DOI: *10.18454/PMI.2017.2.170*

УДК 550.372: 552.323.6(571.56)

ПРОВОДЯЩИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В ЛИТОСФЕРЕ КАК КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ АЛМАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ (НА ПРИМЕРЕ СИБИРСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ)

Е.В.ПОСПЕЕВА
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

Результаты магнитотеллурических исследований, проведенных на территории Сибирской кимберлитовой провинции, рассмотрены с позиций структурного контроля размещения кимберлитовых полей и кустов кимберлитовых трубок. Показано, что основными факторами, контролирующими проявления кимберлитового магматизма, являются: глубинные системы рифтогенных разломов; области их пересечения в пределах высокоомных блоков земной коры; проводящие проницаемые области, расположенные в узлах пересечения глубинных разломов. Разноранговые объекты кимберлитового магматизма характеризуются определенным сочетанием геоэлектрических неоднородностей, различающихся по сопротивлению, латеральным размерам и глубинности. Провинция расположена в пределах контуров, ограниченных изолиниями 180-220 км современного положения астеносферы; кимберлитовые районы – в контурах региональных неоднородностей высокого сопротивления. Поля и кусты кимберлитовых трубок локализуются в пределах проводящих субвертикальных зон. Эти факторы можно рассматривать как критерии прогнозной оценки алмазоперспективных площадей древних платформ.

***Ключевые слова*:** магнитотеллурические исследования, Сибирская кимберлитовая провинция, кимберлитовый магматизм, проводящие неоднородности

***Как цитировать эту статью*:** Поспеева Е.В. Проводящие неоднородности в литосфере как критерий прогнозной оценки алмазоперспективных площадей (на примере Сибирской кимберлитовой провинции) // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 170-177. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.170

В проблеме минерально-сырьевых ресурсов России алмазы, по сравнению с другими полезными ископаемыми, занимают особое место. Алмаз, характеризующийся простым химическим составом, представляет, тем не менее, исключительно сложный объект исследования не только наук о Земле, но и физики твердого тела и неорганической химии. Он является наиболее достоверным представителем глубинных зон континентальной литосферы, и химический состав силикатной среды, в которой он кристаллизуется, отражает особенности состава верхней мантии.

Результативность регионального прогноза проявлений кимберлитового магматизма и его алмазосодержащих разновидностей была блестяще реализована академиком В.С.Соболевым на основе сравнения геологического строения Африканской и Сибирской платформ, что явилось основным научным обоснованием постановки алмазопоисковых работ на территории Республики Саха (Якутия) в середине XX столетия. Вторым по значимости научным достижением в данной области является «правило Клиффорда», согласно которому алмазоносные кимберлиты приурочены к блокам земной коры древней консолидации – кратонам [14]. Эти достижения в области научного прогноза коренной алмазоносности с позиций современной практической поисковой геологии уже относятся к категории сверхрегионального прогноза. При переходе на более детальный масштаб прогнозирования все большее значение приобретают геофизические методы, в том числе магнитотеллурические зондирования (МТЗ).

Результаты применения региональных и среднемасштабных исследований методом МТЗ на Сибирской платформе показали его высокую информативность при прогнозировании разноранговых объектов кимберлитового магматизма и позволили обосновать глубинную геоэлектрическую модель и соответствующие ей условия в земной коре и верхней мантии [10, 11].

Среднепалеозойская кимберлитовая провинция расположена в области выклинивания крупных астенолинз в пределах районов платформы, приподнятых по поверхности фундамента. Основными элементами глубинной электропроводности провинции являются коровый и мантийный проводящие слои, параметры которых определяются термодинамическим режимом литосферы. Согласно петрологическим, тектоническим и геотермическим данным, территория провинции относится к наименее активным регионам, не подвергавшимся существенной тектономагматической активизации на протяжении последующих посткимберлитовых этапов развития. Глубина залегания корового и мантийного проводящих слоев для этих условий составляет соответственно 35-40 и 180-220 км. На фоне региональной структуры электропроводности в кимберлитовых районах провинции выделяются аномальные зоны и области. Они размещаются в лито-

DOI: 10.18454/PMI.2017.2.170

сфере на различных уровнях, имеют различную форму, размеры и удельное электрическое сопротивление. В отличие от фоновой проводимости их можно разделить на два класса – проводящие и непроводящие. С точки зрения пространственной характеристики – на региональные (30-100·10^3 км^2); первого (5-30·10^3 км^2); второго (0,5-3·10^3 км^2) и третьего (единицы и десятки километров) порядков. Их образование связано с процессами перераспределения вещества в эпохи предшествующих фаз активизации.

