочно-

го» типа. Однако по результатам наземных работ контуры тела и, соответственно, точки заложения буровых скважин вряд ли могут быть определены (рис. 1). То есть магниторазведка в качестве единственного метода, как для поисков, так и для наземной заверки аномалий, недостаточно. Поэтому при проведении алмазопроисковых работ, в том числе наземных, дополнительно привлекаются другие геофизические методы, главным образом электроразведка. Наземная электроразведка в зависимости от условий может применяться в широком диапазоне методов и технологий.

В простых поисковых обстановках с успехом используются давно известные методы сопротивлений, чаще всего дипольное электрическое профилирование (ДЭП). В Далдынском поле (Якутия) в условиях маломощных перекрывающих отложений с помощью электроразведки методом ДЭП открыты многие кимберлитовые трубки.

При небольшой мощности перекрывающих отложений и контрастных физических свойствах кимберлитов на фоне вмещающих пород электроразведка методом сопротивлений вкуче с наземной магниторазведкой позволяет выделять не только кимберлит как таковой, но и его разновидности. В приведённом примере (рис. 2) (кимберлитовое тело Кимозеро, Карелия) применялась установка ДЭП всего А10В10М10Н, поскольку мощность перекрывающих четвертичных отложений не превышает здесь первых метров. Отметим, что углеродистый кимберлит по данным электроразведки отмечается весьма контрастной аномалией про-

