

УДК 553.81:550.83

© А.В.Манаков, А.В.Герасимчук, В.А.Матросов, 2006

СОВРЕМЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ НА АЛМАЗЫ

**А.В.Манаков, А.В.Герасимчук, В.А.Матросов (ЯНИГП ЦНИГРИ АК
«АЛРОСА»)**

В настоящее время вероятность открытия крупных месторождений в освоенных алмазоносных районах существенно уменьшается. Происходит изменение структуры балансовых запасов с относительным ростом категорий руд, предназначенных для подземной отработки. Акционерной компанией «АЛРОСА» в разработку все чаще вовлекаются более бедные по содержанию алмазов и запасам горной массы кимберлитовые трубки. В последующем алмазодобыча не будет компенсироваться восполнением за счет известных источников, поэтому открытие новых алмазных месторождений в ближайшие годы — актуальнейшая проблема. Соответственно, усиление геологоразведочных работ (ГРР) на алмазы является приоритетной задачей не только АК «АЛРОСА», но и на республиканском и федеральном уровнях.

По условиям ведения поисковых работ территория Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) делится на шесть типов, различающихся геологи-

ческим строением. Открытые территории провинции, исходя из опыта алмазопроисковок работ и учитывая, что все известные коренные месторождения, выходящие на поверхность, были выявлены в течение первых пяти лет (1955–1961 гг.) массовых геологоразведочных работ на алмазы, вряд ли могут представлять интерес с точки зрения обнаружения кимберлитовых тел, аналогичных известным высокопродуктивным месторождениям (мирнинский или далдыно-алакитский типы). Связано это с высокой степенью изученности открытых площадей, в пределах которых обнаружено абсолютное большинство кимберлитовых полей. В то же время на закрытых площадях, занимающих около 40% территории ЯАП, известны только Накынское и Алакит-Мархинское алмазоносные кимберлитовые поля. Данный факт дает основание прогнозировать на остающейся достаточно слабоизученной территории провинции (с учетом порога экономической целесообразности в 200 м занимает менее

240 тыс. км²) алмазонасные коренные источники. В данной ситуации возникает необходимость смещения основного объема поисковых работ на закрытые территории. При этом региональными работами, ориентированными на выделение новых кимберлитовых полей, необходимо полностью изучить доступную для опосредованного поиска закрытую часть территории провинции.

Поиски не выходящих на поверхность месторождений сопряжены со значительными затратами. Соответственно, постановка разномасштабных поисковых геологоразведочных работ в целях правильного и надежного выбора перспективных площадей на основе достаточно представительных и достоверных материалов имеет огромное практическое значение. Опыт и практика алмазопоско-вых работ на закрытых территориях показывают, что одних минералогических данных для надежного прогнозирования и открытия новых месторождений не хватает. Малые объемы шлиховых проб из скважин колонкового бурения, а также переотложенный характер ореолов рассеяния кимберлитовых минералов или вообще их отсутствие снижают возможности шлихоминералогического метода поисков в данной обстановке. Получение более полной информации об объектах поисков требует расширения уже наработанных прогнозно-поисковых факторов и формирования усовершенствованного, научно обоснованного, эффективного комплекса методов. В частности, возрастает роль поисково-картировочного бурения, а также геофизических методов.

Бурение поисковых скважин в пределах перспективных участков, выделенных по комплексу геолого-геофизических предпосылок и шлихоминералогических признаков, должно ориентироваться на прямое подсечение кимберлитового тела, а также на обеспечение применения межскважинных геофизических методов поисков. Из геофизических методов на первый план выдвигаются такие, которые позволяют расшифровать признаки кимберлитового тела с поверхности (гравимагнитные исследования, электроразведка, сейсмические) или в межскважинном пространстве (радиоволновое просвечивание, комплекс геофизических исследований скважин).

Важная задача при поисках кимберлитовых тел на закрытых площадях — дальнейшее развитие аэрогеофизических поисковых методов. Результаты работ последних лет НПО «Аэрогеофизика», геофизических подразделений Амакинской и Ботуобинской экспедиций АК «АЛРОСА» показывают, что современное состояние аэрогеофизических методов (магнито- и электроразведочных) позволяет пе-

рейти к разработке и использованию специальных целевых аэрогеофизических прогнозно-поисковых технологий. Эти технологии необходимо ориентировать на решение конкретных прикладных задач с максимально возможной экономической эффективностью применительно к конкретному району работ, его геолого-геофизической изученности, геолого-экономической и ландшафтно-геологической обстановкам. Ориентация технологии на достижение заданной цели в каждом конкретном случае должна обеспечиваться:

целевым выбором необходимой этапности работ, методов и модификаций, точности наблюдений, масштабов и высот съемок;

целевой методикой обработки и представления информации, набором необходимых дополнительных данных;

целевой технологической схемой общей и прогнозной интерпретации полученной информации.

