

УДК 550.83.015:553.81

© В.М.Жандалинов, Вас.В.Стогний, 2006

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ — ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**В.М.Жандалинов, Вас.В.Стогний (Акционерная компания «АЛРОСА»)**

Один из наиболее производительных методов электроразведки — электропрофилирование. Для оценки его геологической эффективности, выбора типа установки и оптимизации технологии при поиске кимберлитовых тел в условиях площадей I–III геотипов проведено численное 3D моделирование методом конечных разностей [7] в программе *res3Dmod*, разработанной M.Loke. Рассчитанные аномалии кажущегося электрического сопротивления при профилировании дипольной и симметричной установками над кимберлитовой трубкой диа-

метром 60 м ( $\rho=320$  Ом·м) приведены на рис. 1.

Кимберлитовая трубка перекрыта мерзлыми терригенными осадочными отложениями с УЭС 900 Ом·м; кора выветривания верхнего горизонта кимберлитовой трубки имеет мощность 2 м. Амплитуды аномалии, обусловленной кимберлитовой трубкой, для дипольной и симметричной установок близки (330–360 Ом·м). Размер аномальной области пониженных значений кажущегося электрического сопротивления при профилировании дипольной установкой превышает диаметр кимберлитовой

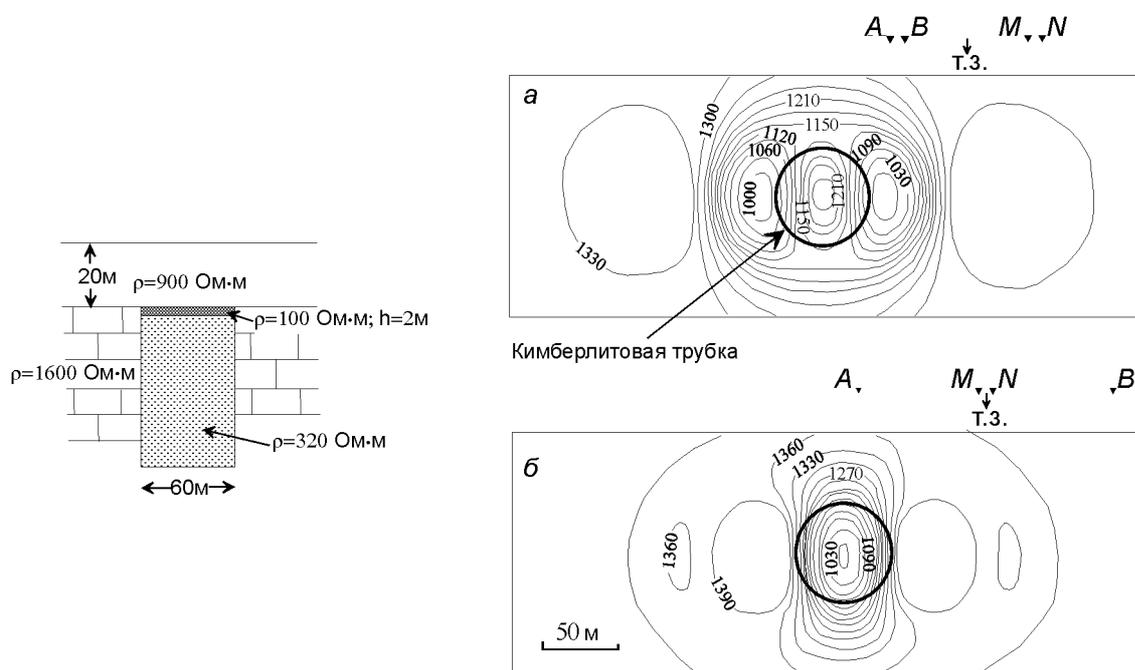


Рис. 1. План  $\rho_k$  при профилировании дипольной (а) и симметричной (б) установками над кимберлитовой трубкой в высокоомной среде по результатам 3D моделирования

вой трубки на разнос установки (расстояние между электрическими центрами диполей). При этом в аномальную область пониженных значений  $\rho_k$ , связанную с кимберлитовой трубкой диаметром 50 м, попадет не менее семи точек наблюдения, что достаточно для надежного выделения аномалии. При профилировании симметричной установкой размер аномальной зоны меньше, а ее очертания практически совпадают с границами трубки, поэтому применение дипольной установки при поисках кимберлитовых трубок более эффективно. Однако последующую детализацию аномалий, выявленных по материалам рядовой съемки ДЭП, необходимо проводить симметричной установкой AMNB, что позволяет более точно определять контуры поискового объекта.

