

Кора — мантия — ядро

Crust — Mantle — Core / Krusten — Mantel — Kern

УДК (550.832:552.323.6)(470.11)

Кутинов Ю.Г.*,
Чистова З.Б.**



Ю.Г. Кутинов



З.Б. Чистова

Архангельская алмазоносная провинция на мелкомасштабных геологических, тектонических и геофизических картах

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы 0410-2014-0024 «Разработка комплексной физико-геоэкологической количественной модели взаимодействия (литосфера, гидросфера, биосфера, атмосфера и, частично, ионосфера) в районах тектонических узлов севера Русской плиты и оценка их влияния на окружающую среду»

*Кутинов Юрий Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, директор Центра космического мониторинга Арктики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, академик Европейской академии естественных наук (Ганновер) и Итальянской академии социальных и экономических наук (Рим)

E-mail: kutinov@iepn.ru, yury-g-kutinov@j-spacetime.com

**Чистова Зинаида Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

E-mail: zinaida-b-chistova@j-spacetime.com, zchistova@yandex.ru

Комплексный анализ геолого-геофизических материалов территории Восточно-Европейской платформы и более детально Европейского Севера России показал, что Архангельская алмазоносная провинция отчетливо проявляется: в пониженных значениях температуры литосферы от дневной поверхности до глубины, как минимум, 200 км; в значениях теплового потока; в структуре потенциальных геофизических полей; в строении поверхности Мохо и кристаллического фундамента; в мощности нижнего, среднего и верхнего слоя земной коры; в современном геодинамическом режиме, что отражается в макросейсмическом поле, дегазации и ионизации атмосферы.

Ключевые слова: кимберлитовая провинция, таксон, границы, геолого-геофизические материалы, мегалит, плюм, земная кора, поверхность Мохоровичича.

Введение

До сих пор такие минерагенические таксоны, как кимберлитовые провинции, субпровинции, пояса, районы (области), поля, кусты, не приобрели обоснованных структурных очертаний. Между тем образование и локализация разномасштабных кимберлитовых таксонов обусловлены принципиально разными по масштабу природными процессами [Миллашев 1990]. Образование кимберлитов — это сложный многоактный процесс, для понимания которого необходимо реконструировать факторы структурно-тектонического контроля стадия за стадией, начиная с коровой тектонической обстановки и до литосферных процессов, ведущих к образованию кимберлитов.

Задача, связанная с изучением границ разноранговых кимберлитовых таксонов, методически чрезвычайно сложна. Более того, в решении этой проблемы до сих пор сделано мало не только для относительно новой Архангельской (Русской) провинции (ААП), но и для других алмазоносных регионов мира. Прогнозирование таксонов кимберлитового магматизма на территориях с известным его проявлением является не менее неопределенной задачей, чем при его отсутствии на новых перспективных площадях. Прозвучавшее в одной из работ [Ваганов и др. 1995] утверждение, что принципиальные вопросы прогноза кимберлитовых таксонов на сегодняшний день могут считаться в основном решенными, на наш взгляд, несколько преждевременное. Признавая исключительную приуроченность кимберлитового магматизма к древним платформам, исследователи значительно расходятся в определении главнейших факторов локализации ким-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

берлитов. Вопрос о границах кимберлитовых таксонов, имеющий большое научное и практическое значение, является наименее изученной и почти не освещенной в печати частью общей проблемы природных границ минерагенических таксонов. Он неизбежно встает при каждом новом открытии проявлений щелочно-ультраосновного магматизма и не утрачивает своей остроты для давно известных площадей распространения кимберлитов.

Для использования данных различных исследователей в рамках формально-логического подхода к интерпретации необходимо иметь: многофакторную и многоуровневую прогнозно-поисковую модель и описывающие ее уравнения; и обобщенную многофакторную модель природного алмазообразования, которые на настоящий момент отсутствуют. Наличие вышеуказанных моделей позволило бы с единых методических позиций подойти к решению проблемы прогнозирования разноранговых проявлений кимберлитового магматизма.

Геологическая история севера Русской плиты тесно связана с эволюцией Балтийского щита и во многом ею обусловлена. В настоящее время юго-восточное Беломорье рассматривается большинством исследователей в качестве одного из узлов позднедевонского щелочного магматизма, охватывающего практически всю северную часть Восточно-Европейской платформы [Архангельская алмазоносная... 1999]. Подтверждением этого служат многочисленные дайки и трубки ультраосновных фойдитов, оливиновых мелилититов и алмазоносных кимберлитов вдоль Терского берега Белого моря [Калинкин и др. 1993], трубки взрыва на Среднем Тимане [Мальков, Холопова 1995] и т.п. (рис. 1).

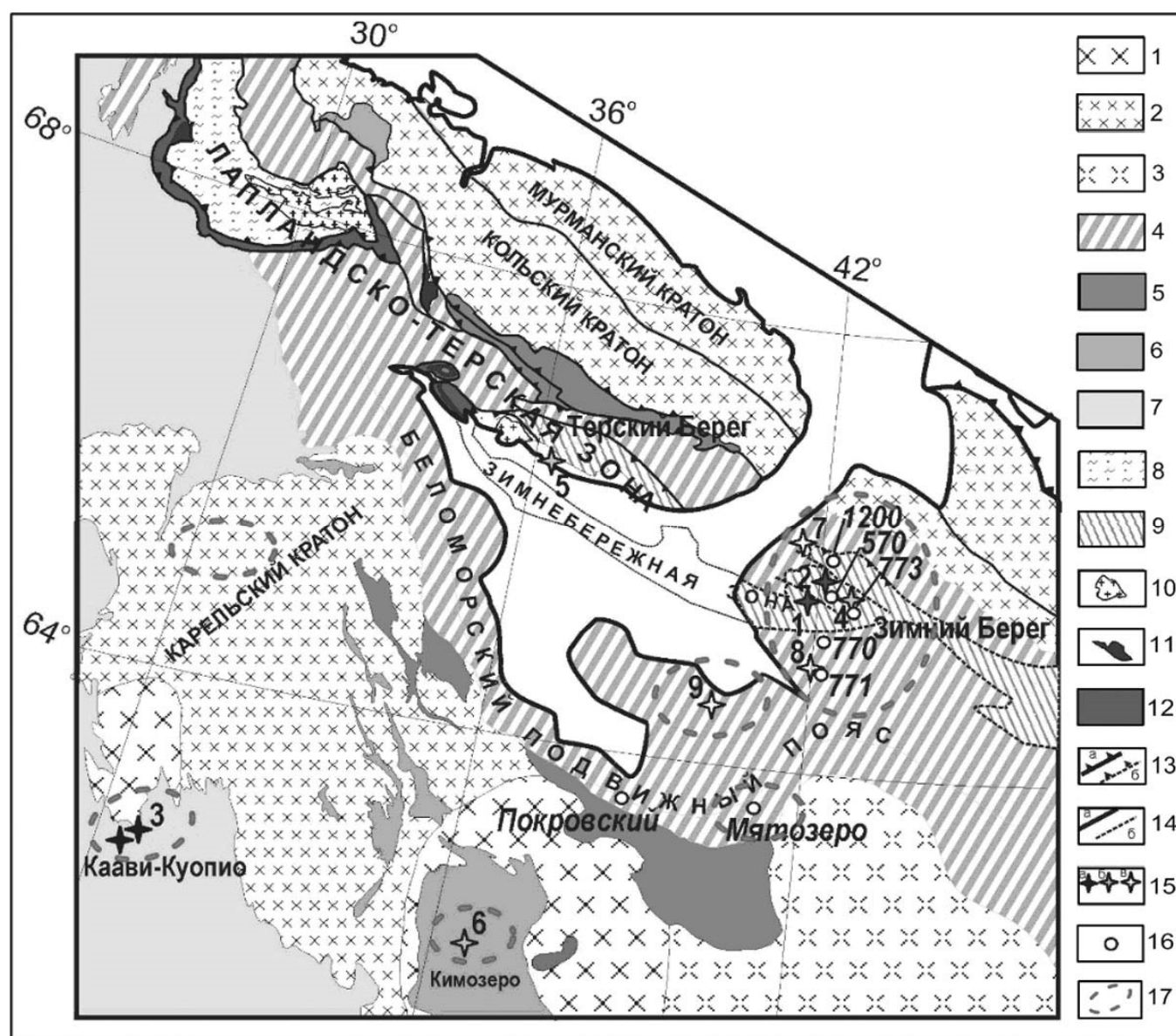


Рис. 1. Тектоническая схема севера Восточно-Европейского кратона [Коротков 2011]

1—3 — архейские блоки: 1 — мезоархейские; 2 — неоархейские; 3 — неуставленного возраста; 4 — Беломорский подвижный пояс; 5—12 — палеопротерозойские структуры: 5 — начала палеопротерозоя; 6 — с установленным многоэтапным развитием; 7 — свекофенской области; 8—12 — Лапландско-Терская и Зимнебережная структурные зоны: 8 — метаосадки; 9 — ТТГ ортогнейсы, гранитоиды; 10 — эндербиты, чарнокиты; 11 — анортозиты; 12 — коллизионный меланж; 13—14 — тектонические нарушения: 13 — надвижки: а — установленные, б — предполагаемые; 14 — прочие: а — установленные, б — предполагаемые; 15 — проявления (поля) кимберлитового и родственного магматизма: а — алмазоносные (1 — Золотицкое, 2 — тр. им. В. Гриба, 3 — Каави-Куопио); б — убого алмазоносные (4 — Кепинское, 5 — тр. Ермаковская, 6 — Кимозеро); в — неалмазоносные (7 — Мельское, 8 — Чидвинско-Ижмозёрское, 9 — Нёнокское); 16 — точки опробования (скважины, их номера, карьеры); 17 — участки проведения детальных исследований

Наличие появившихся в последнее время работ, посвященных геологическому строению и вещественному составу магматических пород региона [Архангельская алмазоносная ... 1999; Губайдуллин 2002; Кутинов, Чистова 2001; Кутинов, Чистова 2004], позволяет авторам не останавливаться на этих вопросах.