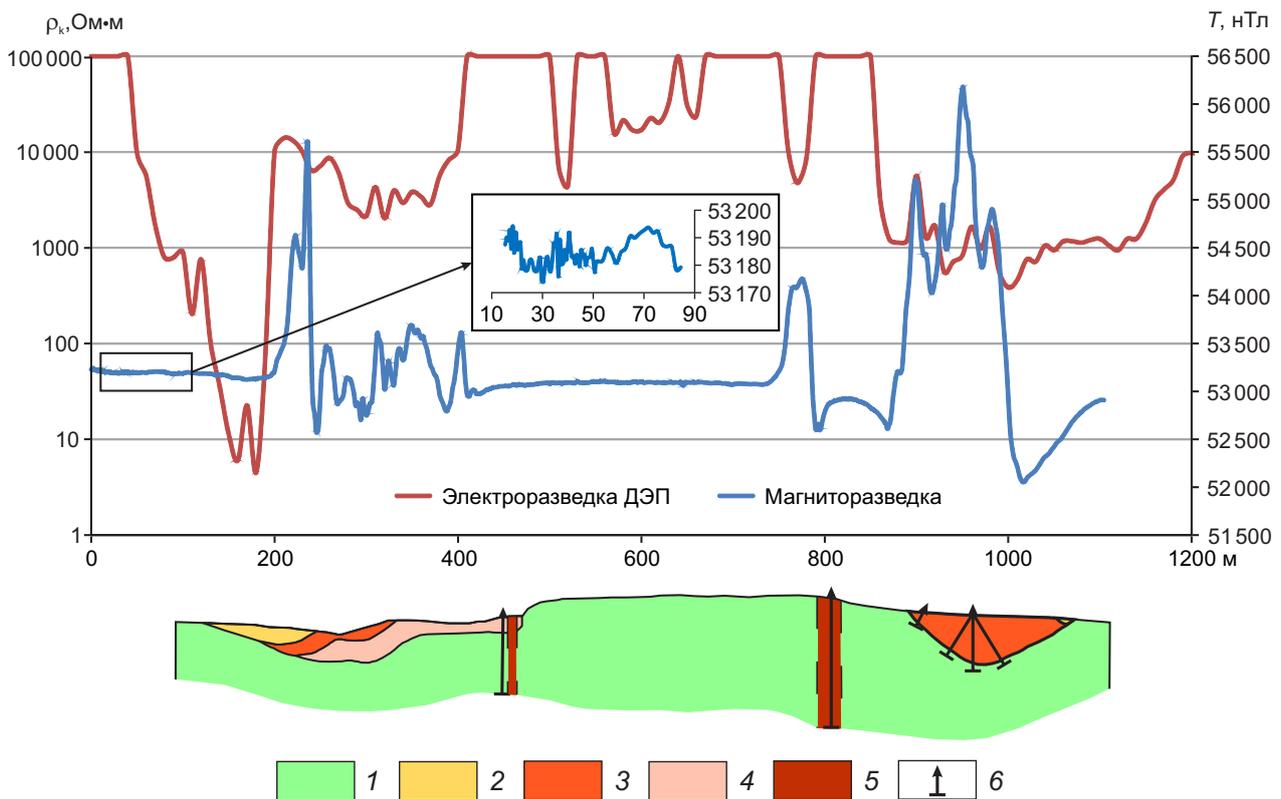


Рис. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА КИМБЕРЛИТОВОМ ТЕЛЕ КИМОЗЕРО (схематический геологический разрез, по данным В.В.Ушкова, 2005 г.):

1 – габбродолериты; 2 – углеродистые кимберлиты; 3 – магнетит-серпентин-тремолитовые («магнетитовые») кимберлиты; 4 – флогопит-карбонат-серпентиновые кимберлиты; 5 – диатремовые каналы: флогопит-серпентиновые порфировые слюдяные кимберлиты и кимберлитовые брекчии; 6 – буровые скважины

водимости (ПК 50–200), но по амплитуде магнитного поля он неотличим от долеритов. Однако по частотной характеристике магнитного поля, показанной на врезке, граница долерит-кимберлит отчётливо фиксируется в районе ПК 50. Этот эффект удалось зафиксировать с помощью магнитометра, работающего в квазинепрерывном режиме с цикличностью измерений не менее 1 с, что в среднем соответствует шагу съёмки около 1 м. Подчеркнём, что только комплекс методов позволил выделить все разновидности кимберлитов.

Кроме классической установки ДЭП с заземлением четырёх электродов, существует аппаратура, в которой используются ёмкостные незаземлённые линейные электроды, стелющиеся по земле, что особенно актуально при сложных условиях заземления. При практически идентичных результатах (рис. 3) использование стелющихся электродов даёт возможность вдвое сократить состав элек-

троразведочной бригады. По этой причине применение стелющихся электродов целесообразно и при хороших условиях заземления.

На Африканском континенте (Ботсвана, ЮАР) широкое распространение при алмазопроисловых работах получил метод дипольного индуктивного профилирования (ДИП), основанный на регистрации электромагнитного поля вихревых токов, создаваемого генераторным магнитным диполем в геологической среде. Наиболее известной аппаратурой, используемой для наземных работ методом ДИП, является EM-34-3XL производства Geonics Ltd., Canada. Измерения проводимости среды осуществляются дипольной установкой «генераторная катушка – приёмная катушка» на трёх частотах 0,4, 1,6 и 6,4 кГц и соответствующих им разносах (40, 20 и 10 м). Горизонтальное или вертикальное положение приёмной и генераторной катушек позволяет измерять соответственно вер-



Рис. 3. ДИПОЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ НА КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКЕ АМАКИНСКАЯ (ЯКУТИЯ, МИРНИНСКОЕ ПОЛЕ) С ЗАЗЕМЛЁННОЙ УСТАНОВКОЙ И СО СТЕЛЮЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ. АППАРАТУРА «ЭРА-В-ЗНАК»

тикальную или горизонтальную компоненты поля. Шкала приёмника оцифрована в значениях кажущейся проводимости σ мСим/м.

По данным производителя, глубина исследований с использованием аппаратуры EM-34-3XL составляет 0,75–1,5 разноса установки, т.е. значительно больше, чем при применении установки ДЭП – от 1/3 до 1/10 разноса в зависимости от условий. Меньшие разносы ДИП обеспечивают более высокое разрешение по горизонтали.