Аэрогеофизическая съемка может применяться на всех стадиях геологоразведочных работ, но, учитывая изученность, в настоящее время предпочтительнее детальные поисковые работы м-ба 1:5000–1:10 000, ведущиеся для выявления локальных аномалий «трубочного типа». Она включает аэромагниторазведку, в опытно-методическом плане проходит апробацию аэроэлектроразведка. При аэромагнитной съемке используются магнитометры «Аэромастер» с цезиевыми датчиками в выпускной гондоле, буксируемой на высоте около 50 м. Применяется активное самолетовождение с системой GPS/GLONASS, обеспечивающей возможность проведения дифференциальной коррекции, привязку маршрутов с высокой точностью. Поправки за вариации берутся с базовых станций, расположенных на участках работ. Точность съемок оценивается по секущим и повторным маршрутам и составляет соответственно 1–2 и 0,5–0,7 нТл.

Для каждой стадии геологоразведочных работ на алмазы, исключая стадию оценочно-разведочных работ, предложены рациональные схемы поисков, определен комплекс и масштабы исследований [4, 8]. Вместе с тем, нынешние реальные поисковые ситуации оказались сложнее. Многие индикационные характеристики поисковых объектов слабо изучены, часто оцениваются субъективно, а также осложнены влиянием многочисленных помех геологического характера. Поэтому совершенствование и разработка новых комплексных прогнозно-поисковых моделей алмазонасных объектов, критериев и методов их обнаружения, в том числе геофизических, продолжает оставаться одним из приоритетных направлений в алмазной геологии. В этой

связи рассмотрим некоторые аспекты совершенствования комплекса геофизических методов при прогнозно-поисковых исследованиях в алмазной геологии на среднемасштабной и детальной стадиях геологоразведочных работ.

На среднемасштабной стадии прогнозно-поисковых работ основная задача геофизических исследований — выявление прогнозно-поисковых факторов кимберлитовых полей. Среди них в настоящее время предпочтение отдается глубинным геофизическим критериям, контролирующим кимберлитовый магматизм. Ведущими методами служат магниторазведка, гравиразведка, сейсмические и магнитотеллурические исследования. Среднемасштабные магнитные и гравиметрические съемки к настоящему моменту проведены на большинстве перспективных территорий, и прогнозные построения совершенствуются на основе способов количественной переинтерпретации данных, геофизического моделирования. Особое место занимают глубинные геофизические исследования методом региональной сейсморазведки МОВ-ОГТ и электромагнитные наблюдения методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ).

Планомерные глубинные исследования (ГСЗ) в Западной Якутии были проведены в 1980–1995 гг. Основной объем работ выполнен методикой площадных зондирований в сочетании с профильными наблюдениями. Использовалась шестиканальная телеуправляемая аппаратура «Тайга» с магнитной аналоговой записью. Данные обрабатывались на основе приближенных методов решения обратных задач. Эти исследования позволили В.Д.Суворову [10] установить ряд особенностей глубинного строения алмазоносных районов центральной части ЯАП. К ним относятся: приуроченность проявлений кимберлитов к депрессии поверхности Мохо, сопряженной с антиклинальным поведением внутрикоровых границ; наличие высокоскоростной сейсмической неоднородности на границе Мохо; потеря корреляции отраженных волн; аномальное повышение коэффициента Пуассона и эффективного поглощения упругих волн на нижних горизонтах земной коры. Однако локальных аномалий, типичных для всех кимберлитовых полей, в то время выявить не удалось. Оцифровка сейсмограмм и их переработка совместно с гравитационными материалами на основе современных компьютерных технологий существенно повысили информативность и достоверность новых сейсмоплотностных моделей земной коры [11]. Установлено, что кимберлитовые поля приурочиваются к субвертикальным зонам скоростных неоднородностей размерами 50–70 км, которые характеризуются аномалиями

ми пониженных скоростей (плотностей) в верхней коре и повышенных — в нижней (рис. 1). Полученные новые данные позволят более четко локализовать перспективные участки.