Кимберлитовые провинции. Состояние проблемы

Считается, что размещение региональных проявлений кимберлитового магматизма определяется следующими факторами: мощностью и составом земной коры, позволяющими процессу эволюции глубинных магм достигать определенного уровня; наличием линейных деформаций на поверхности мантии и в земной коре, инициирующих при определенных условиях формирование мантийных диапиров, над которыми происходит алмазообразование; историей развития алмазоносных структур.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Роль первого фактора достаточно общепризнана и подтверждается отсутствием кимберлитов и лампроитов за пределами докембрийских платформ, что позволяет рассматривать их в качестве территорий распространения — алмазоносных провинций. Поэтому наиболее крупная (глобальная) минерагеническая единица — кимберлитовая провинция — в тектоническом отношении обычно выделяется по границам соответствующей древней платформы. В то же время, кимберлиты образуют локальные скопления, а не размещены равномерно по территории всей платформы.

Под термином провинция, в общем смысле, понимается «весьма крупная рудоносная площадь, совпадающая с геосинклинальной областью, системой или сравнимого масштаба крупной структурой платформ, характеризующаяся минерализацией определенного типа и формирующаяся в течение одного или нескольких тектоно-магматических циклов — металлогенических эпох» [*Геологический словарь 19736, с. 141*]. В данном исследовании под термином «минерагеническая провинция» понимается не только совокупность пространственно-сближенных месторождений, но и рудообразующая система, сформировавшая данный таксон. Следует отметить, что минеральные месторождения, слагающие провинции, — это особый (аномальный) элемент геологической среды и рудно-магматической системы (РМС), отражающий ее структурную, вещественную и энергетическую неоднородность. В ходе геологических процессов, составляющих единую природную систему, минеральные неоднородности наблюдаются всегда, однако лишь некоторые из них входят в ранг месторождений (экономический критерий). В то же время система как таковая сохраняется и имеет свои интегральные свойства. Часто наличие или отсутствие месторождений не определяет системность протекающих в среде геологических процессов, а отражает изученность территорий.

Процессы образования рудных месторождений (в первую очередь эндогенных) не ограничиваются только объемом земной коры, в котором они непосредственно располагаются. Напротив, они занимают сравнительно небольшую часть эндогенных рудообразующих систем, которые представляют собой совокупность источников рудных компонентов, генерирующих их магматических тел или метаморфических зон, путей миграции рудоносных расплавов и флюидов, подрудных и надрудных метасоматических и геохимических ореолов [*Казанский 1989*]. Иными словами, мы имеем дело с таким таксоном как минерагеническая провинция.

Важно подчеркнуть, что длительность функционирования таких систем может достигать десятков и сотен миллионов лет. Естественно, что в объеме литосферы, занятом рудообразующей системой, за это время могут происходить различные геологические процессы: погружение с накоплением осадочных и вулканогенных толщ, тектоническое скупивание, метаморфизм, повторная магматическая деятельность, общее поднятие территории с энергичной поверхностной эрозией и т. п. Эти геологические явления влияют на положение верхней и нижней границ эндогенной рудообразующей системы, изменяют направление миграции расплавов и флюидов, приводят к нарушению термобарического поля системы [*Казанский 1989*]. Может меняться и пространственное положение участков, благоприятных для рудоотложения, возникать многоярусное размещение месторождений разных генетических типов [*Глубинные условия ... 1986*]. То есть, минерагенические провинции относятся к сложным открытым системам. Определение систем и правила их исследований изложены в общей теории систем. Система — это множество элементов, приведенных в сложную иерархическую связь друг с другом, образующих неразрывную общность, обособившуюся от окружения и находящуюся с ним в состоянии динамического равновесия [*Ковалев 1990*]. Если система подвергается какому-нибудь внешнему воздействию, то внутри нее возникают процессы, направленные на подавление, нейтрализацию этого внешнего влияния. Чем сложнее система, тем разнообразнее ее внутренние и внешние взаимодействия, и тем выше устойчивость системы для блокирования возмущений.

Сложные открытые системы не только не пребывают в постоянном стационарном режиме, но не могут долго существовать и в режиме колебательном. Для них характерны так называемые режимы с перемешиванием [*Ковалев 1990*]. Подобные системы не подчиняются линейным закономерностям из-за большого числа внешних и внутренних связей и степеней свободы. Они обнаруживают устойчивость в целом при неустойчивости в каждой точке. В этих локальных неустойчивых системах идет обмен с окружающей средой информацией, энергией, веществом. Макросистемы относятся к системам с неустойчивой динамикой и появляются там, где возникают потенциалы и градиенты. В таких системах нередки катастрофические исходы, так критические состояния у них весьма чувствительны даже к небольшим возмущениям. Т.е. такие системы могут иметь разные черты при схожем генезисе и геодинамическом режиме.

В принципе, рудомагматическая система (осознано или неосознанно) многими авторами [*Глубинные условия ... 1986; Казанский 1989; Кутинов 2005*] положена в основу понятия провинция. В зависимости от гипотезы эволюции магматического расплава (очага), провинции могут быть комплексными или «одноформационными», также при этом меняются занимаемые ими площади и контуры их распространения. Так, например, Якутская провинция относится к провинциям металлогеническим щелочно-фемического типа (подтип с интенсивными проявлениями магматизма и эндогенного рудообразования) [*Геологический словарь 19736*]. В этом случае в ее состав, как минимум, входят кимберлиты, карбонатиты и траппы. Наиболее подробно эта гипотеза рассмотрена в работе С.В. Белова с соавт. [*Белов и др. 2008*], где в качестве сопряженной триады рассмотрены траппы, карбонатиты и кимберлиты, как продукт эволюции магматических плюмов. Ими выделены три этапа в развитии платформенного магматизма (излагается по [*Белов и др. 2008*]):

— на первом этапе в геодинамической обстановке прогибания формировалась достаточно разветвленная сеть крутых, преимущественно коровых разломов и трещин, обусловивших ареальный характер базитового магматизма. Этот геодинамический режим, скорее всего, был близок к режиму малоглубинного спрединга. В подобных условиях образовывались структуры типа щелевых рифтов, которые достигали низов коры или верхней мантии, ее экологического слоя, что и приводило к генерации существенно базальтового типа магматизма;

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

— на втором этапе по мере развития и углубления разломов проявления магматизма приобретают более глубинный и щелочной характер. Сначала, вслед за траппами, появляются лавовые образования трахидолеритов, фонолитов, мелилититов. Затем магматизм смещается в осевые части смежных с прогибами сводовых поднятий, где в связи с поднимающимися выступами разуплотненной мантии и ее восходящими потоками начинается процесс глубинного рифтогенеза и образования комплексов ультраосновных щелочных карбонатитов (УЩК). В целом, возникновение УЩК сопряжено с возникновением глубинных разломов, достигших перидотитового субстрата верхней мантии;

— на третьем этапе общего цикла платформенного магматизма процесс эволюционирует в сторону увеличения глубинности. Избыточное давление диапира при высоких экранирующих параметрах коры, неблагоприятных условиях разгрузки флюидов и диссипации температурного фронта приводило к отклонению термофлюидного потока к бортовым частям сводов. В результате плюмовые массы вызвали накопление напряжений и летучих компонентов на участках литосферы, отвечающим бортам сводов. Это приводило к возникновению флексуобразных перегибов в глубоких слоях и зон повышенной трещиноватости в литосфере. Именно этот момент эволюции платформ отвечает возникновению кимберлитового магматизма.

Тектонофизическая модель развития платформенного магматизма по С.В. Белову и др. [Белов и др. 2008] представлена на **рис. 2**.