В сложных геологических условиях экранирующее влияние оказывают породы высокого сопротивления (траппы), препятствующие проникновению тока на глубину. Поэтому для постановки поисковых электроразведочных работ методами сопротивлений наиболее благоприятны участки с отсутствием перекрывающих пород или с мощностью рыхлых перекрывающих отложений не более 20 м.

Анализ результатов моделирования позволил установить [1], что для Малоботуобинского алмазно-

носного района надежное выделение аномалии от кимберлитовой трубки диаметром 80 м возможно при мощности перекрывающих пород не более 30 м (при эпицентральной расположении профиля). В случае расположения эпицентра кимберлитовой трубки между профилями исследования максимальная глубина обнаружения кимберлитового тела диаметром 50 м уменьшается до 23 м, а диаметром 80 м — до 28 м.

Импульсная индуктивная электроразведка может применяться для поисков кимберлитовых тел на разрезах с более мощным перекрывающим комплексом, особенно в условиях плохо проводящих пород. Практика показывает, что для оценки возможности импульсной индуктивной электроразведки при поисках кимберлитовых трубок необходимо учитывать реальную плотность буровой сети. В пределах перспективных участков Мирнинского кимберлитового поля поисковое бурение выполнено по сети 250×250 м и плотнее, поэтому в его пределах актуальна задача поисков мелких и средних кимберлитовых тел. Особо следует учитывать, что кембрийские карбонатные отложения, вмещающие кимберлитовые трубки, в центральной части района обычно выходят на поверхность или перекрыты четвертичными и юрскими отложениями, а в северо-западной — перекрыты траппами. Эти факторы

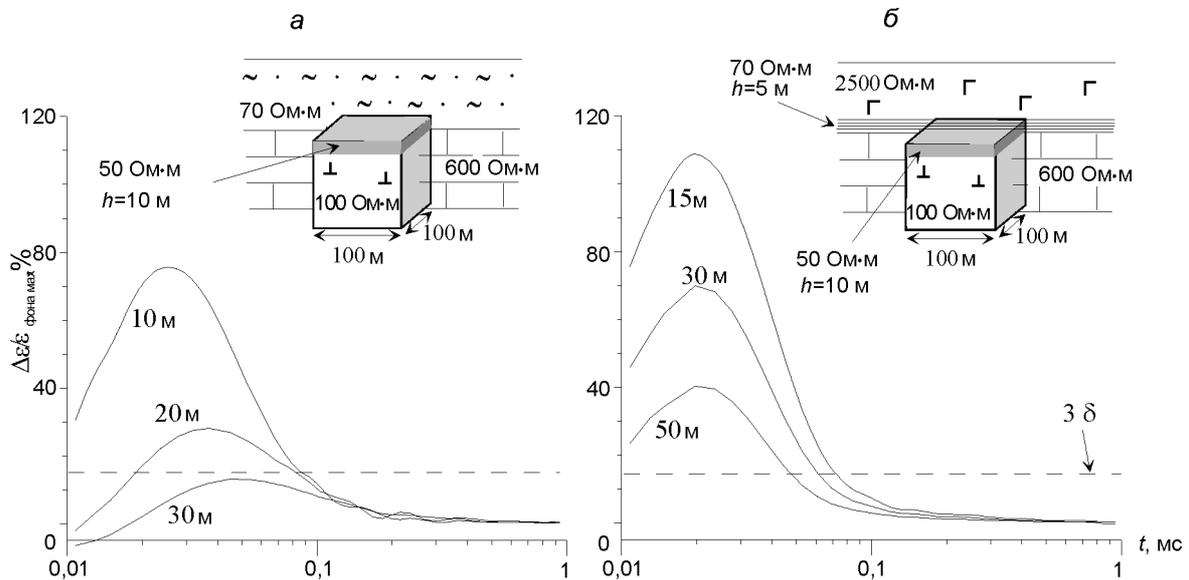


Рис. 2. Расчетная anomальная составляющая переходного процесса, обусловленная кимберлитовой трубкой, перекрытой юрскими отложениями (а) и траппами (б):

совмещенная установка 100x100 м расположена в эпицентре модели кимберлитового тела; цифры у кривых — мощность перекрывающих отложений