В ЯАП также проведено изучение структуры кристаллической коры методом отраженных волн в варианте глубинного ОГТ [1, 3]. Для генерации упругих колебаний применялись взрывы в заглубленных скважинах. Оптимальность условий приема достигалась путем группирования сейсмоприемников на продольной базе, которая рассчитывалась на основе анализа кинематических и динамических характеристик полевых записей. Длительность регистрации составляла 12–18 с. На мигрированных глубинных разрезах поля рассеянных волн (рис. 2) отчетливо видна повышенная сейсмическая слоенность земной коры на участках Мирнинского, Далдынского и Накынского кимберлитовых полей. На глубине 30–40 км выделяются субгоризонтальные зоны относительно высокоскоростных среднемасштабных неоднородностей, соответствующие переходному слою кора-мантия. Непосредственно под кимберлитовыми полями наблюдаются субвертикальные аномалии гетерогенного типа [1].

Высокая сейсмическая контрастность трансформированных зон с высоким поглощением энергии, вероятно, связана с наличием большого числа неоднородных включений и трещиноватых пород, различающихся по упругим характеристикам. Предполагается, что консолидированная земная кора на участках проявления глубинного магматизма могла быть преобразована в процессе тектономагматической активизации, сопровождающей продвижение кимберлитовых магм. Под влиянием флюидно-магматической системы с повышенными термодинамическими параметрами сформировались гетерогенные субвертикальные зоны с неравномерным распределением вещества и вариациями физических свойств. Неоднородности, обусловленные фазовыми изменениями вещества под воздействием температур, давлений и магматических флюидов, определяют строение кристаллической коры. Такие участки характеризуются повышенной перспективностью на обнаружение проявлений кимберлитового магматизма.

Работы с применением магнитотеллурического метода, выполненные у нас и за рубежом в течение последнего десятилетия, показали, что процессы, предшествующие, сопровождающие или проявившиеся при становлении и развитии эндогенной рудообразующей системы, могут фиксироваться электромагнитными зондированиями и отражаться в геоэлектрическом разрезе в виде геоэлектрических неоднородностей [5]. Таким образом, дифференциация земных недр по электропроводности и

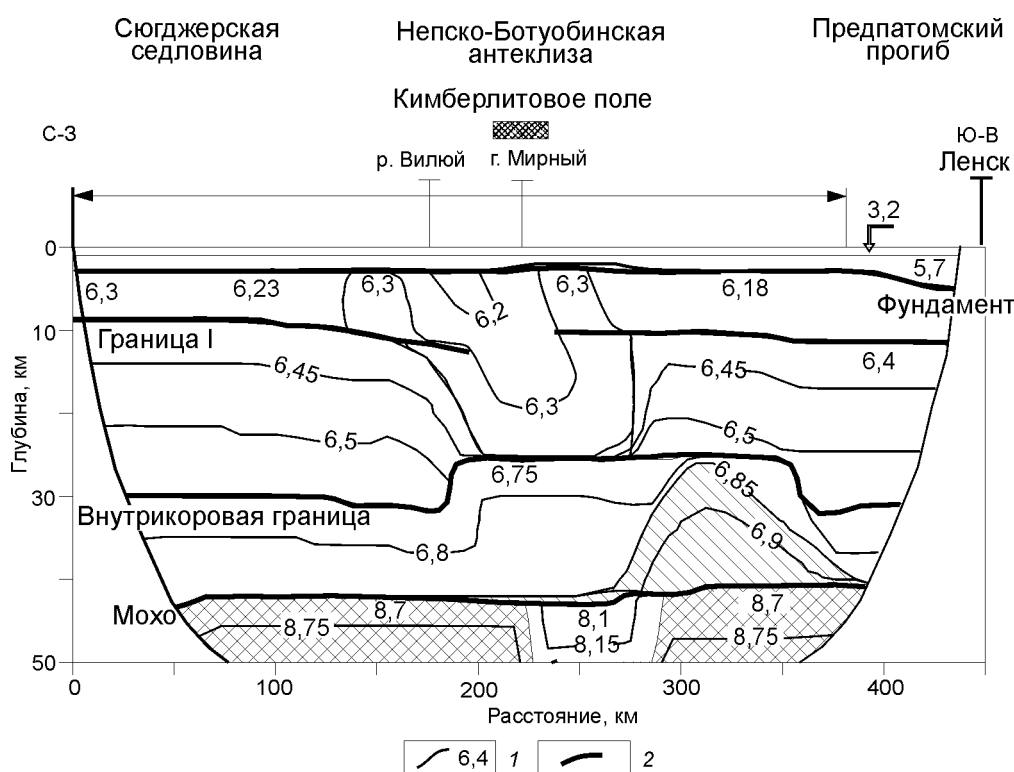


Рис. 1. Сейсмический разрез земной коры через Мирнинское кимберлитовое поле, по В.Д.Суворову, 2005:

1 — изолинии скорости, км/с; 2 — сейсмические границы, штриховые — по данным площадных наблюдений

связь эндогенного оруденения с определенным сочетанием глубинных электрических неоднородностей составляют основу для изучения глубинного строения и физического состояния земной коры и верхней мантии магнитотеллурическими зондированиями.