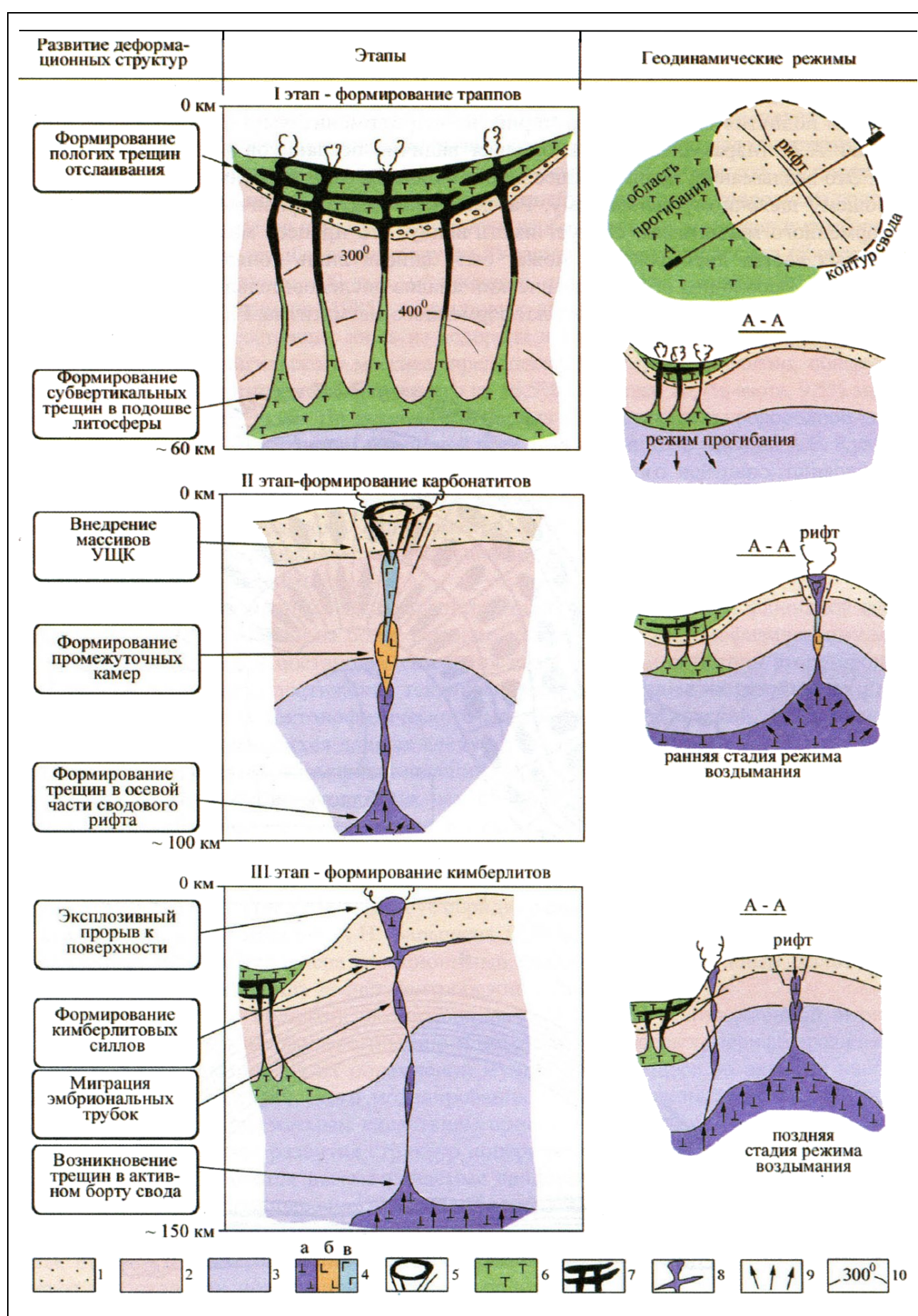


Рис. 2. Тектоно-физическая модель развития платформенного магматизма (по: [Белов и др. 2008]).

Центральная колонка — этапность платформенного магматизма, правая колонка — доминирующие геодинамические режимы, левая — развивающиеся деформационные структуры.

1 — осадочный чехол; **2** — кристаллический фундамент; **3** — верхняя мантия; **4** — ультрабазиты (**а**), породы серии якупирангит, мельтейгит, ийолит, уртит (**б**), нефелиновые сиениты и мелилититовые породы (**в**); **5** — карбонатиты; **6** — траппы; **7** — интрузивные трапповые силы, дайки и диатремы; **8** — кимберлитовые трубки, дайки, силы; **9** — направления главных усилий; **10** — положение изотерм в период формирования траппов

Несмотря на стройность изложенной гипотезы, в ее основе лежит не эволюция магматического расплава определенной специализации, а процессы развития древних платформ и геодинамические особенности этих процессов. В принципе, в подобную схему можно вполне корректно «уложить» и весь платформенный магматизм. В этом случае провинция

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

действительно совпадает с территорией платформы. Но если рассматривать только базиты, УЩК и кимберлиты, то контуры провинции уже не совпадают с площадью платформ, а значительно меньше последних. К тому же, рассмотренная триада не столь однородна как в возрастном отношении, так и в геодинамических режимах, что отмечают и сами авторы гипотезы [Белов и др. 2008], указывая, что рассмотренные комплексы пространственно разобщены и занимают разные позиции по отношению к тектоническим структурам.

С несколько иных позиций рассмотрены кимберлитовые провинции в работе В.А. Милашева [Милашев 1990]. Под термином кимберлитовая провинция понимается «наиболее крупное среди генетически единых подразделений в областях платформенного ультраосновного и щелочно-ультраосновного вулканизма, охватывающее обширную территорию обычно субизометричных очертаний, в центре которой развиты ранние кимберлиты, сформировавшиеся при максимальных давлениях и температурах, в мезозоне — более молодые кимберлиты, сформировавшиеся при средних параметрах, а на периферии — поздние кимберлиты, образовавшиеся при минимальных термодинамических параметрах кимберлитовой фации, а также комагматичные им порфиновые ультраосновные и щелочно-ультраосновные породы пикритовой фации» [Милашев 1990, с. 37].

Такие провинции получили название полнозональных (например, Калахарийская, Центрально-Сибирская и др.). Известны также провинции неполнозонального строения, в центральной части которых находятся поля совместного развития алмазной и пироповой субфаций, а их периферийные зоны достигают больших размеров и характеризуются широким распространением щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов (Американская и Южно-Сибирская провинции). Существуют также и неразвитые провинции (провинция срединного массива Колорадо), в центральной части которых встречаются кимберлиты лишь пироповой субфации, а на их периферии порфиновые ультраосновные и щелочно-ультраосновные породы пикритовой фации, карбонатитов и комплексы интрузивных щелочно-ультраосновных и щелочных пород [Милашев 1990]. По мнению В.А. Милашева [Милашев 1990], перспективность провинций уменьшается от первого типа к третьему, практически бесперспективному. Следует отметить, что тип провинции на практике можно определить только после обнаружения коренных месторождений алмазов, подсчета их запасов и выявления размеров мезозоны (т.е. определение типа провинции позволяет оценить ее перспективность). Но на практике это возможно только после значительных капитальных затрат, когда перспективы конкретного кимберлитового таксона становятся ясны и без теоретических построений. В любом случае при такой классификации — контур провинции становится весьма неопределенным. Попытка объяснить такое строение провинций и их разную алмазность с позиций тектоники плит позволила сделать вывод, что наиболее полнозональные и богатые алмазами провинции находятся в центральных зонах протоматериков Гондвана и Лавразия [Милашев 1990]. Следует отметить, что по всем реконструкциям континентального дрейфа южная половина Африки до позднего мела (до конца эпохи формирования кимберлитов), находилась в центре суперконтинента Гондвана, что, вероятно, явилось причиной проявления здесь кимберлитового магматизма в больших масштабах, чем в других провинциях (рис. 3).

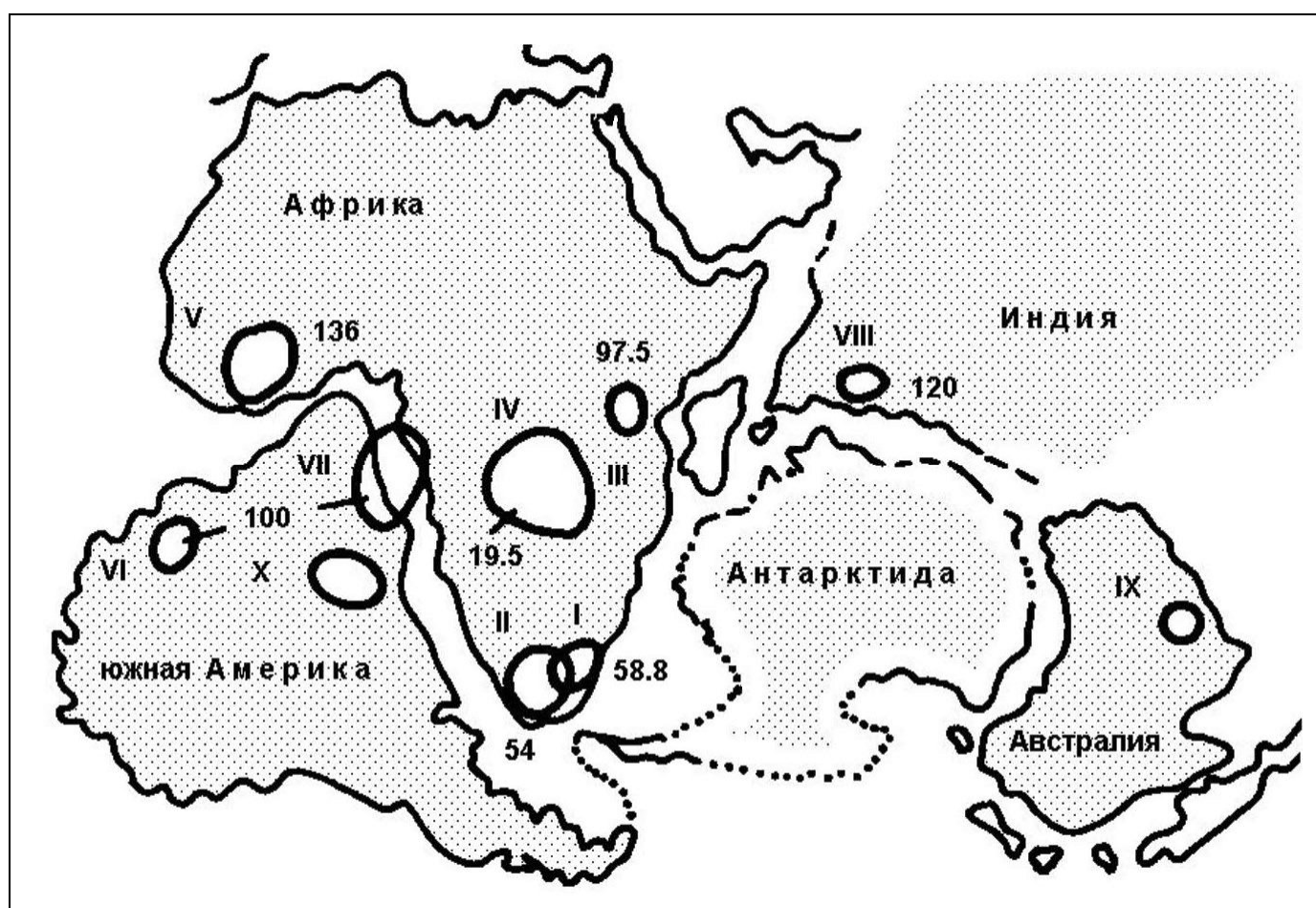


Рис. 3. Схема реконструкции Гондваны и расположение в ее пределах кимберлитовых провинций [Милашев 1990].