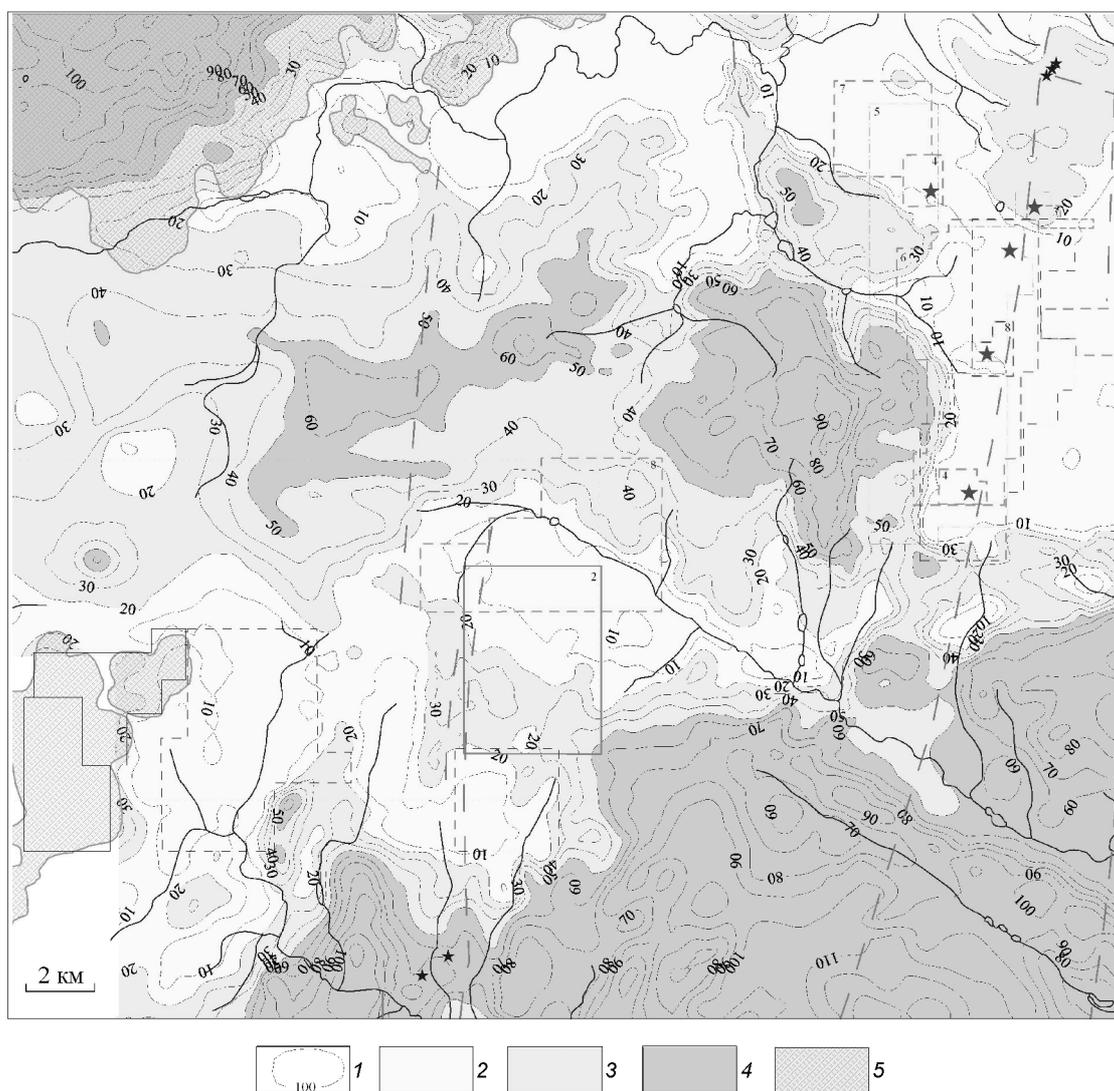
учтены при проведении 3D моделирования неустановившегося электромагнитного поля для двух физико-геологических моделей с использованием программы EM-Vision (Encom Technology, Австралия). В первой модели кимберлитовая трубка размером 100x100 м перекрыта низкоомными юрскими отложениями, а во второй — высокоомными траппами (рис. 2). В верхней части кимберлитовой трубки развита кора выветривания мощностью 10 м. Физические свойства кимберлитов и вмещающих пород приняты согласно данным Н.Н.Зинчука с соавторами [2], а также результатам интерпретации материалов ЗМПП.