Неоднородности высокого сопротивления образуются в процессе внедрения магм в пределы корового проводящего слоя или его дефлюидизации в процессе магматической деятельности. В пределах проводящих неоднородностей породы насыщены минералами-проводниками с хорошими электрическими связями, привнос которых осуществлялся по ряду тектонически ослабленных и дизъюнктивных нарушений. Кимберлитовые поля, как правило, располагаются в пределах крупных неоднородностей высокого сопротивления, а участкам их локализации соответствуют проводящие субвертикальные зоны, связанные с системами региональных глубинных разломов, обуславливающих формирование структур рифтогенного растяжения. Наблюдается совпадение проводящих неоднородностей с гравитационными и магнитными минимумами, а также с повышенной гетерогенностью земной коры по сейсмическим данным [3, 4]. Эти признаки вкупе с присутствием ареалов минералов-индикаторов свидетельствуют о наличии субвертикальной проводящей неоднородности под кимберлитовыми полями с корнями, уходящими в мантию на фоне высокоомного разреза земной коры.

Выделение факторов структурного контроля кимберлитовых полей, особенно зон глубинных разломов, является важной составляющей поисков проявлений кимберлитового магматизма. Наличие отдельных проницаемых зон для объяснения пространственного размещения кимберлитового магматизма недостаточно. Необходимым условием для обеспечения «сквозной» мантийно-коровой проницаемости являются области пересечения или совмещения проницаемых зон. В этом случае возникает субвертикальная проницаемая область, обеспечивающая корово-мантийное взаимодействие и формирование благоприятных условий для размещения кимберлитовых районов и полей [7]. Особый интерес представляют проводящие геоэлектрические неоднородности, расположенные в узлах пересечения зон глубинных разломов, выявленные в пределах Якутской кимберлитовой субпровинции (ЯАП) Сибирской платформы.

В Малоботуобинском кимберлитовом районе такие неоднородности выявлены в области пересечения Вилюйско-Мархинской и Укугутской систем разломов. Мирнинское алмазоносное поле располагается в пределах трех проводящих неоднородностей, пространственно сопряженных с кустами кимберлитовых трубок (рис.1).

Неоднородности вытянуты в северо-восточном направлении вдоль Укугутской системы разломов. Первые две, сходные по параметрам (глубина залегания верхней кромки 20 км, сопротивление 80-100 Ом·м), по существу, представляют собой единую проводящую область, разделенную узким блоком земной коры с высокими значениями сопротивления. Вторая неоднородность ранжируется на неоднородность более высокого порядка с глубиной залегания 10 км и сопротивлением 30 Ом·м. Третья неоднородность характеризуется более высоким положением верхней кромки – 15 км и более низкими значениями сопротивления – 30 Ом·м. Кимберлитовые трубки Мирнинского поля тяготеют к градиентным зонам, расположенным в зоне сочленения высокоомного блока земной коры и проводящих неоднородностей (рис.1). В области градиента проходят рудовмещающие участки Западного и Параллельного разломов, что позволяет сделать вывод о контролирующей роли разрывных нарушений Укугутской системы в формировании проницаемой коры и распределении кимберлитовых тел в пределах Мирнинского алмазоносного поля.

На продолжении Вилюйско-Мархинской зоны, в области ее пересечения со Среднемархинской тектонической зоной, выявлена еще одна проводящая неоднородность, в контурах которой расположено Накынское кимберлитовое поле *Средне-Мархинского района*. На площади *Далдыно-Алакитского кимберлитового района* породы кимберлитовой формации концентрируются в виде кустов и цепочек тел, формируя два пространственно сближенных поля – Алакит-Мархинское и Далдынское. Размещение этих кимберлитовых полей определяется сложной системой разнонаправленных глубинных рифтогенных разломов Далдыно-Оленекской и Вилюйско-Котуйской систем. Выявленные здесь неоднородности имеют сложное строение. Далдынское поле находится в пределах двух проводящих неоднородностей, разделенных высокоомным бло-