Метод ДИП с аппаратурой EM-34-3XL применяется известными компаниями De Beers и Petra Diamonds в основном при наземной заверке аэромагнитных аномалий или на небольших по площади поисковых участках. Результаты при этом получаются разные – от весьма убедительных до отрицательных, причём и то и другое иногда трудно объяснимо. Так, в открытом поле, когда перекрывающие пески имеют мощность всего 13 м, аномалия проводимости от трубки ожидаемо очень контрастная (рис. 4, а).

Другая трубка, расположенная в пределах того же кимберлитового поля, но перекрытая базальтами мощностью до 100 м и более, теоретически не должна фиксироваться по данным ДИП. Однако на практике аномалия выделяется вполне уве-

ренно (см. рис. 4, б) и даже точнее, чем магнитная съёмка, отображает реальные контуры тела, установленные бурением. Можно предположить, что в данном случае аномалия проводимости обусловлена не собственно кимберлитами, а перекрывающими их переработанными базальтами.

Следующая кимберлитовая трубка, изученная методом ДИП, имеет сложное строение. Выявлены три подводящих канала, по неподтверждённым данным объединяющихся ближе к поверхности. В северной части трубка перекрыта базальтами мощностью ~80 м, в центральной – кимберлиты прорывают базальты и перекрыты только песками мощностью 11 м. Тем не менее, даже эта часть трубки по данным ДИП не выделяется (рис. 5, а).

Значительно эффективнее проявил себя в этих условиях метод переходных процессов (МПП): кимберлитовое тело, как открытая его часть, так и перекрытая базальтами, выделяется контрастной аномалией проводимости (см. рис. 5, б). В Анголе он является основным геофизическим методом поисков. Здесь с его помощью открыты десятки кимберлитовых тел. При заверке аэрогеофизических аномалий (комплекс аэрогеофизики включает магнитную съёмку и аэровариант МПП) наземная магнитная съёмка практически не используется – только МПП.

Анализ данных аэро- и наземной геофизики показал, что в условиях Анголы электроразведка МПП по количеству обнаруженных кимберлитовых тел превосходит магниторазведку. Следует отметить, что в Анголе для применения электроразведки существуют весьма благоприятные условия. По Африканскому континенту в целом эффективность магниторазведки и электроразведки МПП близка: примерно одинаковое число трубок выделяется одним из этих методов и не выделяется другим. Конечно, МПП – более затратный метод, чем ДИП, но имеет ряд преимуществ:

- убедительные сравнительные результаты работ (см. рис. 5);
- МПП – это зондирование, позволяющее строить геоэлектрические разрезы (рис. 6);
- разработанные программы качественной и количественной интерпретации;
- глубинность МПП с размером петли 50x50 м достигает 200–250 м.

По поводу глубины исследований необходимо подчеркнуть, что для поисков кимберлитовых тел она – важный, даже необходимый, но не решаю-