Для выполнения работ методом МТЗ в АК «АЛРОСА» используется современная аппаратура МТУ-2,5 канадской фирмы «Феникс». Прибор — легкий, герметичный, с 24-битным автономным устройством, низким энергопотреблением. Разработан для сбора электроразведочных данных в сложных полевых условиях [6]. Все устройства в системе синхронизированы сигналом от GPS спутников. Прибор поддерживает от одного до пяти каналов (два электрических и три магнитных). Данные сохраняются на сменной флэш-карте. Питание аппаратуры осуществляется от внешней аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Аппаратура может работать при температуре от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$. Программное обеспечение включает два блока: программы управления работой станций и предварительной обработки полученных данных и программы интерпретации с 1D и 2D моделированием. Измерение вариаций МТ-поля проводится в частот-

ном диапазоне 0,003–5000 с.

В результате проведенных исследований составлено представление о геоэлектрическом разрезе осадочного чехла, земной коры и верхней мантии Малоботубинского и Зимнебережного алмазоносных районов [6, 7]. Установлено наличие мощной (более 200 км) литосферы. Алмазоносные районы пространственно совмещаются с высокоомными блоками земной коры, а сквозные проводящие неоднородности в их пределах, связанные с внутрикоровыми и мантийными проводниками, контролируют кимберлитовые поля и кусты кимберлитовых трубок (рис. 3). Проводящие геоэлектрические неоднородности также совпадают с вышеотмеченными трансковровыми аномалиями поля рассеянных волн.

На стадии детальных поисковых работ ведущим геофизическим методом по-прежнему остается магниторазведка. Как известно, с помощью наземной магниторазведки в Мирнинском и Накынском кимберлитовых полях открыты четыре алмазоносные трубки: им. 23 съезда КПСС, Интернациональная, Дачная и Нюрбинская. Поисковая магнитная съемка проводится в м-бах 1:2000–1:5000 по предварительно подготовленной сети. Применяют-

