

Е. М. Лобастова¹✉

Геоэлектрическая модель осадочного чехла Мирнинского кимберлитового поля

¹Новосибирский национальный исследовательский университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: e.lobastova@g.nsu.ru

Аннотация. Мирнинское кимберлитовое поле – уникальное алмазоносное месторождение, включающее трубки «Мир», «Интернациональная», «Дачная», «Амакинская» и «XXIII Съезда КПСС», которое локализуется в узлах пересечения субмеридиональных разломов Вилуйско-Мархинской зоны с Укугутской ветвью Джункун-Хампинской зоны разломов северо-восточного простираения [5]. По результатам магнитотеллурических исследований (38 пунктов зондирования) построены геоэлектрические модели верхней части земной коры и глубинный разрез до 15 км. Выделены субвертикальные проводящие неоднородности (п.п. 199–162, 154–152) на фоне высокоомных блоков (до 12000 Ом·м), интерпретируемые как каналы транспорта кимберлитового вещества. На склонах положительных структур, выделенных в интервалах пунктов 200–160 и 154–151, локализуются кимберлитовые трубки «Интернациональная», «XXIII Съезда КПСС», «Амакинская», «Дачная» и «Мир». Между зонами пониженных значений УЭС (1 и 3), выделенных на глубинном геоэлектрическом разрезе, и положительными структурами осадочного чехла и кристаллического фундамента в интервалах п.п. 200–160 и п.п. 154–151 установлена пространственная корреляция.

Ключевые слова: магнитотеллурические исследования, геоэлектрический разрез, удельное электрическое сопротивление, проводящие неоднородности, Мирнинское кимберлитовое поле

Е. М. Lobastova¹✉

Goelectric model of the sedimentary cover of the Mirny kimberlite field

¹Novosibirsk National Research University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: e.lobastova@g.nsu.ru

Abstract. The Mirny Kimberlite Field is a unique diamond-bearing locality, including the "Mir", "Internatsionalnaya", "Dachnaya", "Amakinskaya", and "XXIII Congress of the CPSU" pipes. It is localized at the intersection nodes of the submeridional faults of the Vilyuy-Markha zone with the Ukugut branch of the Dzhunkun-Khamphin fault zone of northeastern strike [5]. Based on the results of magnetotelluric sounding surveys (38 sounding stations), goelectric models of the upper part of the Earth's crust and a deep lithospheric section down to 15 km have been constructed. Subvertical conductive heterogeneities (stations 199–162, 154–152) have been identified against the background of high-resistivity blocks (up to 8000 Ohm·m), interpreted as channels for kimberlite material transport. Kimberlite pipes "Internatsionalnaya", "XXIII Congress of the CPSU", "Amakinskaya", "Dachnaya", and "Mir" are localized on the slopes of positive structures identified in the intervals of stations 200–160 and 154–151. A spatial correlation has been established between low-resistivity zones (1 and 3) identified in the deep goelectric section and the positive structures of the sedimentary cover and crystalline basement in the intervals of stations 200–160 and 154–151.

Keywords: magnetotelluric studies, geoelectric section, electrical resistivity, conductive heterogeneities, Mirny Kimberlite Field

Введение

Коренные месторождения алмазов составляют основу отечественной минерально-сырьевой базы алмазов. Их поиски на территории России ведутся во многих регионах, характеризующихся различным геологическим строением, условиями ведения работ и степенью изученности. Несмотря на результативность уже проведенных исследований в пределах Сибирской кимберлитовой провинции перспективы обнаружения здесь новых месторождений алмазов остаются высокими. Их практическая реализация связывается с расширением геолого-поисковых работ на «закрытых» территориях, в пределах которых объекты поисков перекрыты образованиями различного генезиса. Одним из способов понять особенности глубинной структуры алмазоносных площадей, отличающие их от соседних «пустых», являются геофизические исследования [3].

Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов основываются на комплексе критериев и признаков, указывающих на возможность обнаружения объектов различных минерагинических рангов – алмазоносных провинций, субпровинций, минерагинических зон (районов), полей и кустов кимберлитовых тел. Среди региональных критериев выделяются: приуроченность кимберлитов к древним кратонам с возрастом фундамента более 1,5 млрд лет («правило Клиффорда») [6], а также к склонам поднятий кристаллического фундамента, граничащих с крупными впадинами. Для проявления кимберлитов благоприятны зоны сочленения крупных структур первого порядка, положительных и отрицательных платформенных структур – антеклиз и синеклиз при мощности осадочного чехла не более 3,5 км. Пространственно кимберлитовый магматизм приурочен к зонам пересечения разноориентированных глубинных разломов.