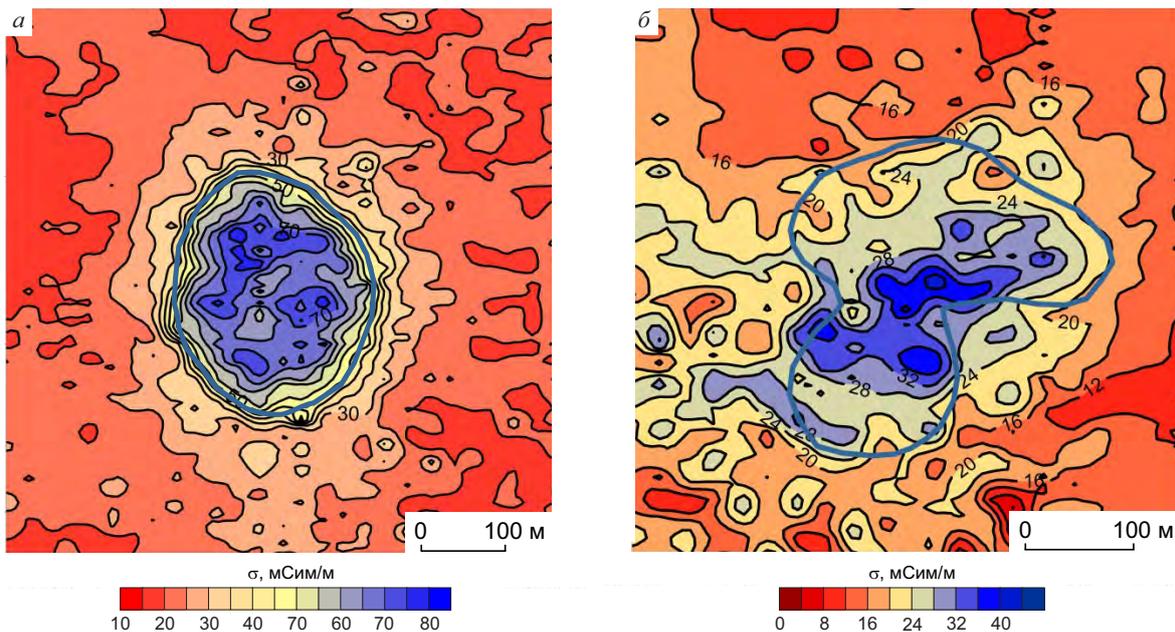


Рис. 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИПОЛЬНОГО ИНДУКТИВНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ С АППАРАТУРОЙ GEONICS EM-34-3XL НА ОТКРЫТОЙ (а) И ПЕРЕКРЫТОЙ БАЗАЛЬТАМИ (б) КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБКАХ (БОТСВАНА)

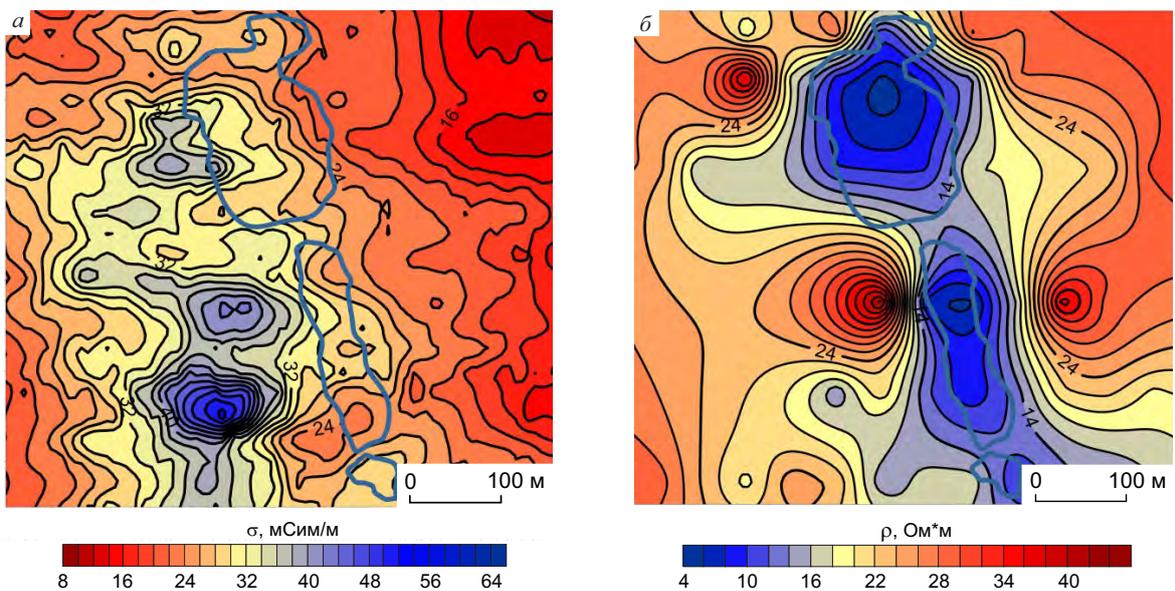


Рис. 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИПОЛЬНОГО ИНДУКТИВНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ С АППАРАТУРОЙ GEONICS EM-34-3XL (а) И МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С АППАРАТУРОЙ TEM-FAST 48 (б) НА КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКЕ, ЧАСТИЧНО ПЕРЕКРЫТОЙ БАЗАЛЬТАМИ (БОТСВАНА)