Анализ материалов моделирования показывает, что при мощности проводящих юрских отложений 30 м и более anomальная составляющая ЭДС неустановившегося электромагнитного поля, вызванная кимберлитовой трубкой, быстро уменьшается и составляет менее 15% ( $3\delta$ ) от нормального поля. В таких геологических условиях эффективность метода ЗМПП при поиске трубок размерами до 100x100 м близка к ДЭП [1]. Траппы, характеризующиеся высоким удельным электрическим сопротивлением, не оказывают существенного экранирующего влияния при поисках кимберлитовых тел

(см. рис. 2, б), и anomalia от кимберлитового тела размером 100x100 м может быть выделена даже при значительной их мощности — более 50 м.

Для рассматриваемых моделей максимум anomалии переходного процесса от кимберлитовой трубки находится в интервале 10–50 мкс. На временах более 100 мкс anomальная составляющая снижается и составляет менее 10% от нормального поля. Таким образом, в Малоботуобинском алмазном районе метод ЗМПП обладает потенциально высокой геологической эффективностью, в том числе при выявлении кимберлитовых тел, перекрытых траппами значительной мощности. В связи с этим северо-восточная часть района с широко развитыми траппами имеет наиболее благоприятные условия для применения импульсной индуктивной электроразведки в качестве основного поискового геофизического метода. Юрские породы, обладающие относительно низким электрическим сопротивлением, оказывают экранирующее влияние, вследствие чего эффективность ЗМПП при мощности этих пород более 30 м резко снижается.

Моделирование геофизических полей можно использовать для районирования площадей по оптимальным геофизическим методам и их комплек-



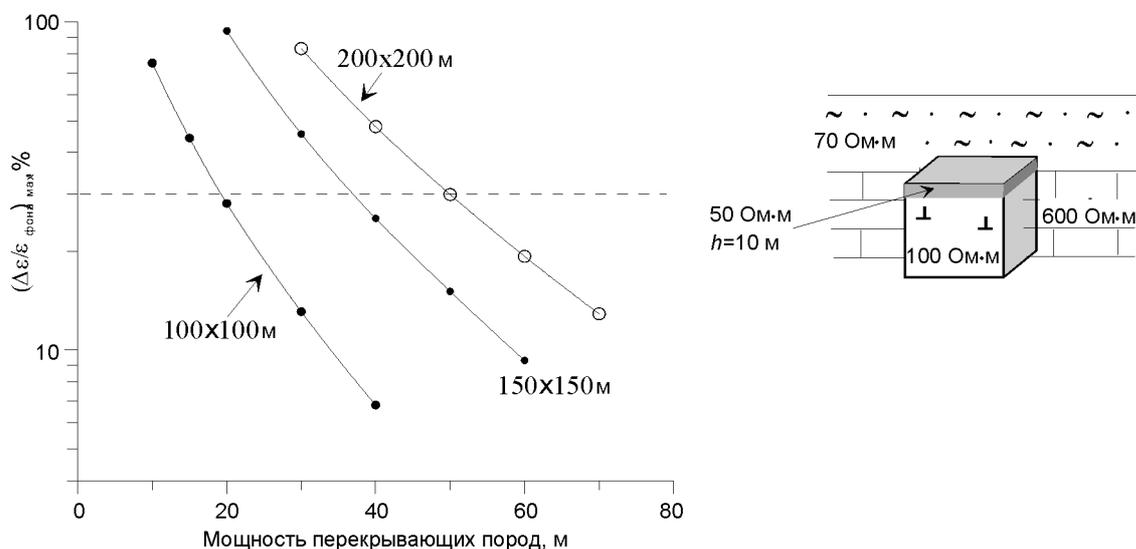
**Рис. 3. Площадная схема рационального использования электроразведки для поисков кимберлитов в геологических условиях Малобутубинского алмазоносного района:**

*1* — линии изопакит перекрывающего комплекса; мощность перекрывающих отложений и методы поисков кимберлитовых тел: *2* — до 20 м, методы сопротивлений и вызванной поляризации, *3* — 20–50 м, импульсная электроразведка (ЗМП) и площадное зондирование становлением с закрепленным источником для поисков кимберлитовых тел размером более 100х100 м, *4* — 50–120 м, то же, для поисков кимберлитовых тел размером более 200х200 м, *5* — то же, для поисков кимберлитовых тел, перекрытых траппами