Кимберлитовые провинции: **I** — Трансваальская; **II** — Калахарийская; **III** — Конголезская; **IV** — Танзанийская; **V** — Либерийская; **VI** — Гвианская; **VII** — Восточно-Бразильская; **VIII** — Индийская; **IX** — Австралийская; **X** — Центральнобразильская.
Арабские цифры — средняя цена карата (в долларах США)

Сибирская, Восточно-Европейская и Северо-Американская провинции размещались в пределах Лавразии, которая на протяжении всего своего существования была достаточно раздроблена, т.е. входящие в ее состав кратоны были разде-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

лены обширными подвижными областями [Милашев 1990]. В этом случае можно говорить о таком таксоне как мегапровинция или суперпровинция, по В.А. Милашеву [Милашев 1990]. При этом необходимо выделять границы кимберлитовых провинций не в современных границах древних платформ, а в пределах контуров кратонов палеоматериков, для чего необходимы корректные реконструкции, причем с докембрия. Однако, по мнению Зоненшайна и др. [Зоненшайн и др. 1990], представить в какой-то мере достоверные реконструкции для докембрия пока невозможно.

В целом, начальный этап формирования геодинамического режима кимберлитовых провинций (протоэтап), происходящий до схемы, показанной на рис. 2 можно представить в виде последовательности показанной на рис. 4. Авторы отдают себе отчет о достаточно слабой проработанности данного предположения. Однако она позволяет объединить идеи плюм-тектоники и тектоники плит, т.к. как бы ни были слабо разработаны положения рудной геологии в тектонике плит, а также геологии древних платформ, о чем авторы уже указывали в одной из работ [Кутинов, 2005], движение плит является инструментально доказанным фактом.

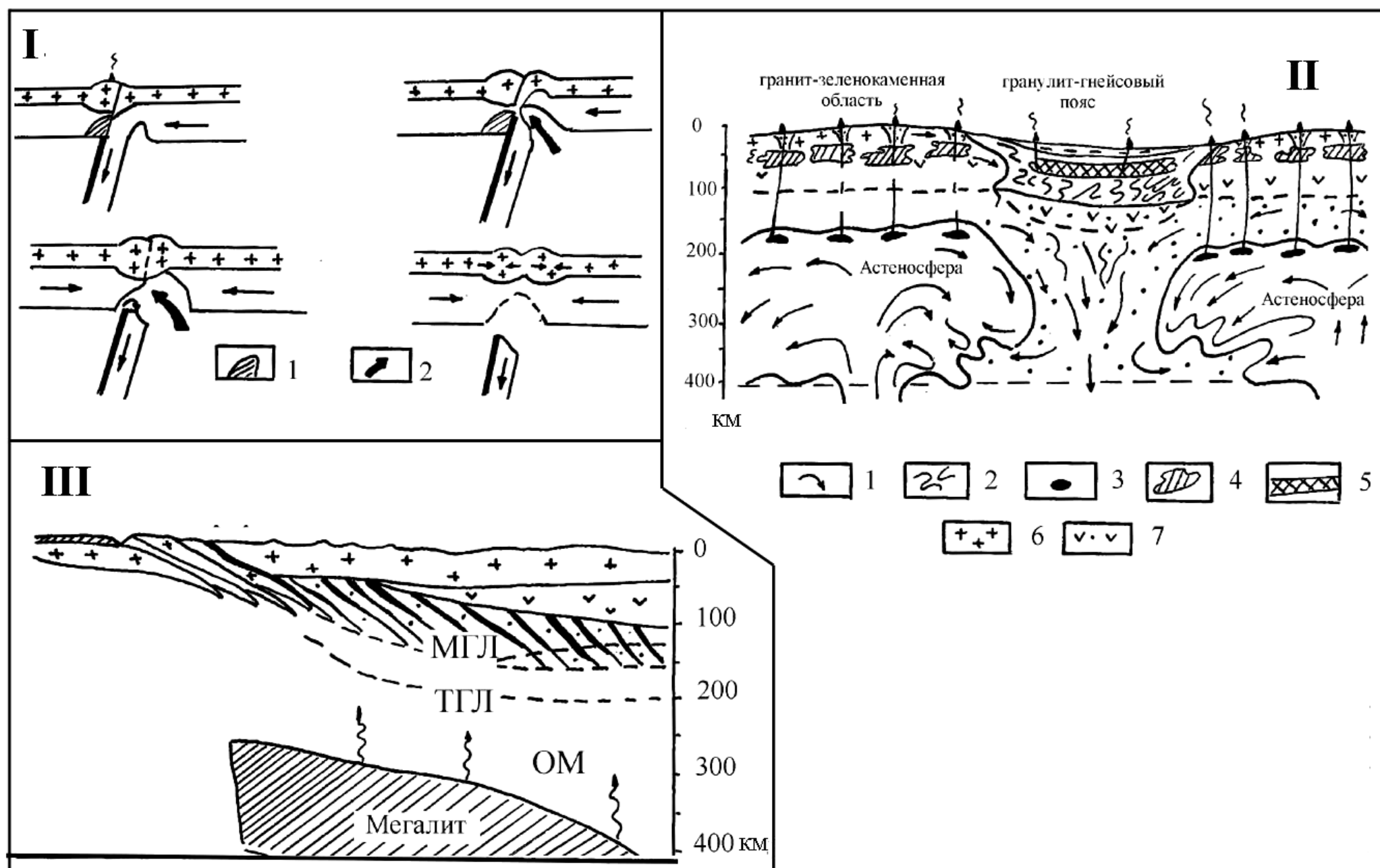


Рис. 4. Схема развития начального этапа возникновения платформенного (траппы, карбонатиты, кимберлиты) магматизма [Кутинов, Чистова 2013]

I — Отрыв субдцированной океанской литосферы: **1** — гидратированное вещество мантийного диапира;

II — Формирование мантийного клина («якоря») над нисходящими мантийными потоками: **1** — потоки вещества; **2** — область сгуживания материала; **3** — области плавления; **4** — магматические очаги под ГЗО; **5** — области новообразования нижней коры; **6** — континентальная кора; **7** — гранитизированные перидотиты;

III — Формирование деплетированной континентальной литосферы и обедненной мантии: **МГЛ** — механическая граница литосферы; **ТГЛ** — термальная граница литосферы; **ОМ** — обедненная мантия

Достаточно сложно представить, что такие длительные энергоемкие процессы не нашли своего отражения в глубинном строении регионов и были полностью «стерты» последующими этапами тектоно-магматических активизаций.

О наличии продвигающегося мегалита — остатка захороненной океанической литосферы, который согласно датированию океанических образцов с поздней перми находился под Лаврентией, и затем двигался в сторону Евразийской плиты, — указывалось в работе [Иотов, 1999]. Там же было высказано предположение, что благодаря вязкому сцеплению с мантией, движение мегалита вызывало возникновение в его фронте турбулентного потока (плюма), подъем и усиление вращения которого обуславливали ротационно-сдвиговое расслоение литосферы.

Гребень мегалита, как остаточное (впечатанное в расслоенную плиту) явление напряженно-деформированного состояния литосферы выделяется 200—300-километровой зоной повышенных (от 52 до 80 мВт/м² и более) значений теплового потока. Сам гребень из-под восточного склона Балтийского щита и Печорской плиты по циркумокеанической траектории прослеживается вдоль шельфа Баренцева и Карского морей, проходит по шельфовым окраинам Лаптевых, Восточно-Сибирского и Бофорта морей. Следует отметить, что все эти регионы перспективны также на нефть и газ.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

На правдоподобность такого предположения (движение мегалита) указывает повышенная мощность литосферы вдоль береговой линии Северного Ледовитого океана (СЛО), единство грави-магнитного поля, пояс воздымающихся структур конформных зоне спрединга и циркумпольный пояс землетрясений [Кутинов 2005].

Исследования глубинного строения земной коры в районе распространения кимберлитов в провинции Саскачеван (Канада) показали наличие глубинных неоднородностей, прослеживаемых до глубины 400 км [Лехи, Тэйлор, 1997].

Такие глубинные неоднородности были зафиксированы методами сейсмотомографии (рис. 5).

С этих позиций нами рассматривалась Архангельская алмазоносная провинция.