DOI: *10.18454/PMI.2017.2.170*

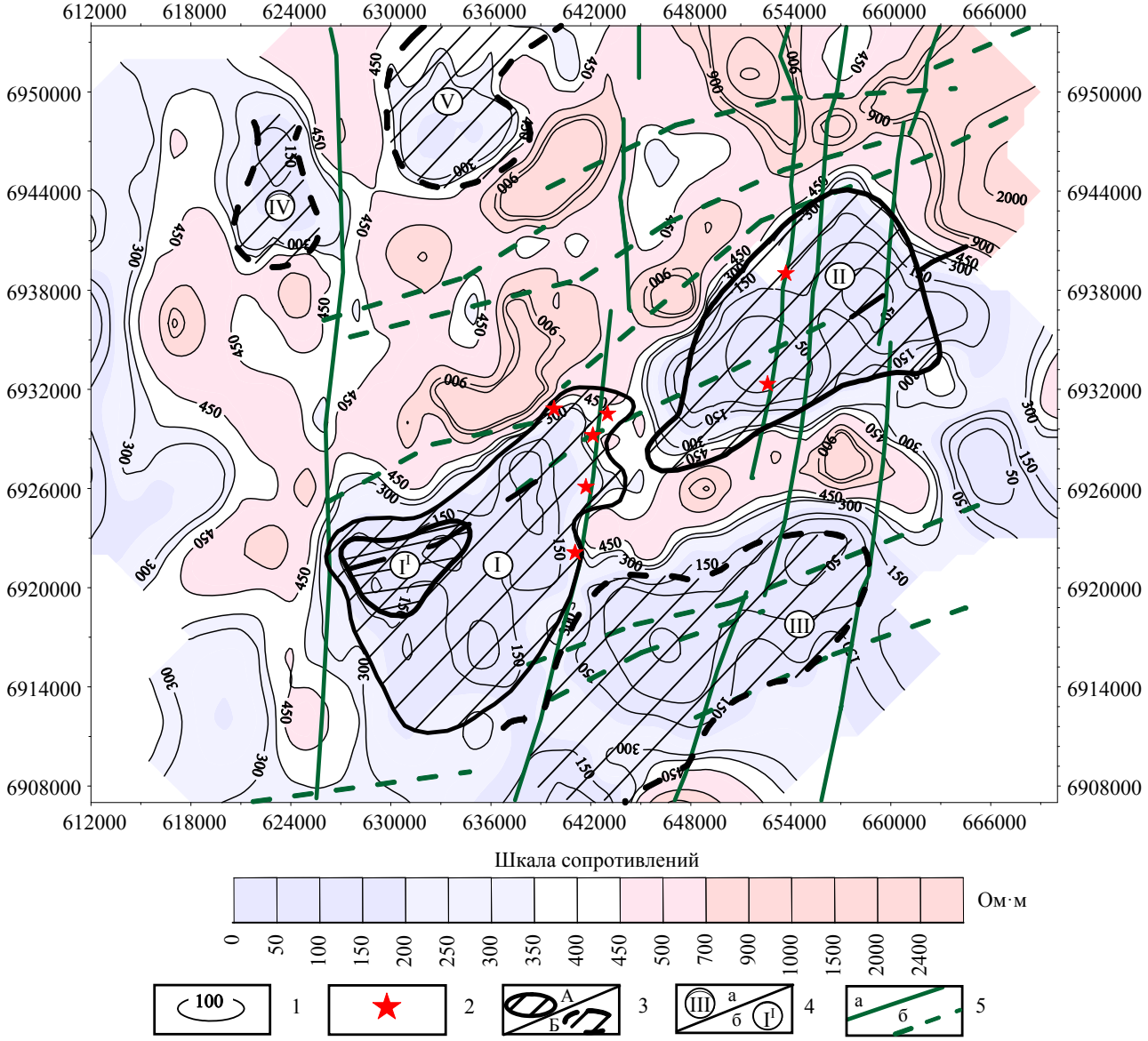


Рис.1. Схема распределения удельного электрического сопротивления на глубине 25 км в Малоботуобинском кимберлитовом районе

1 – изолинии удельного электрического сопротивления в ом-метрах; 2 – кимберлитовые трубки; 3 – проводящие геоэлектрические неоднородности: А – достоверные, Б – предполагаемые; 4 – порядковый номер и ранг проводящих неоднородностей: а – первого порядка, б – второго порядка; 5 – проекции: а – разломов Вилюйско-Мархинской системы, б – разрывных нарушений Укугутской системы разломов

ком земной коры, каждая из которых ранжируется на неоднородности более высокого порядка (рис.2, *а*). К последним приурочены кусты кимберлитовых трубок. Неоднородность, пространственно сопряженная с Алакит-Мархинским полем, представляет собой зону шириной более 50 км, в которой наблюдается чередование зон относительно повышенного и пониженного сопротивления (рис.2, *б*). В пределах последних располагаются кусты кимберлитовых трубок.

Таким образом, к факторам, контролирующим проявления кимберлитового магматизма в кимберлитовых районах ЯАП, можно отнести:

– глубинные системы рифтогенных разломов;

– области их пересечения в пределах блоков земной коры с высокими значениями удельного электрического сопротивления;

– проводящие проницаемые зоны, расположенные в узлах пересечения глубинных разломов.

Эти факторы можно рассматривать как критерии прогнозной оценки алмазоперспективных площадей не только Якутской субпровинции, но и других перспективных территорий Сибирской платформы, в пределах юго-западной части которой выделяется несколько потенциально перспек-

DOI: 10.18454/PMI.2017.2.170

тивных районов. В первую очередь, это территория Красноярского края и Эвенкийского АО (Ангаро-Тунгусская и Байкитская субпровинции), а также Иркутской области (Присаянская субпровинция).