Геолого-структурные критерии среднемасштабного прогноза: кимберлитовые поля тяготеют к склонам изолированных сводов и валов, обрамляющих отрицательные структуры первого порядка.

Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ), основанный на изучении переменного электромагнитного поля магнитосферной и ионосферной природы, является одним из самых глубинных методов электроразведки. Метод успешно используется для регионального и среднемасштабного геологического картирования с целью выявления перспективных площадей на различные виды полезных ископаемых, в том числе и проявления кимберлитового магматизма. Результаты применения региональных и среднемасштабных исследований методом МТЗ на Сибирской платформе показали его высокую информативность при прогнозировании разноранговых объектов кимберлитового магматизма [2]. Установлено, что геоэлектрическим критерием прогнозирования кимберлитовых полей служит наличие проводящих субвертикальных неоднородностей на фоне высокоомного разреза земной коры. Кимберлитовые районы, как правило, располагаются в пределах областей повышенных значений УЭС, а поля и кусты

кимберлитовых трубок локализируются в пределах, проводящих субвертикальных зон [2,8].

Методы и материалы

Полевые исследования методом МТЗ в пределах Мирнинского кимберлитового поля проводились на основе технологий V5 System – 2000 аппаратурой «MTU-5» компании «Phoenix Geophysics» (Канада) по стандартной методике. Обработка полученных данных проводилась в программе SSMT-2000, реализующей современные алгоритмы спектрального анализа в режимах одиночных ("local", SS) и при необходимости синхронных зондирований с удаленной базой ("remote reference", RR). Редактирование кривых кажущегося сопротивления и фаз проводилось в ПО WinGLink с применением функции сглаживания «Smooth» (режим D+, невязка не более 5%). Инверсия производилась после проведения процедуры приведения симметричного тензора к его главным осям.

На первом этапе было выполнено построение геоэлектрического разреза осадочного чехла с использованием традиционного подхода, основанного на ручном подборе параметров слоев при помощи электронной палетки [1]. Данный метод, несмотря на развитие компьютерной инверсии, был применен в качестве независимого средства контроля и для учета априорных геологических данных. В результате были определены параметры геоэлектрического разреза – мощность и удельное электрическое сопротивление (УЭС). Результаты ручного подбора были использованы в качестве стартовой модели для последующей компьютерной инверсии. На последующем этапе выполнен подбор параметров разреза в программном комплексе WinGLink, который осуществлялся в рамках 1D - инверсии путем минимизации функционала невязки (1):

$$L(q) = \sum \left[\frac{\rho_{T(Tm)} - \rho_{Tg(Tm)}}{\rho_{T(Tm)}} \right]^2 \quad (1)$$

($\rho_{T(Tm)}$ - значение УЭС экспериментальной кривой, $\rho_{Tg(Tm)}$ - значение УЭС модельной кривой). Функционал невязки характеризует среднеквадратичное отклонение экспериментальной кривой кажущегося сопротивления от модельной. Таким образом, построены детальные геоэлектрические модели осадочного чехла для каждого пункта зондирования. На основе двумерной инверсии продольных кривых МТЗ в программном комплексе WinGLink получен глубинный геоэлектрический разрез, отражающий распределение электропроводности вплоть до 15 км. Результаты интерпретации направлены на картирование потенциально алмазоносных структур и зон, перспективных для поисков кимберлитов.

Результаты

В пределах осадочного чехла по данным МТЗ выделено пять геоэлектрических горизонтов (рис. 1):

Первый горизонт (ρ_1 , 30–40 Ом·м) соответствует юрским отложениям (вакунайкинская, оруктахская и укугутская свиты), представленным песками, песчаниками,

глинами, аргиллитами и конгломератами. Мощность горизонта варьирует от 200 до 375 м.

Второй горизонт (ρ_2 , 20–30 Ом·м) приурочен к отложениям кембрия–ордовика (балыктахская, мирнинская, метегерская, ичерская, чарская и олёкминская свиты). Литологически представлен доломитами, известняками, мергелями, аргиллитами, а также прослоями гипса, ангидрита и каменной соли. Мощность составляет 300–675 м.