сам при поисках кимберлитовых тел. В качестве примера на рис. 3 приведена площадная схема рационального использования электроразведки для поисков кимберлитов в геологических условиях Малобутубинского алмазоносного района, составленная на основе выполненного 3D моделирования постоянного, а также неустановившегося электромагнитного поля. По условиям применения методов наземной электроразведки выделены участки четырех градаций (см. рис. 3). Наиболее благоприятные условия для поисков кимберлитовых тел

методом сопротивлений и вызванной поляризации существуют на участках, где на поверхность выходят кимберлитовмещающие породы раннего палеозоя, представленные глинистыми терригенно-карбонатными разностями, или с мощностью перекрывающих мезокайнозойских осадочных пород менее 20 м.

На участках с мощностью перекрывающих осадочных отложений более 20 м (II и III геотипы) по-



**Рис. 4. Номограмма зависимости аномальной составляющей переходного процесса, обусловленной кимберлитовой трубкой, от мощности перекрывающих низкоомных отложений:**

расчет выполнен для совмещенной установки 100x100 м, расположенной в эпицентре модели кимберлитового тела; цифры у кривых — размеры кимберлитового тела

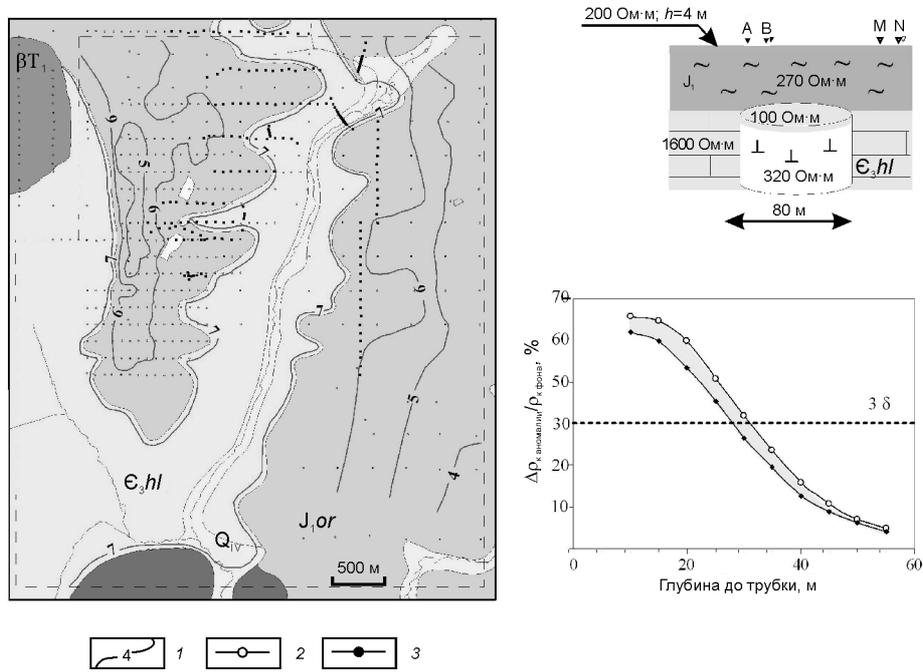
иск кимберлитовых тел следует проводить модифицированными методами индуктивной импульсной электроразведки. С увеличением мощности перекрывающих юрских отложений резко возрастают минимальные размеры кимберлитовых тел, которые могут быть выявлены импульсной индуктивной электроразведкой (рис. 4). Например, аномальная составляющая ЭДС неустановившегося электромагнитного поля, вызванная кимберлитовой трубкой размером 150×150 м, составляет менее 30% (6δ) от нормального поля при мощности перекрывающих юрских отложений 40 м, а кимберлитовой трубки размером 200×200 м — при мощности перекрывающих юрских отложений немногим более 50 м. При математическом моделировании приняты наиболее характерные значения удельного электрического сопротивления кимберлитовых трубок Малоботуобинского района. Распределение значений удельного электрического сопротивления кимберлитов, как правило, подчиняется нормальному гауссовскому распределению, поэтому на участках, перекрытых мощными осадочными отложениями, можно ожидать открытие с помощью электроразведочных методов лишь тех кимберлитовых трубок, которые отличаются низким электрическим сопротивлением.