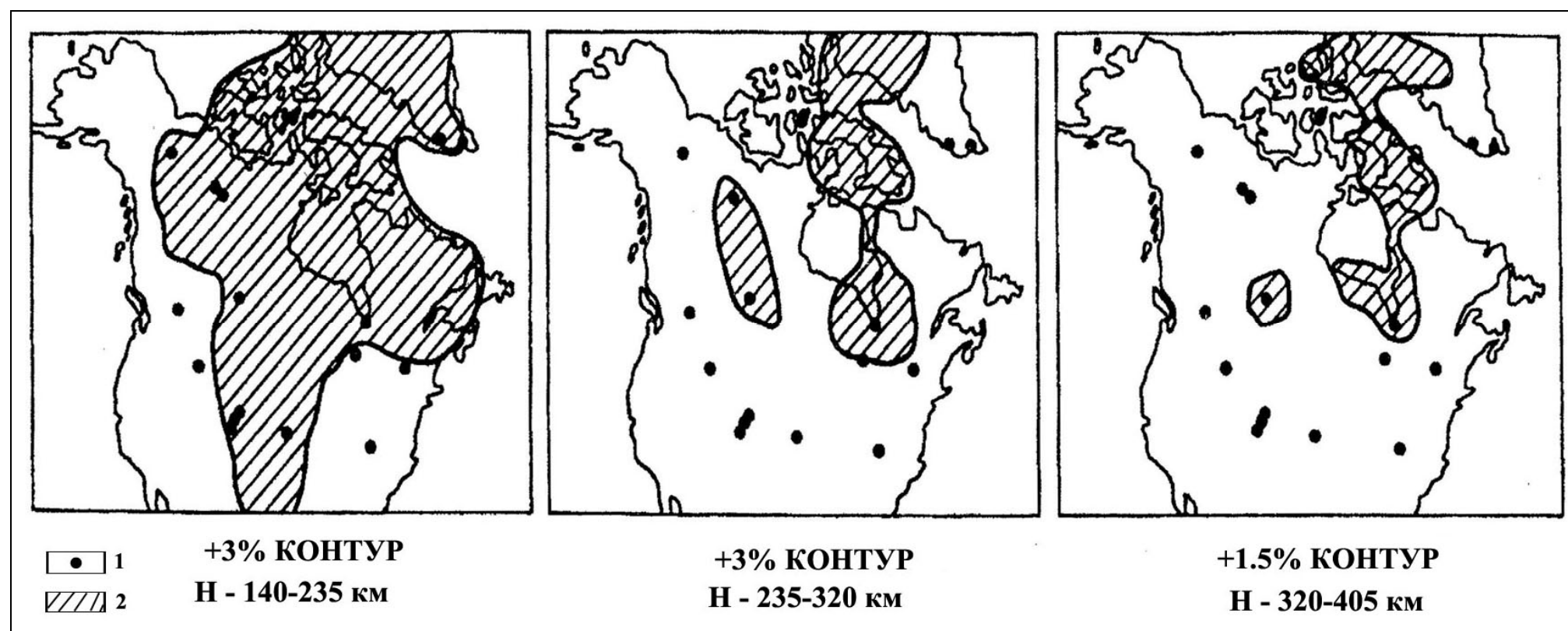


Рис. 5. Возмущенные скорости поперечных сейсмических волн согласно томографической инверсии сейсмических волн (провинция Саскачеван, Канада) [Лехи, Тэйлор 1997]

1 — выходы кимберлитов; 2 — проекция предполагаемых ослабленных зон на земной поверхности

**Отражение Архангельской алмазоносной провинции
в геофизических полях**

В настоящее время Архангельская провинция большинством исследователей рассматривается в качестве лишь одного из узлов ареала позднедевонского щелочного магматизма, охватившего, как минимум, всю северную часть Восточно-Европейской платформы [Архангельская алмазоносная ... 1999].

В северо-западной части ВЕП известны алмазоносные кимберлиты четырех возрастов:

- 1) палеопротерозойские (~1,986 млрд. лет) кимберлиты Кимозера в Центральной Карелии [Архангельская алмазоносная ... 1999];
- 2) мезопротерозойские (1235 млн. лет) лампроиты и кимберлиты в области Костамукша-Кухмо-Лентиира [Богатилов и др. 2009];
- 3) неопротерозойские (589—626 млн. лет) кимберлиты Каави-Куопио в Восточной Финляндии [O'Brien et al. 2005];
- 4) девонские (367—380 млн. лет) кимберлиты Терского Берега Кольского полуострова [Arzamastsev et al. 2001] и девонско-раннекаменноугольные (340—410 млн. лет) Зимнебережного района ААП.

Наиболее ранние проявления кимберлитового магматизма датируются поздним палеопротерозоем (более 2000 млн. лет), они представлены Кимозерским проявлением алмазоносных кимберлитов. Кимберлиты Кимозера, скорее всего, формировались 1986 ± 4 млн. лет назад (U-Pb датировка методом TIMS мантийных цирконов из кимберлитов [Богатилов и др. 2009]). Кимберлиты содержат обломки крупных кристаллов алмаза, но промышленная значимость проявлений Кимозера на настоящий момент не ясна. Внедрение кимберлитов происходило, по мнению О.А. Богатикова с соавт. [Богатилов и др. 2009], в обстановке пассивной окраины Свекофенского океанического бассейна.

Следующий импульс лампроитового и кимберлитового магматизма произошел в мезопротерозое (средний рифей, около 1235 млн. лет назад), когда внедрились многочисленные дайки и трубки лампроитов, кимберлитов и ультраосновных лампрофиров в области Костамукша-Кухмо-Лентиира [Богатилов и др. 2009]. Формирование щелочных ультрабазитов синхронно максимуму рифтогенеза западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и связывается с воздействием крупного плюма [Богатилов и др. 2009].

После перерыва длительностью около 500—600 лет, последовал неопротерозойский импульс кимберлитового магматизма, сформировавший два кимберлитовых поля Восточной Финляндии Каави-Куопио и Куусамо. Кимберлиты первого имеют возраст 589—626 млн. лет, второго — 759 ± 15 и 757 ± 2 млн. лет [Богатилов и др. 2009]. Кимберлитовый магма-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

тизм проявился синхронно с развитием неопротерозойских пассивных окраин ВЕП, связанного с распадом суперконтинента Родонии [Богатилов и др. 2009].

Характеристика девонского кимберлитового магматизма дана в работе [Кутинов, Чистова 2004].

Таким образом, формирование кимберлитового магматизма севера Русской плиты носило сложный многоактный характер и вряд ли может быть объяснено каким-либо одним фактором.

Рядом авторов [Архангельская алмазоносная ... 1999] по совокупности особенностей позднедевонского магматизма и сопоставления поведения элементов-примесей с островодужными вулканитами была разработана модель формирования литосферных источников EM1-типа мелилититов и кимберлитов ААП в раннем протерозое на основе гипотезы тектоники плит (рис. 6). По данным этих же авторов по времени проявления метасоматоз практически совпадал с главным метаморфическим этапом развития Лапландско-Беломорского гранулитового пояса. В настоящее время природа этого пояса, разделяющего Кольский и Беломорский мегаблоки, многими исследователями интерпретируется как зона, возникшая в результате коллизии между этими мегаблоками с субдукцией в северо-восточном направлении Беломорской плиты под континентальную литосферу Кольско-Архангельского региона и синхронным образованием задугового Печенга-Имандра-Варзугского рифта [Barbey et al. 1984].