С позиций алмазопоисковых работ наиболее полно и всесторонне изученным в юго-западной части Сибирской платформы является Тычанский алмазоносный район Байкитской кимберлитовой субпровинции. Район расположен в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Тунгусской синеклизы, в узле пересечения Ковино-Кординской зоны северо-западного простирания с Большепитско-Кислоканской и Ангаро-Сользаводской зонами глубинных разломов северо-восточного простирания. Согласно геологическим данным, поперечные разломные зоны северо-восточного простирания являются наиболее значимыми с позиций контроля кимберлитового магматизма. Большепитско-Кислоканская зона контролирует расположение районов с установленной алмазоносностью: Большепитский, Тычанский, Таймуро-Чунский, Илимпейский, – и далее трассируется как продолжение Далдыно-Оленекской зоны в ЯАП, контролирующей размещение Алакит-Мархинского, Далдынского и Мунского полей среднепалеозойских кимберлитов. Ангаро-Сользаводская зона разломов контролирует расположение эксплозивных пород Мотыгинского района и алмазоносных участков (Тарыдакский, Енболакский, Мирюгский) Чадобецкого района.

Основной информацией, свидетельствующей о высоких перспективах Тычанского района на обнаружение коренных источников алмазов, являются данные о широком распространении на его территории алмазов и минералов-спутников в терригенных отложениях нижнего-среднего карбона [9]. Идентификация ореолов по характеру продуктивности коренных источников показывает, что все они сформированы за счет алмазоносных (возможно, высокоалмазоносных) кимберлитовых тел [2]. Однако коренные источники алмазов не найдены.

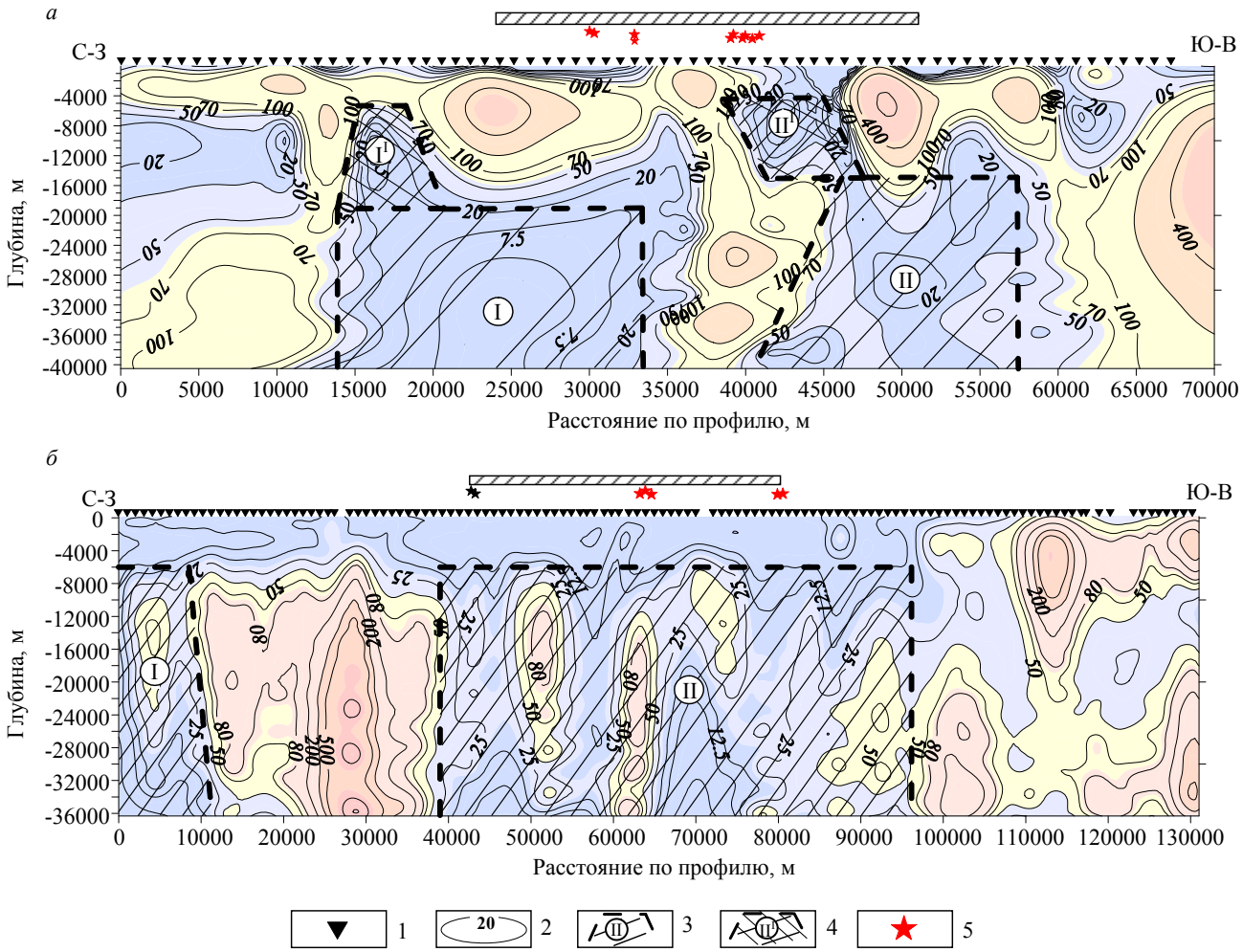


Рис.2. Глубинные геоэлектрические разрезы: *а* – через Далдынское кимберлитовое поле, *б* – через Алакит-Мархинское кимберлитовое поле