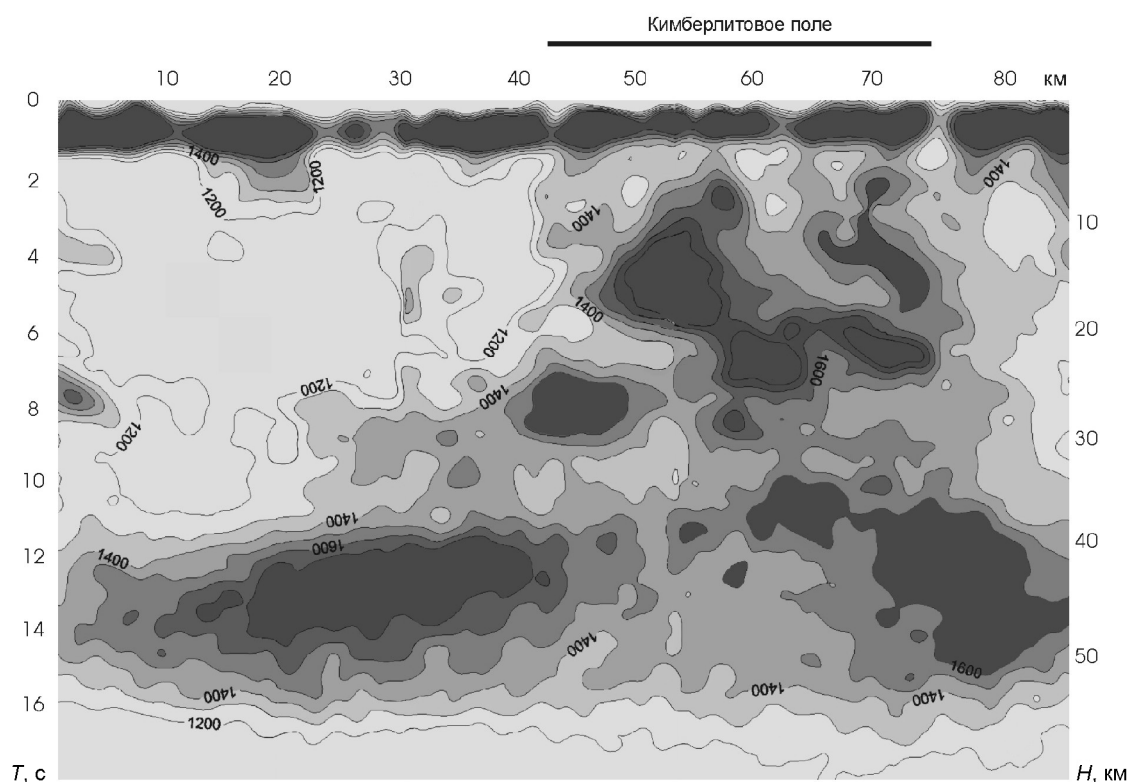


Рис. 2. Мигрированный разрез изоамплитуд рассеянных волн через Далдынское кимберлитовое поле, по Я.Я.Биезайсу, 2005

ся современные магнитометры G-858, GSM-19 с чувствительностью 0,02 нТл. Точность съемки менее 1 нТл. Для заверки выделяются аномалии в спокойном поле интенсивностью более 3 нТл.

В небольших объемах для поисков кимберлитовых трубок используется детальная гравиразведка по сети (25–50)×50 м. Применяются гравиметры LaCoste&Romberg. Среднеквадратическая погрешность определения значений поля силы тяжести обычно составляет 0,03 мгал. Трубочные тела выделяются отрицательными аномалиями гравитационного поля интенсивностью 0,05–0,3 мгал.

Сильно выветрелые верхние части кимберлитовых трубок слабо магнитны или не магнитны. Это затрудняет их локализацию в материалах магнитной съемки. Вместе с тем, коры выветривания кимберлитов и сами кимберлиты, как правило, имеют пониженное электрическое сопротивление и повышенную поляризуемость [2], что создает хорошие предпосылки для применения электроразведки. В геологоразведочных предприятиях АК «АЛРОСА» в настоящее время для поисков кимберлитовых тел используются методы сопротивлений, главным образом в модификации дипольного электропрофили-

рования, и импульсная индуктивная электроразведка методом зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБ), которые дополняют друг друга. Электроразведка методом сопротивлений наиболее эффективна в условиях перекрывающих пород мощностью до 20 м, а индуктивные методы характеризуются, вследствие низкого поглощения электромагнитного поля, повышенной глубиной исследований в условиях перекрывающих и вмещающих пород с высоким сопротивлением.

Широкое применение на площадях I и II типов получил БИЭП — метод бесконтактного электропрофилеирования с аппаратурой «ЭРА», основанный на измерении при частоте 625 Гц составляющих электрического поля с помощью незаземленной приемной линии, расположенной вблизи земной поверхности. Отсутствие заземляющих электродов позволяет работать при широком развитии осыпей и в зимних условиях. Сеть наблюдений обычно детальная. Метод прост, производителен, позволяет работать сокращенным составом бригады.

Метод переходных процессов в модификации ЗСБ с аппаратурой Цикл-5, смонтированной на вездеходной технике, применяется на площадях, пе-