Третий горизонт (ρ_3 , 25–55 Ом·м) выделен в центральной части профиля и образован чарской и олёкминской свитами нижнего кембрия. Мощность горизонта — 300–375 м.

Четвёртый горизонт (ρ_4 , 60–80 Ом·м) включает отложения нижнего кембрия (толбачинская, эльгянская, нелбинская, юрегинская и билирская свиты), сложенные доломитами, известняками, мергелями, аргиллитами, а также каменной солью. Мощность достигает 1250–1625 м. В центральной части профиля выделяется обобщённый горизонт ρ_4^* (60–65 Ом·м) мощностью 1125–1250 м.

Пятый горизонт (ρ_5 , 150–600 Ом·м) обнаруживается на глубинах от 2750 м до 1250 м и соответствует кристаллическому фундаменту, представленному вендскими отложениями (сланцы, амфиболитовые гнейсы, гранитоиды, кварциты). Мощность горизонта превышает 1750 м.

В пределах верхней части земной коры картируются 10 субвертикальных зон дробления с пониженными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) 10 Ом·м. В районах п.п. 200-160 и п.п. 154-151 выделяются положительные структуры платформенного чехла и кристаллического фундамента. Границами между поднятиями и сопряжёнными с ними блоками отрицательных структур служат субвертикальные зоны дробления. На склонах поднятий располагаются алмазоносные трубки «Интернациональная», «XXIII Съезда КПСС», «Амакинская», «Дачная», «Мир».

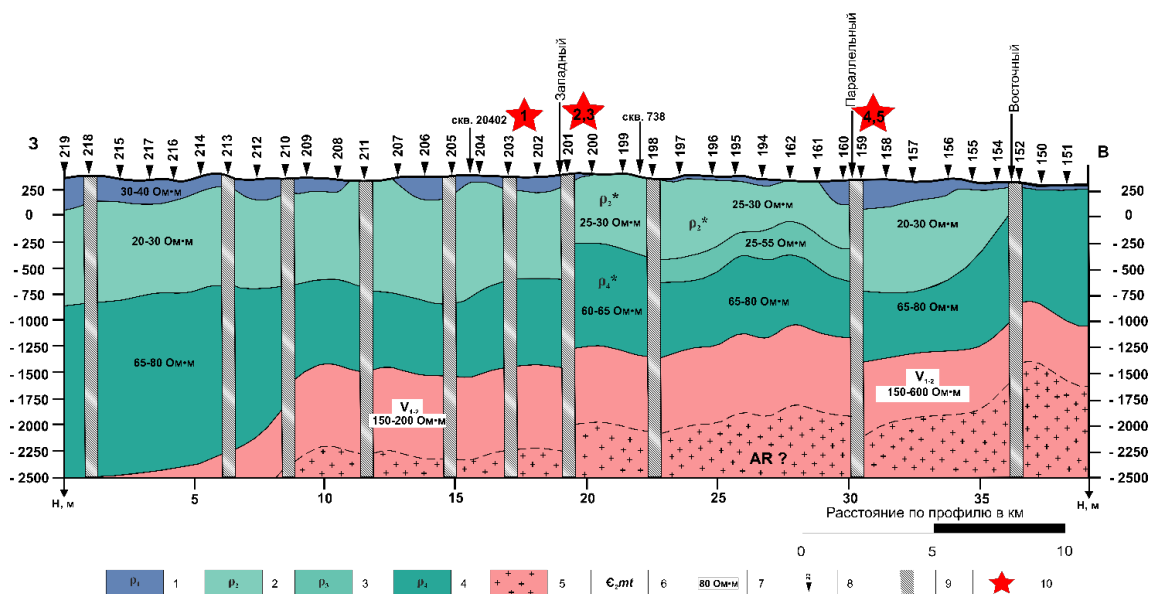


Рис. 1. Геоэлектрический разрез верхней части земной коры Мирнинского кимберлитового поля