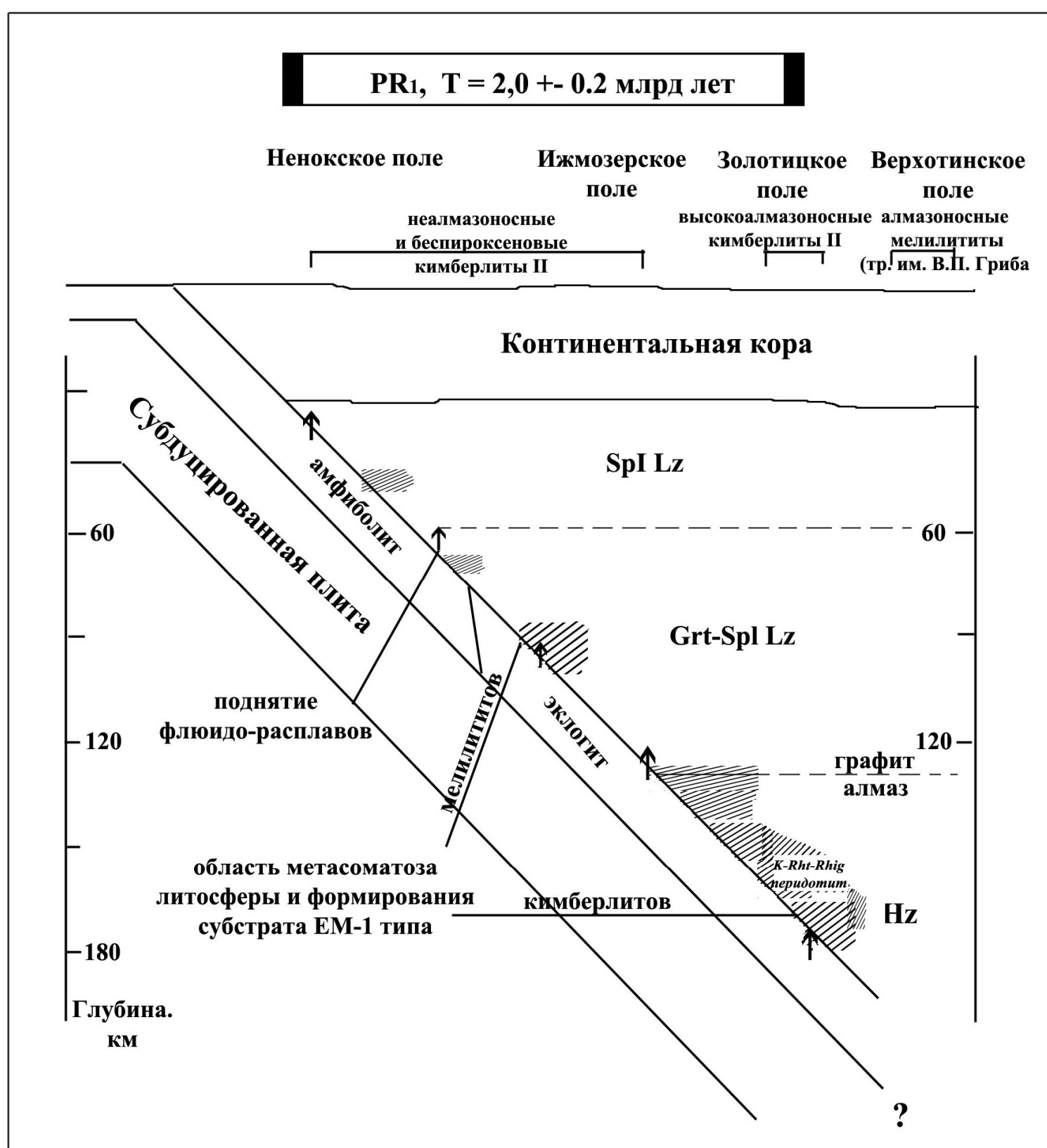


Рис. 6. Модель формирования литосферных источников EM1-типа оливиновых мелилититов и кимберлитов II группы Архангельской алмазоносной провинции [Архангельская алмазоносная... 1999]

Учитывая связь кимберлитового магматизма с пространственным размещением авлакогенов, следует отметить, что на Восточно-Европейской платформе раннерифейские авлакогены развивались преимущественно в центре, а в девонское время новообразованные авлакогены смещались к периферии платформы [Богатилов и др. 2009]. В то же время Восточно-Европейская платформа не сохранилась полностью, а была срезана Уральским подвижным поясом. В этой связи раннерифейский центр платформы не отвечает современному, а смещен к востоку. Исходя из этих предпосылок, в результате поисковых работ была показана высокая перспективность центральных регионов платформы на поиски кимберлитов [Ваганов 2000]. Таким образом, можно говорить о Русской алмазоносной провинции.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Применительно к ААП схема иерархического ряда (упрощённая до куста — группы тел) магматических формаций базальтовых, кимберлитовых и родственных им пород представлена на **рис. 7**.

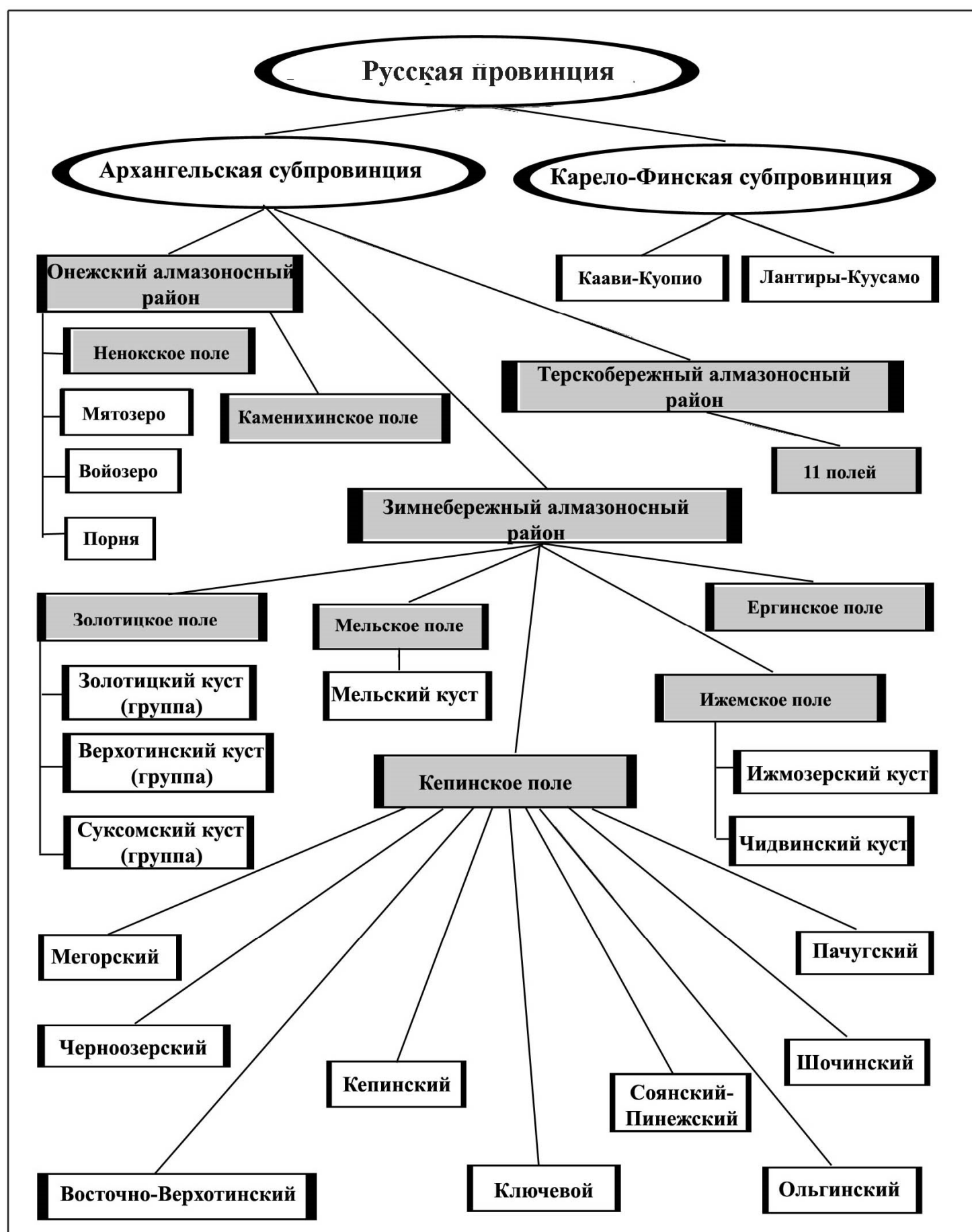


Рис. 7. Схема иерархического ряда магматических формаций базальтовых, кимберлитовых и родственных им пород Русской алмазоносной провинции [Коротков 2011]

Выделение индивидуализированных критериев разноранговых таксонов кимберлитового магматизма важно в связи с тем фактом, что проявление щелочно-ультраосновного магматизма Африки и Сибири относятся к Гондвано-Сибирскому типу, а Архангельской провинции — к Канадско-Русскому типу [Кимберлиты ... 1990; Милашев 1990], отличающимися как историей развития, так и взаимоотношениями тектонических структур. Исследования изотопного состава кимберлитов и лампроитов показали наличие на диаграмме $\epsilon\text{Sr}-\epsilon\text{Nd}$ двух трендов [Богатилов и др. 2002]. Один из них образован кимберлитами Золотицкого поля, Центрального Алдана и Северной Америки. Их источником была обогащенная мантия первого типа (EMI). Источником кимберлитов II группы Южной Африки, лампроитов Австралии была обогащенная магма II типа (EMII). Различия кимберлитов и лампроитов северных и южных континентов проявляются и в возрастном интервале их формирования: в южном полушарии фиксируется два импульса алмазоносного магматизма — протерозой (1—2 млрд. лет) и кайнозой (140—17 млрд. лет), тогда как в северном — максимум фиксируется в нижнем и среднем палеозое [Богатилов и др. 2002]. Причины этих различий, скорее всего, обусловлены гетерогенностью древней литосферной мантии южных и северных континентов, а также особенностями геодинамических режимов в разных геоблоках земной коры.

В целом, рассматривая отражение кимберлитовой провинции в геолого-геофизических материалах, следует отметить, что без знания границ провинции невозможно корректно решить эту проблему, т.к. не ясно, к какому иерархическому

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

уровню относятся выделенные особенности строения региона. Поэтому мы были вынуждены в своем исследовании подходить к выделению провинции в особенностях строения и геодинамики районов кимберлитового магматизма. Большинство данных было получено геофизическими методами, которые интегрально отражают эволюцию региона и, зачастую, весьма сложно отнести особенности строения земной коры к определенному тектоно-магматическому этапу. К тому же геофизические материалы достаточно часто фиксируют не геологические границы и блоки, а определенное напряженно-деформированное состояние вещества и переменчивы во времени. Но в процессе прогноза приходится мириться с существующими неопределенностями, компенсируя их анализом независимых материалов. Итак, рассмотрим строение региона от поверхности Мохо до дневной поверхности и его геодинамический режим.

1. Структура поверхности Мохо отличается своеобразным рисунком, отражающим многоэтапную эволюцию региона и влияние рифейских авлакогенов северо-западного и северо-восточного простирания, и уменьшенной глубиной залегания (рис. 8А).

2. На карте «резкости» границы Мохоревича регион отчетливо выделяется контуром зон границ Мохоровичича с активизированными свойствами (рис. 8Б).