Наиболее благоприятные условия для примене-

ния импульсной индуктивной электроразведки существуют в пределах площадей развития траппов. Поскольку площади развития траппов, залегающих непосредственно на породах раннепалеозойского кимберлитовмещающего цоколя или перекрытых малоомными юрскими отложениями, достаточно большие, в перспективе следует рассмотреть возможность их опосредованного поиска аэроэлектроразведкой методом переходных процессов.

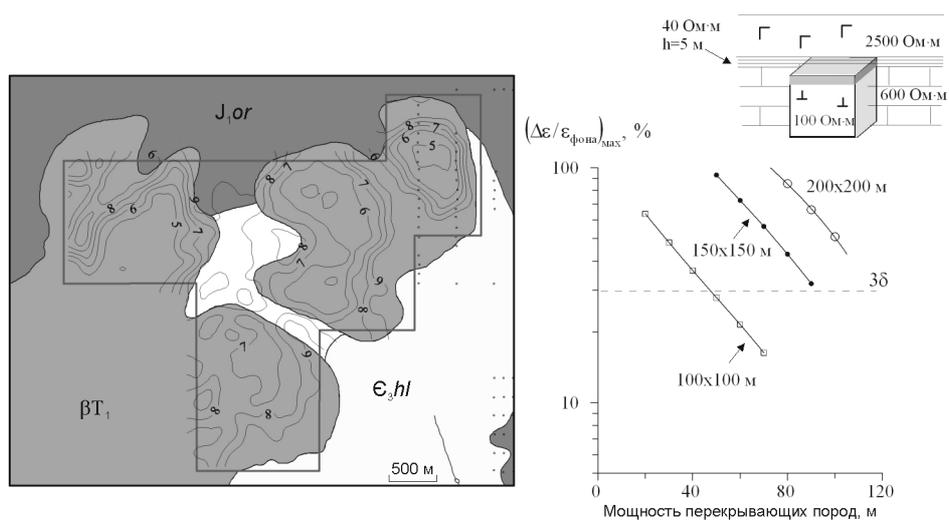
Методика районирования территории Средне-Мархинского алмазоносного района по условиям проведения наземных поисковых электроразведочных работ аналогична принятой для Малоботуобинского района с учетом физических свойств структурно-вещественных комплексов, характерных для Накынского кимберлитового поля.

В пределах Накынского кимберлитового поля мощность перекрывающих юрских отложений возрастает с северо-запада на юго-восток от первых метров до 120 м. На северо-западе рассматриваемой территории, там, где мощность перекрывающих отложений не превышает 20 м, возможны прямые поиски кимберлитовых тел методами сопротивлений. Согласно данным математического моделирования, выполненного с учетом физических свойств кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботуобинская, проведение электроразведочных работ ЗМП с соосными установками, а также площад-



**Рис. 5. Надежность опоискования методом электропрофилирования (БИЭП) в условиях проводящего разреза (юрские отложения):**

1 — изолинии коэффициента надежности опоискования (д); 2 — профиль через эпицентр трубки; 3 — профиль в 25 м от эпицентра