1 – пункты МТ-зондирований; 2 – изолинии удельного электрического сопротивления; 3 – проводящие неоднородности первого порядка; 4 – проводящие неоднородности второго порядка; 5 – кимберлитовые трубки

DOI: *10.18454/PMI.2017.2.170*

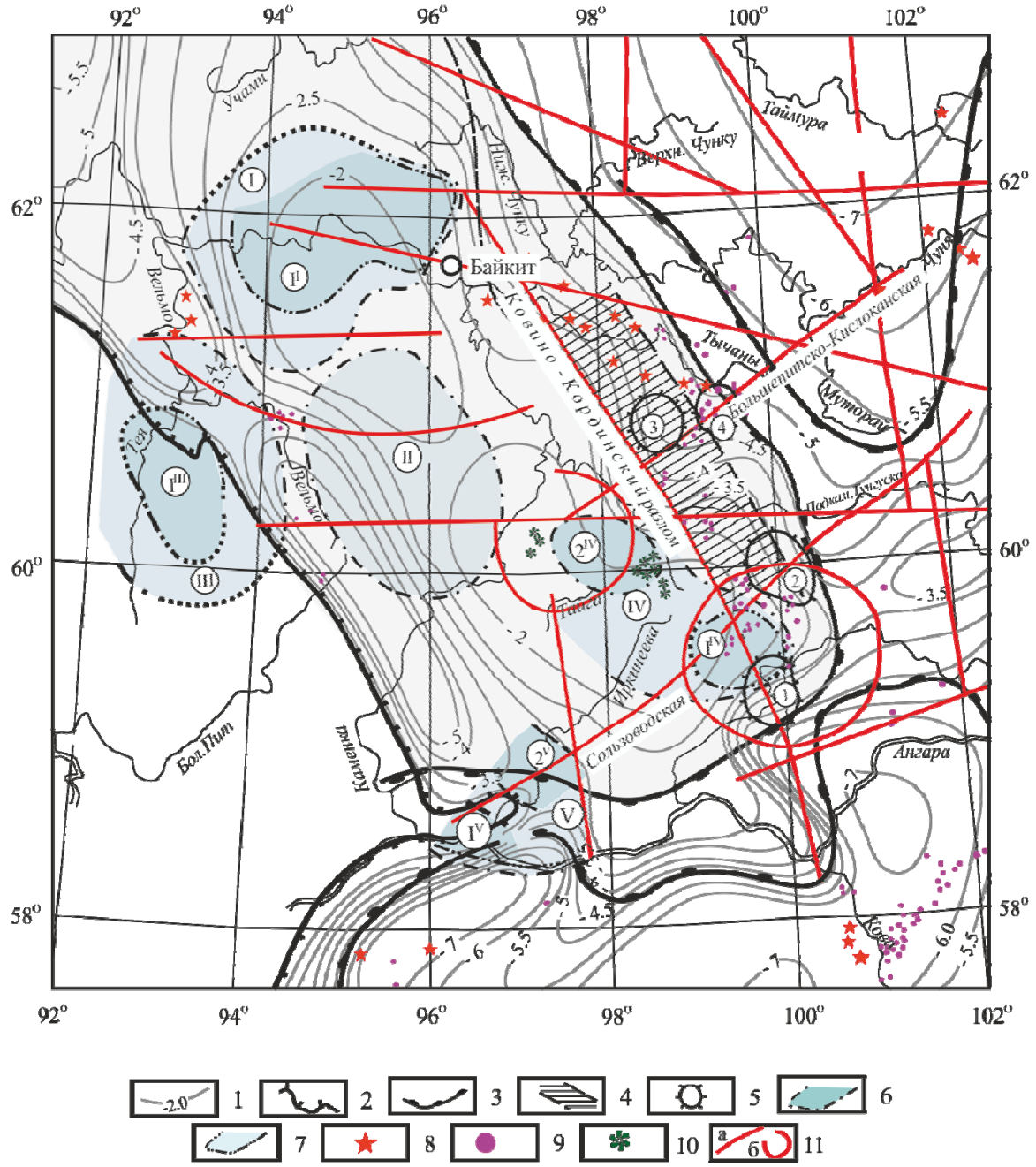


Рис.3. Схема результатов магнитотеллурических исследований в Байкитской кимберлитовой субпровинции