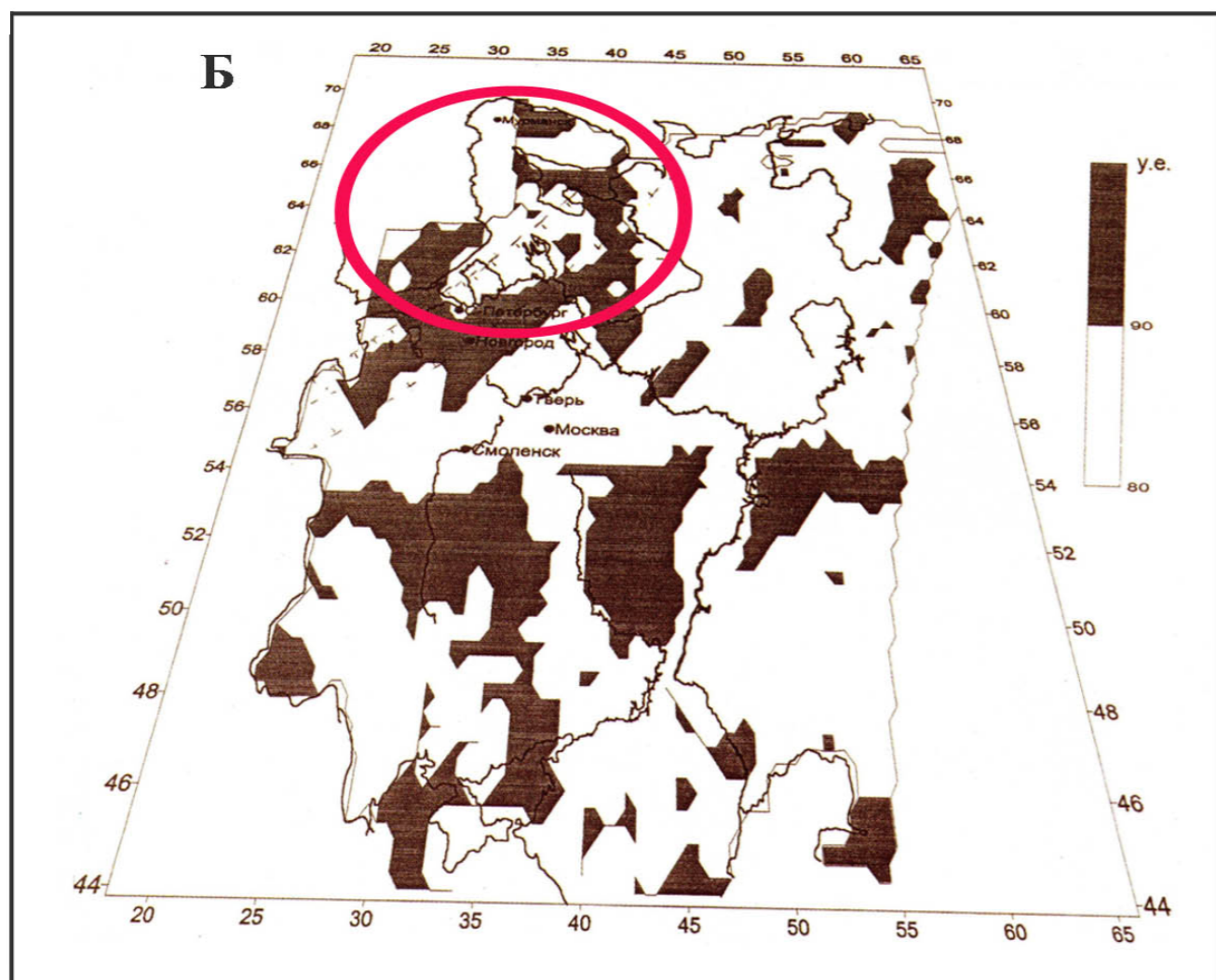
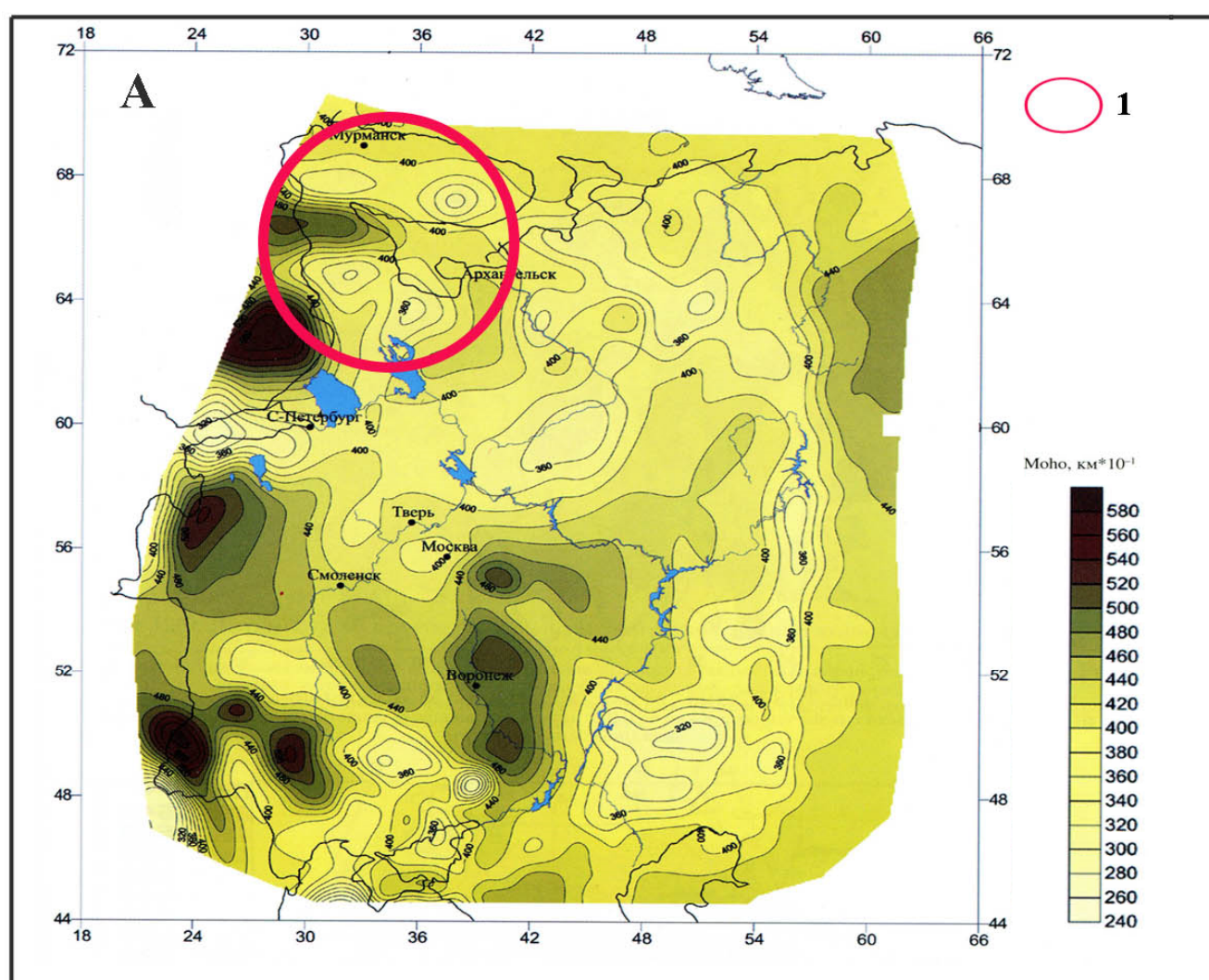


Рис. 8. Отражение Архангельской алмазоносной провинции (ААП) в геолого-геофизических материалах:

А — Карта глубины залегания поверхности Мохоровичича Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [Юдахин и др. 2003];

Б — карта «резкости» границы Мохоровичича ВЕП [Юдахин и др. 2003]. Выделены области (со значения К более 0.9) с активизированными свойствами границы Мохоровичича.

1 — «след» ААП.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

Таким образом, регион отчетливо выделяется в структуре поверхности Мохо. Сходная картина наблюдается и в Якутской алмазодносной провинции (рис. 9), где выделяются 2 участка — северный и южный — в строении поверхности Мохоровичича.