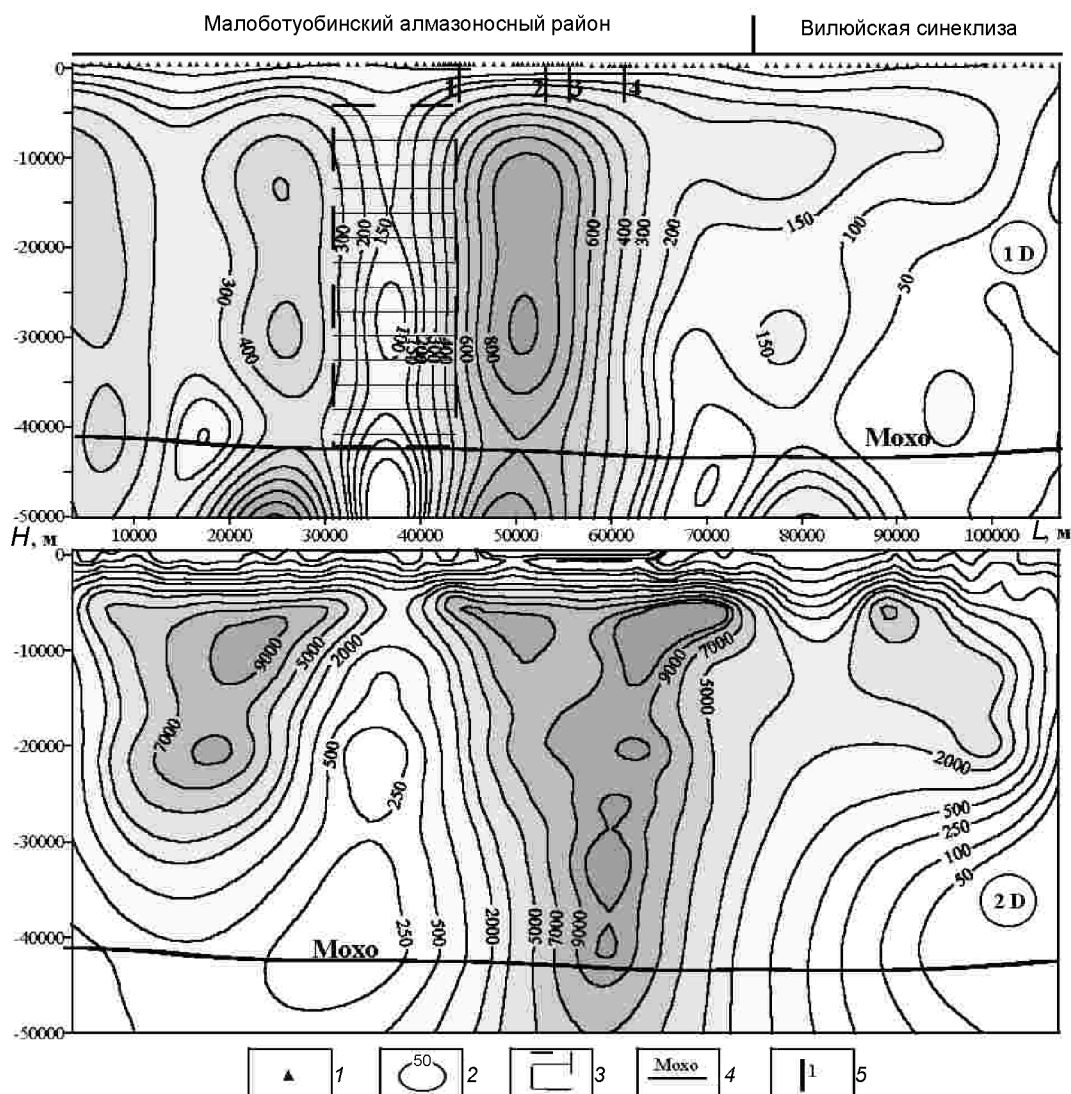


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по результатам 1D и 2D-инверсий продольных кривых МТЗ, Малоутубинский алмазоносный район:

1 — пункты МТ-зондирования; 2 — изолинии сопротивлений; 3 — зона расслоенности земной коры по данным ОГТ; 4 — граница Мохорвичича по данным ГСЗ; 5 — разломы Вилюйско-Мархинской системы: 1 — Западный, 2 — Параллельный, 3 — Центральный, 4 — Восточный

рекрытых терригенными отложениями и траппами мощностью 30–100 м. Работы проводятся соосными установками 100×100 и 200×200 м. Плотность наблюдений соответствует размеру петли. Однако существует ряд ограничений. Проведение электроразведочных работ методом ЗСБ с соосными установками, направленных на прямой поиск кимберлитовых тел, в условиях проводящих разрезов целесообразно только при мощности перекрывающих отложений не более 50 м. При большей мощности

электроразведочные работы должны быть направлены на выявление косвенных критериев кимберлитовых тел, таких как локальные поднятия кровли межмерзлотного талика, а также понижение удельного электрического сопротивления пород, вмещающих талик [9]. Высокоомная перекрывающая среда (траппы) более благоприятна для проведения работ. Другим ограничением является интенсивное влияние индуктивной вызванной поляризации (ВПИ) на процессы становления электромагнитно-

го поля. Для уменьшения искажающего влияния ВПИ необходимо увеличивать размер генераторной петли или проводить измерения разнесенными установками. Интенсивность ВПИ уменьшается при удалении приемной рамки от центральной части генераторной петли более чем на 100 м.

Одним из новых методов, позволяющих ослабить влияние вызванной поляризации на индукционные переходные процессы, является площадное зондирование становлением поля с закрепленным источником [12]. Снижение влияния ВПИ с увеличением размера генераторного контура связывается с уменьшением плотности тока, индуцированного при становлении в близповерхностной ближней зоне, а также с применением в методе разнесенных установок. Работы в этом направлении ведутся ЯНИГП ЦНИГРИ совместно с ООО «Сибгеотех» (г. Новосибирск) в течение нескольких последних лет. При проведении работ применялась новая телеметрическая электроразведочная станция «Импульс-Д». Она отличается новой архитектурой, меньшими массой и габаритами, улучшенными техническими характеристиками. Съёмка осуществляется в пешеходном варианте по плотной сети наблюдений. В качестве генераторного контура ис-