1 – изолинии поверхности докембрийских метаморфизованных пород; 2 – граница Сибирской платформы (выходы PR1); 3 – контуры кимберлитовой провинции; 4 – контуры Ковино-Кординской зоны; 5 – локальные поднятия: 1 – Чадобецкое, 2 – Тарыдакское, 3 – Хушмуканское, 4 – Шушукское; 6 – проводящие геоэлектрические неоднородности первого порядка: I – Полигусская, II – Камовская, III – Вельминская, IV – Ковино-Кординская, V – Иркинеевская; 7 – проводящие геоэлектрические неоднородности второго порядка: 1^{I} – Полигусская, 1^{III} – Тейская, 1^{IV} – Чадобецкая, 1^{V} – Ангарская, 2^{IV} – Тайгинская, 2^{V} – Иркинеевская; 8 – находки алмазов; 9 – находки пиропов; 10 – кимберлиты; 11 – зоны глубинных разломов (а) и кольцевые структуры (б), Геологическая карта м-ба 1 : 2500 000, 1980

По данным магнитотеллурических исследований, в пределах Байкитской кимберлитовой субпровинции наиболее перспективной на обнаружение коренных источников алмазов является площадь, расположенная параллельно Ковино-Кординской зоне и объединяющая серию проводящих неоднородностей (I, II, IV), расположенных в узлах пересечения глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простирания (рис.3). В зоне сочленения Байкитской антеклизы с Енисейским кряжем, в пределах прогнозируемой Енисейской кимберлитовой субпровинции [6], выделена еще одна зона пониженного сопротивления (III). Она приурочена к узлу пересечения Анкиновской зоны глубинных разломов, ограничивающей горстовое сооружение Ени-

DOI: 10.18454/PMI.2017.2.170

сейского кряжа, и оперяющего разлома субширотного простирания в пределах Усть-Чапинского поднятия (рис.3). Пространственно неоднородность сопряжена с прогнозируемым здесь Вельминским кимберлитовым полем [5, 6]. В пределах перспективной площади в левых притоках нижнего течения реки Чапа установлены минералы-спутники алмазов [5]. По мнению П.П.Курганькова с соавторами [5, 6], снос минералов-спутников в современный аллювий происходит из промежуточного коллектора, расположенного (или располагавшегося) либо на водоразделе рек Большая, Малая Жадуга и Большая, Малая Колонка, либо непосредственно с Усть-Чапинского поднятия.

Перспективы *Присаянской кимберлитовой субпровинции*, по мнению большинства исследователей [1, 8, 12, 13], связаны с Урикско-Туманшетской интракратонной мобильной зоной (УТМЗ) раннепротерозойского заложения, состоящей из Урикско-Ийского и Туманшетского грабенов и Присаянского прогиба. В пределах Урикско-Ийского грабена установлены алмазоносные жильные тела флогопит-оливиновых лампроитов. Жилы лампроитов и ореолы минералов-спутников образуют полосу шириной 5-8 км и протяженностью около 30 км и в совокупности составляют Ингашинское лампроитовое поле. В региональном структурном плане Урикско-Ийский грабен является одним из элементов Присаянской провинции высококалиевых щелочных пород и лампроитов, приуроченной к УТМЗ. Формирование зоны происходило в условиях зрелой континентальной коры, консолидация которой завершилась становлением раннепротерозойских гранитоидов Саянского комплекса. До этого события (начало раннего протерозоя) активные аккреционно-коллизионные процессы на границе Сибирского кратона и Урало-Монголо-Охотского палеоокеана способствовали утолщению литосферы в области локализации УТМЗ [1]. Это привело к сохранению благоприятных термодинамических условий для устойчивости алмаза в основании протерозойской литосферы. Данные по магматизму Урикско-Ийского грабена свидетельствуют о том, что неоднократная реактивация не сопровождалась широкомасштабным магматизмом и значительной структурной перестройкой, которые могли бы привести к уменьшению алмазоносных краевых частей кратонной литосферы и снижению ее продуктивности [12]. На основании этой концепции сделан вывод, что с позиций региональных и локальных критериев алмазоносности этот район является одним из наиболее перспективных объектов юга Сибирской платформы на коренные и россыпные месторождения алмазов.

Результаты геофизических работ, проведенных в пределах Тулуно-Тайшетского Присаянья, позволили значительно расширить перспективы алмазоносности Присаянской кимберлитовой субпровинции. Проведенные здесь магнитотеллурические исследования дополнили существующее представление о глубинном строении зоны сочленения Сибирской платформы с Восточно-Саянским горным обрамлением. В результате комплексного анализа магнитотеллурических данных и материалов других глубинных геолого-геофизических методов в Присаянье установлены две наиболее стратифицированные поверхности: V_1 и Ф. Первая служит границей надсолевых и солевых отложений, вторая приурочена к границе осадочного платформенного чехла и его кристаллического основания. В рельефе фундамента выделено три крупных структурных элемента первого порядка: Присаянский венд-рифейский прогиб, Нижнеудинское валообразное поднятие и Чуньская впадина (рис.4). Присаянский прогиб выделяется в предгорье Восточного Саяна и устанавливается по развитию здесь мощной (до 3 км) толщи отложений венда, в то время как в платформенной части его мощность не превышает 200 м. Присаянский прогиб находится в ряду таких прогибов, как Прибайкальский, Нюйско-Джербинская и Березовская впадины, а также венд-рифейские прогибы, окаймляющие со стороны платформы Енисейский кряж и Саяно-Байкальский мост. Все эти прогибы, а также Чуньская впадина являются компенсационными впадинами орогенов байкалид Байкало-Патомского нагорья и Енисейского кряжа.