(1- первый геоэлектрический горизонт (отложения нижней юры – вакунайкинская (J_{1vk}), оруктахская (J_{1or}) и укугутская (J_{1uk}) свиты): 30-40 Ом·м; 2 – второй геоэлектрический горизонт (отложения кембрия-нижнего ордовика – балыктахская (ϵ_3-O_{1bl}) свита, мирнинская (ϵ_{2mr}), метегерская (ϵ_{2mt}), ичерская (ϵ_{1-2ic}), чарская ($\epsilon_{1\check{c}r}$), олекминская (ϵ_{1ol}) свиты): 20-30 Ом·м; 3 – третий геоэлектрический горизонт (отложения нижнего кембрия – чарская ($\epsilon_{1\check{c}r}$) и олекминская (ϵ_{1ol}) свиты): 25-55 Ом·м; 4 – четвертый геоэлектрический горизонт (отложения нижнего кембрия – толбачинская (ϵ_{1tl}), эльгянская (ϵ_{1el}), нелбинская (ϵ_{1nl}), юрегинская (ϵ_{1jr}), билирская (ϵ_{1bl}) свиты): 65-80 Ом·м; ρ_2^* – отложения кембрия-нижнего ордовика – балыктахская (ϵ_3-O_{1bl}), мирнинская (ϵ_{2mr}), метегерская (ϵ_{2mt}), ичерская (ϵ_{1-2ic}) свиты: 25-30 Ом·м; ρ_4^* – отложения кембрия – чарская ($\epsilon_{1\check{c}r}$), олекминская (ϵ_{1ol}), толбачинская (ϵ_{1tl}), эльгянская (ϵ_{1el}), нелбинская (ϵ_{1nl}), юрегинская (ϵ_{1jr}), билирская (ϵ_{1bl}) свиты: 60-65 Ом·м; 5 – кристаллический фундамент, представленный отложениями венда (V_{1-2}); 6 – индекс геологического возраста отложений; 7 – значения удельного электрического сопротивления в Ом·м; 8 – пункты МТ-зондирования; 9 – зоны дробления; 10 – алмазоносные трубки (1- Интернациональная, 2 -XXIII Съезда КПСС, 3 – Амакинская, 4 – Дачная, 5 - Мир)).

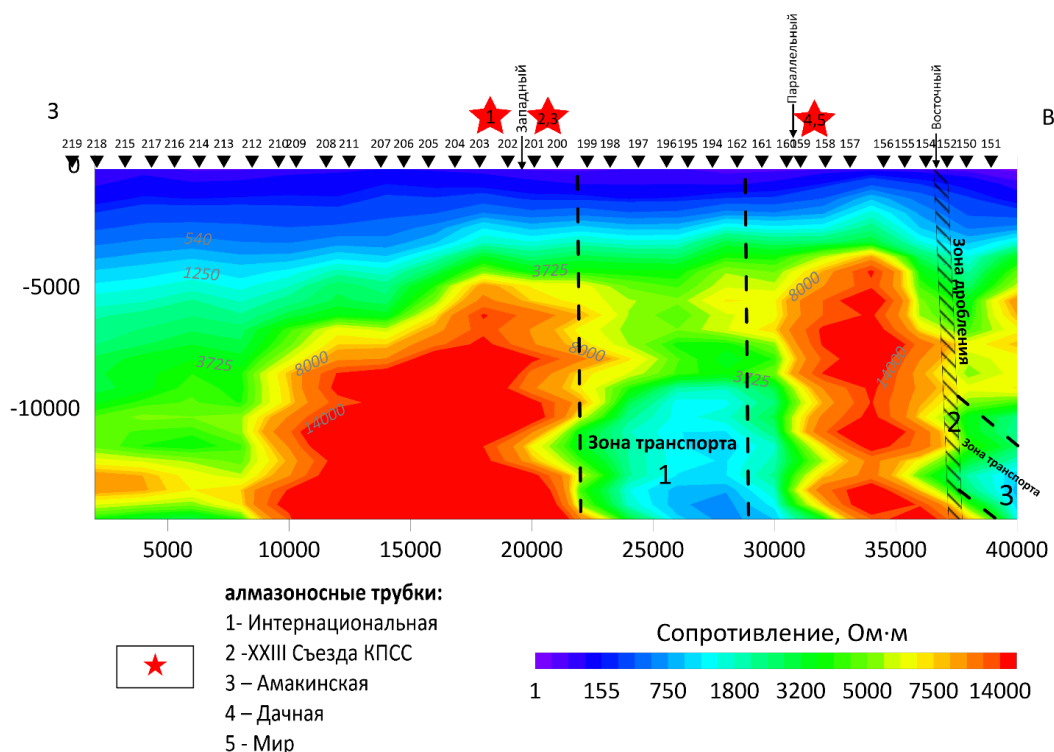


Рис. 2. Глубинный геоэлектрический разрез Мирнинского кимберлитового поля.