щий и далеко не единственный фактор. С одной стороны, существует так называемая область экономической целесообразности, ограниченная глубиной залегания кимберлитов не более 200 м, с другой – геологические (геоэлектрические) факто-

ры. Возможность выделения кимберлитовых тел геофизическими методами определяется, как известно, различием физических свойств кимберлитов и вмещающих пород. Данные геофизических исследований скважин, лабораторных и полевых

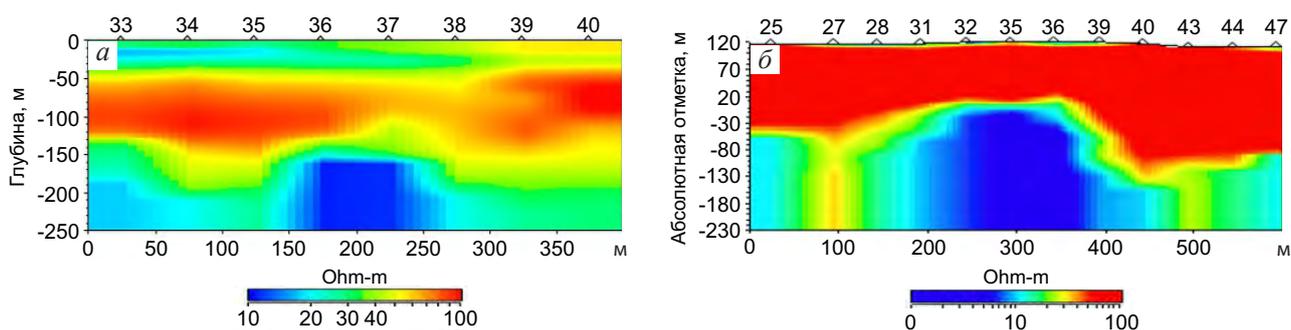


Рис. 6. ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПО ДАННЫМ МПП: АК10, БОТСВАНА (а) И ПИОНЕРСКАЯ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ (Н.А.Шрамков, 2008 г.) (б)

электроразведочных работ в Якутии, Архангельской области и на Африканском континенте свидетельствуют о том, что электрические свойства кимберлитов и их соотношение с вмещающими породами изменяются на разных горизонтах. Несмотря на различия, имеется и общая для всех регионов закономерность: максимальная контрастность по электрической проводимости между кимберлитами и вмещающими породами наблюдается в верхней части разреза и с глубиной она значительно ослабевает или полностью исчезает (рис. 7).

Кроме того, во всех известных нам районах с глубиной всё сильнее проявляется влияние водоносных горизонтов, что может снизить или полностью нивелировать различия электрических свойств кимберлитов и вмещающих пород. И, наконец, практически все кимберлитовые трубки представляют собой конус, сужающийся с глубиной, или воронку с раструбом у поверхности и тонким подводным каналом на глубине. Таким образом, на глубоких горизонтах не только слабая контрастность физических свойств кимберлитов на фоне вмещающих пород, но и малые размеры кимберлитовых тел значительно снижают возможности геофизики.

В связи с этим поисковые методы наземной и аэроэлектроразведки не имеет смысла ориентировать на глубины более 200–250 м. Но в интервале от поверхности до этих глубин должны быть обеспечены высокое пространственное разрешение и детальность исследований как по горизонтали, так и по вертикали. Глубина исследований при этом, естественно, должна уверенно превышать мощность перекрывающих отложений.