В пределах Нижнеудинского валообразного поднятия происходит выклинивание мощной толщи венд-рифейских отложений и отмечается повышение продольной интегральной проводимости платформенного чехла. В центральной части поднятия в узле пересечения глубинных разломов субширотного и юго-восточного простирания выделяется Присаянская проводящая неоднородность первого порядка глубиной 20 км и сопротивлением 5-10 Ом·м (рис.4). В ее пределах располагаются Удинская и Нижнеудинская неоднородности второго порядка с глубиной залегания порядка 10 км и сопротивлением 2-3 Ом·м (рис.4).

DOI: 10.18454/PMI.2017.2.170

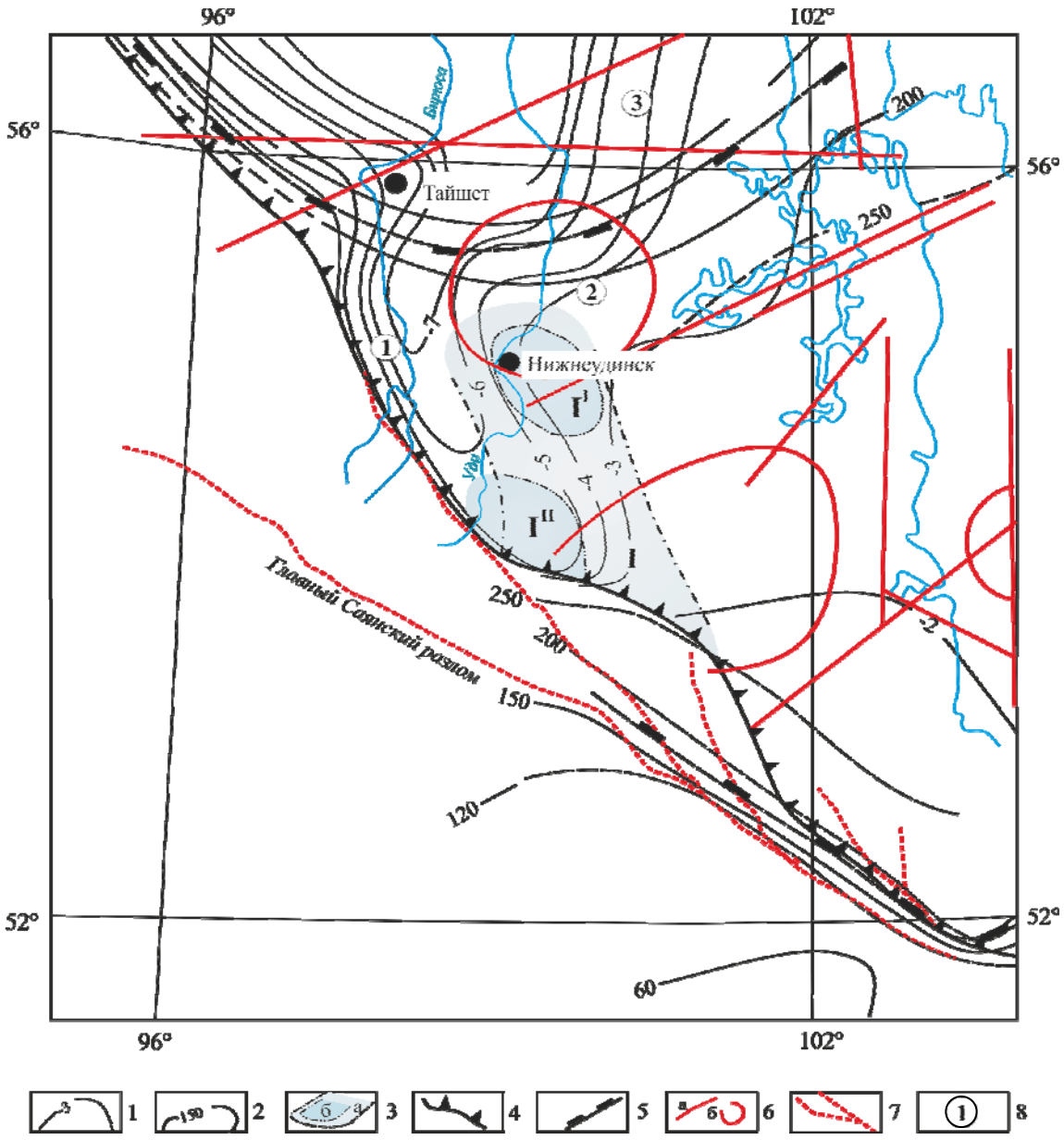


Рис.4. Результаты магнитотеллурических исследований в Тулуно-Тайшетском Присаянье