пользуется незаземленная квадратная петля размерами сотни метров. Измерения выполняются регистратором с использованием переносных электромагнитных датчиков. Обработка и интерпретация данных производится с использованием методики разделения полей на нормальную и аномальную составляющие, а также аппроксимационных моделей, позволяющих реконструировать площадное распределение сигнала в объемное распределение проводимости среды. Такая технология обеспечивает возможность одновременной работы неограниченного количества измерителей от одного генератора и обладает большой производительностью. Высокая плотность наблюдений позволяет опосредованно выделять площадь с хорошим разрешением, что обеспечивает уверенное выделение локальных объектов размерами 100–200 м. Наилучшие результаты получаются в разрезах, перекрытых траппами. Аномалии от трубок уверенно выделяются при любом расположении их относительно генераторной петли — как внутри, так и за ее пределами (рис. 4).

Совместно с ООО «Северо-Запад» (г. Москва) и лабораторией электромагнитных методов НИИЗК СПбГУ нами проводились работы по опробованию метода аудиоманнитотеллурических зондирований

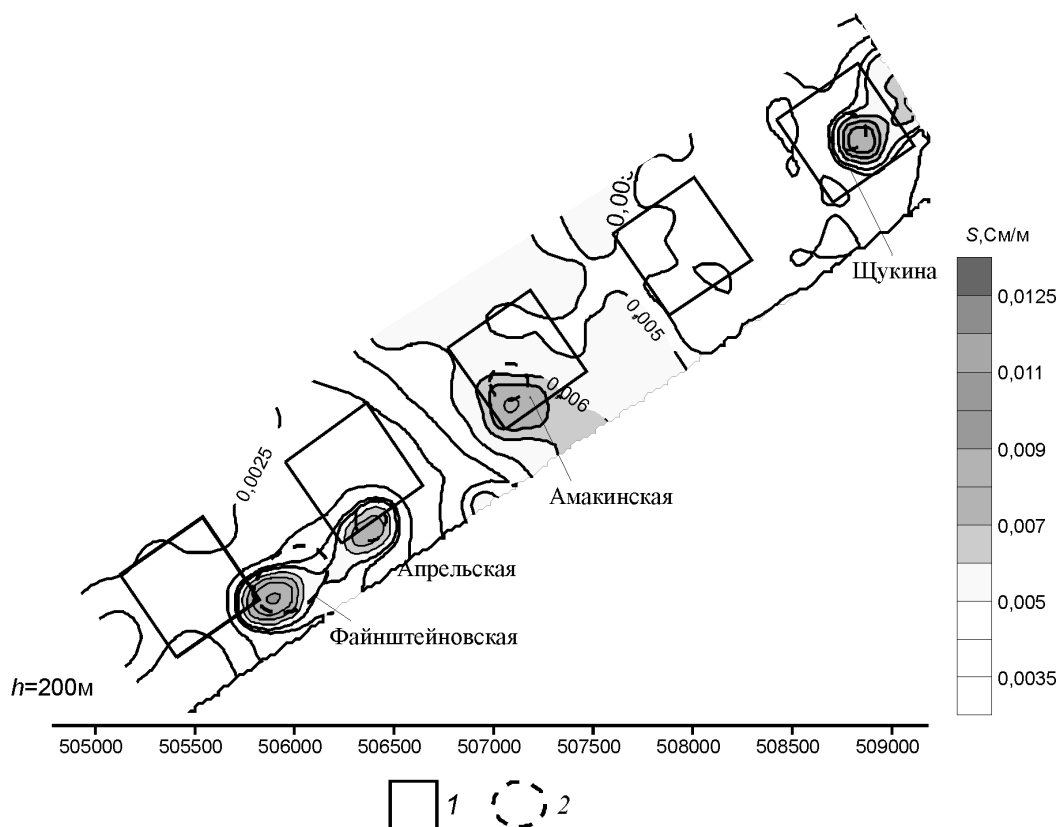


Рис. 4. План распределения проводимости на глубине 200 м по данным ПЗС ЗИ, полигон АмГРЭ:

1 — положение генераторных петель; 2 — кимберлитовые трубки

в целях оценки возможностей его применения для поисков трубок взрыва. Использовались аппаратные комплексы MTU-5A компании Phoenix Geophysics с частотным диапазоном 1–10 000 Гц и АКФ-4 (разработка НИИ земной коры Санкт-Петербургского государственного университета). На картах кажущихся сопротивлений трубки выделяются пониженными значениями [7]. Амплитудные полярные диаграммы имеют радиальную ориентировку длинных осей по отношению к центру аномалии сопротивления. Вещественные индукционные вектора закономерно ориентированы в направлении от центра трубок. Исследования показали возможность применения данного метода при поисковых работах на алмазы.