**Рис. 6. Надежность опоискования методом ЗМПП в условиях высокоомного (траппового) разреза:**

цифры у кривых — размеры кимберлитового тела

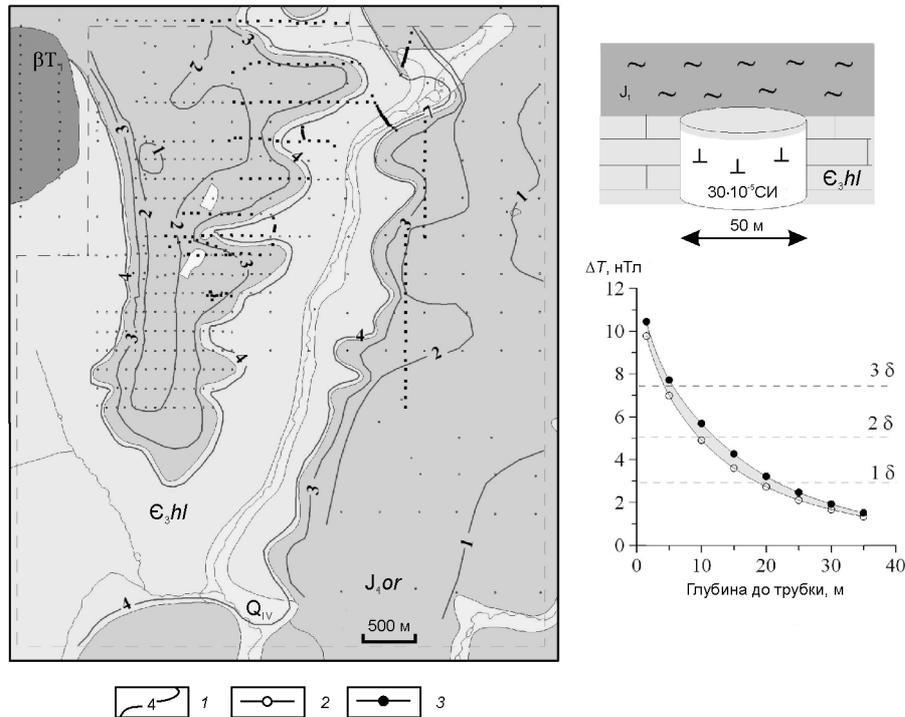


Рис. 7. Надежность выделения магниторазведкой кимберлитового тела, перекрытого юрскими отложениями:

*I* — изолинии коэффициента надежности опoisкования (д); 2 — профиль через эпицентр трубки; 3 — профиль в 12,5 м от эпицентра трубки

ных зондирований становлением с закрепленным источником, направленных на прямой поиск кимберлитовых тел, целесообразно только при мощности перекрывающих отложений не более 50 м. По результатам электрического каротажа [2] низкое электрическое сопротивление имеют отложения первой–третьей пачек сунтарской свиты юры, представленные глинами, аргиллитами и песчанистыми алевролитами, которые оказывают экранирующее влияние для методов индуктивной электроразведки, проводящейся в целях поисков кимберлитовых трубок. При мощности перекрывающих отложений более 50 м электроразведочные работы должны направляться на выявление косвенных геофизических критериев кимберлитовых тел, в частности на положение кровли межмерзлотного талика [4].

На завершающем этапе поисковых работ создается резульативная модель изученного участка на основе применения математического моделирования геофизических полей. Оценка степени надежности опoisкования территории — элемент этой

модели. Используются параметры реализованной сети поискового бурения, геологические карты, материалы геофизических исследований скважин, петрофизических измерений и резульативная геолого-геофизическая модель участка. Эти данные позволяют конкретизировать условия моделирования и получить корреляционные связи геологического строения исследуемой среды и петрофизических свойств с поисковой эффективностью геофизических методов. Оценка достигнутой эффективности электроразведки ЗМПП, БИЭП и магнитной съемки проводится с учетом точности полевых измерений и уровня геологических помех для каждого геотипа исследуемой площади (δ). В результате составляется карта надежности выполненных поисковых работ, выделяются перспективные участки, а также рекомендуется методика их доизучения (рис. 5, 6, 7).

Таким образом, применение математического моделирования низкочастотных и неустановившихся электромагнитных полей на разных стадиях исследований методами электропрофилирования и

ЗМПП, а также магнитной съемки для выявления кимберлитовых тел, от их планирования и проектирования до создания апостериорных моделей участков, позволяет не только повысить поисковую эффективность данных исследований, но и дать количественную оценку степени надежности опосредованного с учетом конкретных физико-геологических условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жандалинов В.М., Стогний В.В.* Анализ возможностей электропрофилирования при поиске мелких и средних кимберлитовых тел в Мало-Ботуобинском районе Западной Якутии // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (АЛМАЗЫ-50). Санкт-Петербург, 2004. С. 129–132.
2. *Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарам М.Н.* Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
3. *Светов Б.С., Агеев В.В., Лебедева Н.А.* Поляризуемость горных пород и феномен высокоразрешающей электроразведки // Геофизика. 1996. № 4. С. 42–52.
4. *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.
5. *Стогний Г.А., Стогний В.В., Келле Э.Я., Пилипенко А.П.* Атмохимические поиски кимберлитовых тел в закрытых районах // Разведка и охрана недр. № 4. 1984. С. 24–26.
6. *Участки флюидно-магматической активности в Накыском кимберлитовом поле / П.А.Игнатов, К.Ю.Бушков, Я.И.Штейн и др.* // Проблемы прогнозирования поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 383–387.
7. *Silvester P.P. and Ferrari R.L.* Finite elements for electrical engineers (2nd. ed.). – Cambridge University Press, 1990.