Характерной особенностью глубинного строения консолидированной коры Мирнинского поля является наличие высокоомной области со значениями сопротивления порядка 12000 Ом·м, на фоне которых развиты субвертикальные проводящие зоны с низкими значениями УЭС 200 Ом·м (рис. 2). Высокомная неоднородность прослежена на всем разрезе. Глубина ее верхних кромок составляет 5 км соответственно. В верхней части разреза – в осадочном чехле глубинным неоднородностям соответствуют зоны сочленения положительных и отрицательных структур (антиморфных).

Обсуждение

Результаты проведенных исследований выявили пространственную связь между глубинным строением консолидированной коры и осадочного чехла. Показано, что зонам пониженных значений УЭС, установленным в разрезе консолидированной коры, соответствуют области сочленения положительных и отрицательных структур осадочного чехла (антиморфные структуры). Согласно геологическим данным, именно такие структуры наиболее благоприятны для проявления кимберлитового магматизма [7]. Аналогичные геолого-структурные предпосылки выявлены геологами в Алакит-Мархинском кимберлитовом поле [8]. Эти геоэлектрические признаки, вкупе с геолого-тектоническими, петрологическими и минералого-геохимическими предпосылками хорошо зарекомендовали себя при выявлении кимберлитовых тел и могут рассматриваться в качестве дополнительных прогнозных критериев кимберлитового магматизма в районах со сложной геологической обстановкой.

Заключение

Согласно полученным данным построены геоэлектрические модели осадочного чехла и консолидированной части земной коры Мирнинского кимберлитового поля. Их анализ показал:

1. Проводящие зоны (1, 3), выделенные на глубине порядка 10-12 км интерпретируются как транспортные каналы, по которому кимберлитовая магма поступала в верхние горизонты земной коры.

2. В верхней части земной коры выявлены положительные структуры (п.п. 200–160, п.п. 154–151), к склонам которых приурочены алмазоносные кимберлитовые трубки «Интернациональная», «XXIII Съезда КПСС», «Амакинская», «Дачная» и «Мир».

3. Установлена пространственная корреляция между глубинными проводящими геоэлектрическими неоднородностями и зонами сочленения положительных и отрицательных структур осадочного чехла. Проводящая неоднородность 1 (п.п. 199–162) располагается непосредственно в районе поднятия, зафиксированного в интервале пунктов 200–160, зона пониженных значений УЭС - 3 (п.п. 152–151) приурочена к антиформной структуре в интервале пунктов 154–150 верхней части земной коры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. Москва: Науч. мир, 1997 год. – 218 с.
2. Поспеева Е.В. Проводящие неоднородности в литосфере как критерий прогнозной оценки алмазоперспективных площадей (на примере Сибирской кимберлитовой провинции) // Записки Горного института, т. 224, 2017 год. – 170-177 с.
3. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Книга 1. Коренные месторождения /В.М. Подчасов, В.Е. Минорин, И.Я. Богатых. ЯФ ГУ «Издательство» СО РАН. 2004. 547 с.
4. Кутинов Ю.Г. Тектонические критерии выделения таксонов кимберлитового магматизма Архангельской алмазоносной провинции / Ю.Г.Кутинов, З.Б.Чистова // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минералогия Северо-Запада России. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. С. 226-230.
5. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилуйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. 2011. № 3. С. 5–10.
6. Clifford T.N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces in Africa // Earth. Planet. Sci. Lett. 1966. Vol. 1. N 6. P. 421–434.
7. Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. Структурно-тектонические критерии поисков кимберлитовых тел в Алакит-Мархинской поле. //Руды и металлы 2019. № 2. С. 55-60.
8. Поспеева Е.В., Толстов А.В. Новые перспективы Алакит-Мархинского кимберлитового поля на проявление кимберлитового магматизма (по данным магнитотеллурических исследований). //Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2024. №1. С. 1-18.

© Е. М. Лобастова, 2026