Данные гравиразведки широко используются при региональных и среднемасштабных работах,

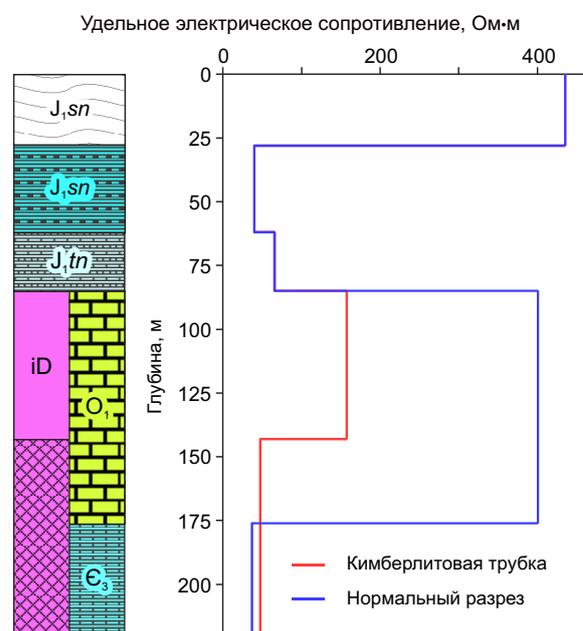


Рис. 7. ТИПИЧНАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ (iD) И НОРМАЛЬНОГО РАЗРЕЗА НА ПРИМЕРЕ ТРУБКИ БОТУОБИНСКАЯ, НАКЫНСКОЕ ПОЛЕ, ЯКУТИЯ

в том числе при прогнозировании коренной алмазоносности. Были попытки привлечь гравиразведку для детальных работ при поисках кимберлитовых трубок. Опытные работы на известных кимберлитовых трубках показали, что в некоторых случаях такая возможность существует, но в России метод не получил распространения отчасти вследствие трудоёмкости, отчасти из-за не всегда однозначных результатов.

На Африканском континенте, тем не менее, наземная гравиразведка традиционно применяется для разбраковки аэрогеофизических аномалий

компаниями De Beers и Petra Diamonds. Анализ имеющихся результатов показал, что в поле силы тяжести часть кимберлитовых тел отображается классическими отрицательными аномалиями, но нередко встречаются и положительные аномалии или тело в поле силы тяжести вообще не проявляется. Распространены также отрицательные аномалии, сходные по параметрам с аномалиями, соответствующими кимберлитам, но обусловленные иными причинами. То есть по данным наземной гравиразведки сложно сделать выводы о перспективности аномалии, и применение метода для прямых поисков кимберлитовых тел в качестве одного из основных нерационально.

Таким образом, наиболее эффективными геофизическими методами при поисках кимберлитов являются магниторазведка и электроразведка. В

сложных поисковых обстановках наиболее информативна электроразведка методом переходных процессов. При современном уровне аэромагнитной съёмки для наземной заверки выделенных аномалий в ряде случаев магниторазведку можно не проводить и ограничиться только электроразведкой.

Конечно, ряд компаний выполняют работы и другими методами (высокоразрешающая сейсморазведка, георадиолокация), а также многочисленными модификациями электроразведки. Но большинство из них либо находятся в стадии опытно-методических работ, весьма дороги и трудоёмки, либо показывают относительно неплохие результаты только на отдельных локальных площадях или даже на отдельных трубках и потому широкого применения не находят.

GROUND GEOPHYSICAL SURVEYS IN KIMBERLITE BODIES PROSPECTING: RESULTS AND EFFICIENCY IN VARIOUS PROSPECTING ENVIRONMENTS

I.I. Mikoev

(Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

Ground geophysical surveys in kimberlite bodies prospecting are carried out to evaluate prospects for anomalies identified by airborne geophysical surveys and select areas for confirmation drilling as well as at minor prospecting areas where airborne geophysical surveys are uneconomic.

The main, internationally adopted complex of ground geophysical methods includes magnetic survey, electrical prospecting of various types and, in some cases, gravity prospecting. Magnetic survey and electrical prospecting activities are most efficient in kimberlite prospecting. In complex prospecting environments, transient process method is most informative.

Keywords: geophysical methods, magnetic survey, electrical prospecting, kimberlites.