Существенное место в поисковом комплексе занимает сейсморазведка МОГТ и МПВ в высокочастотном варианте, решающая две задачи: поиски перекрытых кимберлитовых тел и картирование вмещающей толщи. Работы проводятся по профилям через 400–800 м. Реализована методика просвечивания вмещающей среды отраженными и преломленными волнами. Трубки, как гетерогенные объекты в горизонтально-слоистой толще карбонатных пород, рассеивают сейсмические волны и создают в поле отраженных волн локальные динамические аномалии. Работы ведутся с использованием сейсмостанций BISON 9048A и ИНТРОМАРИН-L2 (кратность 6, источник возбуждения — взрывы в скважинах). Обработка сейсморазведочных материалов производится в системе FOCUS 2D на базе рабочей станции SUN.

Поисковое бурение в обязательном порядке сопровождается геофизическими методами исследования скважин (ГИС), а в условиях разряженной сети — радиоволновым просвечиванием. В комплекс ГИС входят: гамма-, спектрометрический, магнитный, электромагнитный каротажи и каротаж магнитной восприимчивости. Проведение их позволяет выявлять аномальные интервалы вмещающих пород и способствует объяснению природы наземных геофизических аномалий. Сочетание определенных параметров по данным спектрометрии, а также наличие боковых и призабойных аномалий позволяют прогнозировать погребенные кимберлитовые тела в околоскважинном пространстве.

Радиоволновое просвечивание проводится для опознания межскважинного пространства и позволяет уменьшить объемы поискового бурения. Серийно выпускаемой аппаратуры в настоящее время не существует. Чаще всего используются постоянно модифицирующиеся комплекты РВГИ и РПД. Наиболее используемые частоты 625 и 312 кГц. Дальность просвечивания зависит от геологической ситу-

ации и достигает первых сотен метров.

В заключение можно отметить, что техническое перевооружение геофизической службы АК «АЛРОСА», закупка современной цифровой аппаратуры и программного обеспечения позволили ликвидировать технологический разрыв с зарубежными компаниями. Применяющиеся геофизические методы позволяют решать поисковые задачи. Новые более сложные задачи требуют опытно-методического опробования новой техники и ее внедрения, что невозможно без существенных материальных затрат и высококвалифицированной технической подготовки специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биезайс Я.Я., Караев Н.А., Лебедин П.А. Региональная сейсморазведка МОВ-ОГТ при решении прогнозно-поисковых задач на алмазы // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1111–1123.
2. Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
3. Манаков А.В., Романов Н.Н., Полтарацкая О.Л. Кимберлитовые поля Якутии. — Воронеж: Изд. ВГУ, 2000.
4. Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989.
5. Поспеева Е.В., Поспеев В.И. Результаты глубинных магнитотеллурических исследований в Якутской алмазоносной провинции // Обеспечение научно-технического прогресса при геофизических исследованиях в Восточной Сибири. Иркутск, 1987. С. 107–115.
6. Поспеева Е.В., Манаков А.В., Матросов В.А. Геоэлектрическая неоднородность земной коры в связи с кимберлитовым магматизмом юга Якутской алмазоносной провинции // Вестн. Воронежского гос. ун-та. 2004. № 1. С. 137–147.
7. Применение метода магнитотеллурических зондирований в алмазопосконых работах. / А.В.Манаков, Е.В.Поспеева, В.А.Матросов и др. // Зап. горного института. С.-Пб., 2005. Т. 162. С. 45–49.
8. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов / В.И.Ваганов, В.И.Варламов, А.А.Фельдман и др. // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 42–53.
9. Стогний В.В., Жандалинов В.М. Возможности импульсной индуктивной электроразведки при поисках кимберлитовых тел на территориях Мирнинского и Накынского кимберлитовых полей Якутии // Геология алмаза — настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1455–1459.
10. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. — Новосибирск: Наука, 1993.
11. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Манаков А.В. Глубинное строение Далдыно-Алакитского кимберлитового района по результатам переинтерпретации данных ГСЗ и гравитационного моделирования по профилю р. Моркока — р. Муна (Западная Якутия) // Физика Земли. 2005. № 5. С. 35–47.
12. Трехмерная электроразведка МПП: теория и практика / Г.М.Тригубович, Ю.Г.Соловейчик, М.Э.Рояк и др. // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Мирный, 2003. С. 301–311.