1 – изолинии поверхности докембрийских метаморфизованных пород в километрах; 2 – изоглубины поверхности астеносферы в километрах; 3 – контуры проводящих геоэлектрических неоднородностей: а – первого порядка (I – Присаянская); б – второго порядка (I^{I} – Нижнеудинская, I^{II} – Удинская); 4 – граница Сибирской платформы; 5 – контуры кимберлитовой провинции; 6 – глубинные разломы (а) и кольцевые структуры (б), Геологическая карта м-ба 1:2500 000, 1980; 7 – разломы; 8 – структуры фундамента: 1 – Присаянский венд-рифейский прогиб, 2 – Нижнеудинское валообразное поднятие, 3 – Чуньская впадина

Заключение. Анализ результатов магнитотеллурических исследований, проведенных в пределах кимберлитовых районов Сибирской провинции, показал, что известные и предполагаемые кимберлитовые поля пространственно сопряжены с проводящими геоэлектрическими неоднородностями. Эти неоднородности располагаются в узлах пересечения рудоконтролирующих, различных по направлению зон глубинных разломов и выделяются на фоне блоков земной коры с высокими значениями удельного электрического сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алтухов Е.Н.* Тектоника и металлогения юга Сибири. М.: Недра, 1986. 247 с.

2. *Афанасьев В.П.* Оценка перспектив алмазоносности Тунгусской синеклизы (по геологическим, минералогическим и геохимическим данным) / В.П.Афанасьев, Г.А.Мкртычьян, Н.П.Похиленко // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2001. С. 448-454.

DOI: *10.18454/PMI.2017.2.170*

3. *Витте Л.В.* Региональные магнитные и гравитационные аномалии Сибирского кратона и их геологическая природа / Л.В.Витте, А.Н.Василевский, Е.В.Павлов // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 6. С. 21-39.

4. *Караев Н.А.* Связь кимберлитовых полей с транскоровыми и корово-мантийными структурами, отображаемыми в сейсмических аномалиях гетерогенных систем / Н.А.Караев, Я.Я.Биезайс, П.А.Лебедкин // Технологии сейсморазведки. 2008. № 1. С. 80-90.

5. *Курганьков П.П.* Модель образования различных транспортеров алмазов и перспективы алмазоносности центральной Сибири / П.П.Курганьков, И.А.Кузьмин // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. 2007. Вып. 8. С. 161-169.

6. *Курганьков П.П.* О перспективах открытия не кимберлитовых источников алмазов в пределах Енисейской провинции (Енисейский кряж) / П.П.Курганьков, И.А.Кузьмин // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях, научное и методико-технологическое обеспечение их решений. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. С. 252-261.

7. *Кутинов Ю.Г.* Тектонические критерии выделения таксонов кимберлитового магматизма Архангельской алмазоносной провинции / Ю.Г.Кутинов, З.Б.Чистова // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России. Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. С. 226-230.

8. Лампроиты и кимберлиты Присаянья: состав, источники, алмазоносность / К.Н.Егоров, А.И.Киселев, Ю.В.Меньшагин, Ю.А.Минаев // Доклады РАН. 2010. Т. 435. № 6. С. 7971-7979.

9. *Мкртычьян А.К.* Перспективы коренной алмазоносности южной части Тычанского района / А.К.Мкртычьян, М.Л.Кавицкий, А.С.Варганов // Разведка и охрана недр. 1997. № 1. С. 18-21.

10. *Поспеева Е.В.* Геоэлектрические неоднородности земной коры в связи с кимберлитовым магматизмом юга Якутской алмазоносной провинции / Е.В.Поспеева, А.В.Манаков, В.А.Матросов // Вестник Воронежского государственного университета. 2004. № 1. С. 137-147.

11. *Поспеева Е.В.* Литосферные геоэлектрические неоднородности как один из критериев кимберлитоперспективных площадей // Геофизика. 2008. № 5. С. 51-57.

12. *Секерин А.П.* Этапы магматизма и алмазоносность центральной части Урикско-Ийского грабена Присаянья / А.П.Секерин, Ю.В.Меньшагин, К.Н.Егоров // Отечественная геология. 2001. № 6. С. 38-43.

13. Состав и источники магматизма среднепалеозойской рифтовой области и проблема совмещения его базитовых и кимберлитовых производных / К.Н.Егоров, А.И.Киселев, В.В.Ярмолюк, А.В.Никифоров // Доклады РАН. 2011. Т. 436. № 2. С. 221-227.

14. *Clifford T.N.* Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces in Africa // Earth. Planet. Sci. Lett. 1966. Vol.1. N 6. P. 421-434.

Автор **Е.В.Поспеева**, *д-р геол.-минерал. наук*, *ведущий научный сотрудник*, *PospeevaEV@ipgg.sbras.ru* (*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения РАН*, *Новосибирск*, *Россия*).

Статья принята к публикации 13.02.2017.