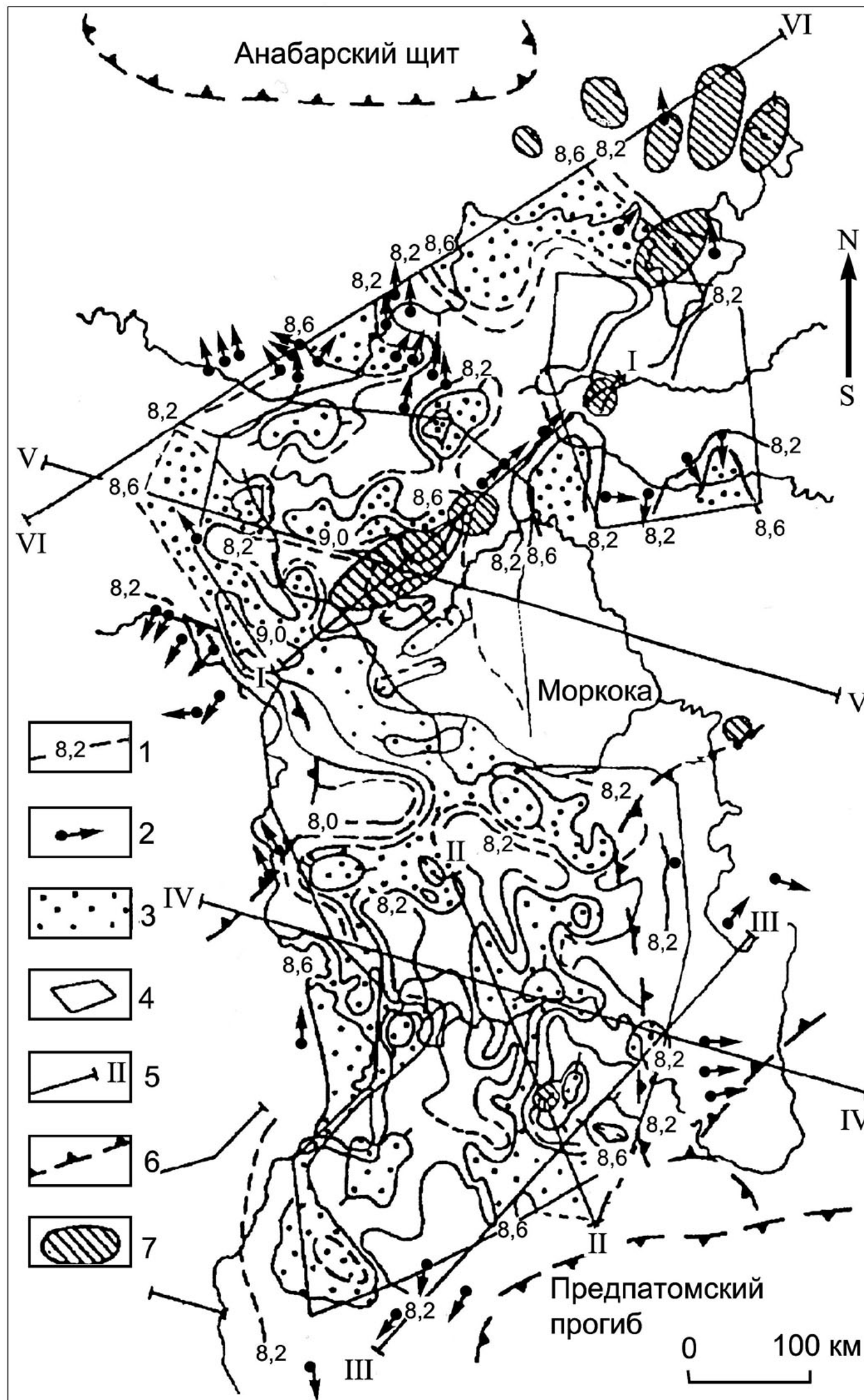


Рис. 9. Карта граничной скорости на поверхности Мохо Сибирской платформы [Структура и эволюция ... 1997]

1 — изолинии скорости; 2 — определение скорости по пути пробега волны вдоль поверхности Мохо; 3 — скорости больше 8,6 км/с; 4 — контуры участков на поверхности Мохо, от которых получены преломленные волны; 5 — профили ГСЗ; 6 — контуры геологических структур; 7 — кимберлитовые поля

3. Рассмотрим также строение земной коры этого района. Анализ имеющихся в распоряжении авторов данных, подтверждает сделанные выводы об обособленности региона от окружающих территорий в структуре нижнего (рис. 10А), среднего (рис. 10Б) и верхнего слоя земной коры (рис. 10В).

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Следует отметить, что площадь выделяемого региона увеличивается от нижнего слоя земной коры к верхнему, что совпадает с данными полученными по Канадской провинции (**рис. 5**), хотя исследуемые глубины и не сопоставимы.

По результатам ГСЗ на севере платформы достаточно четко выделяется субширотная полоса повышенной раздробленности земной коры (**рис. 10Г**), которая отчетливо выделяется в структуре первого и третьего (трехслойная модель) слоев земной коры и в скорости Р-волн на поверхности Мохо.

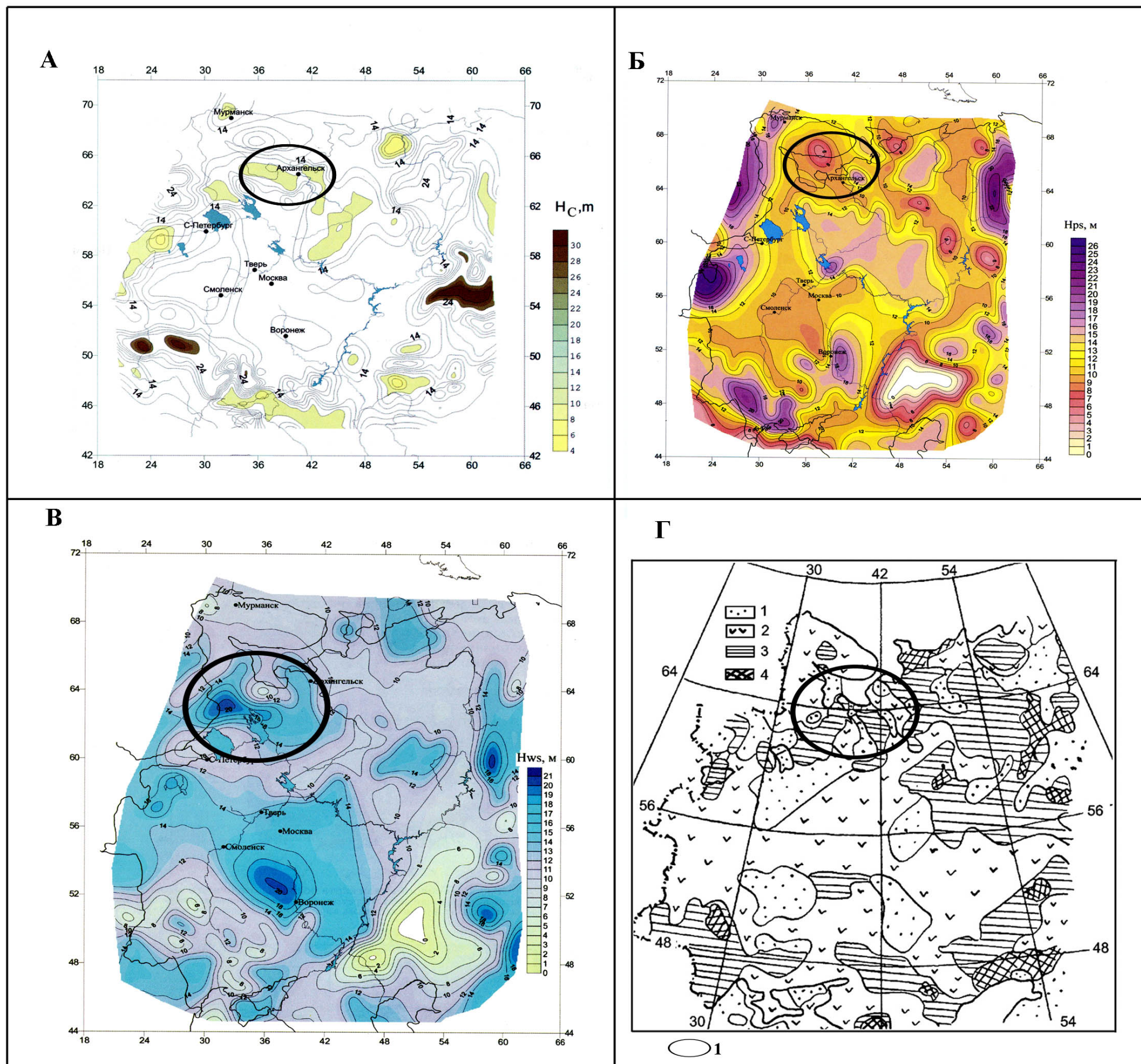


Рис. 10. Отражение Архангельской алмазоносной провинции (ААП) в строении земной коры:

- А** — карта мощности нижнего слоя земной коры Восточно-Европейской платформы (ВЕР) [Юдахин и др. 2003]
- Б** — карта мощности среднего слоя земной коры (ВЕР) [Юдахин и др., 2003];
- В** — карта мощности нижнего слоя земной коры (ВЕР) [Юдахин и др., 2003];
- Г** — скорость Р-волн на поверхности Моховичича [Щукин и др., 1995]:
Блоки со средней скоростью Р-волн, км/с: **1** — 7,80–8,00; **2** — 8,20; **3** — 8,40; **4** — более 8,40;
1 — «след» ААП

В строении земной коры по данным метода глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) выделяются волноводы на глубинах 7–15 км и 20–25 км, являющиеся структурами проскальзывания (**рис. 11**). Ряд авторов считает, что это промежуточные очаги кимберлитового магматизма [Кутинов, Чистова 2004].

Горизонтом проскальзывания на глубинах 7–15 км, скорее всего, является среднекоровый срыв на границе слоев коры с разными реологическими свойствами (волновод) [Юдахин 1999] (**рис. 11**). Ниже глубин 15–20 км до границы Мохо в земной коре континентальных платформ выделяется подвижный слой, в отличие от хрупкой верхней коры, об-

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

ладающий более высокой пластичностью. В нижней коре при определенных условиях происходит течение материала в горизонтальной плоскости, в свете чего она получила название расслоенной (ламинированной) нижней коры [Леонов 1997]. Под действием горизонтальных напряжений и вертикальных эндогенных сил происходит ремобилизация древнего структурного плана и оживление уже существующих разломов. Модель динамики земной коры Балтийского щита и фрагмент разреза земной коры прилегающей территории по данным ГСЗ отражены на рис. 11.

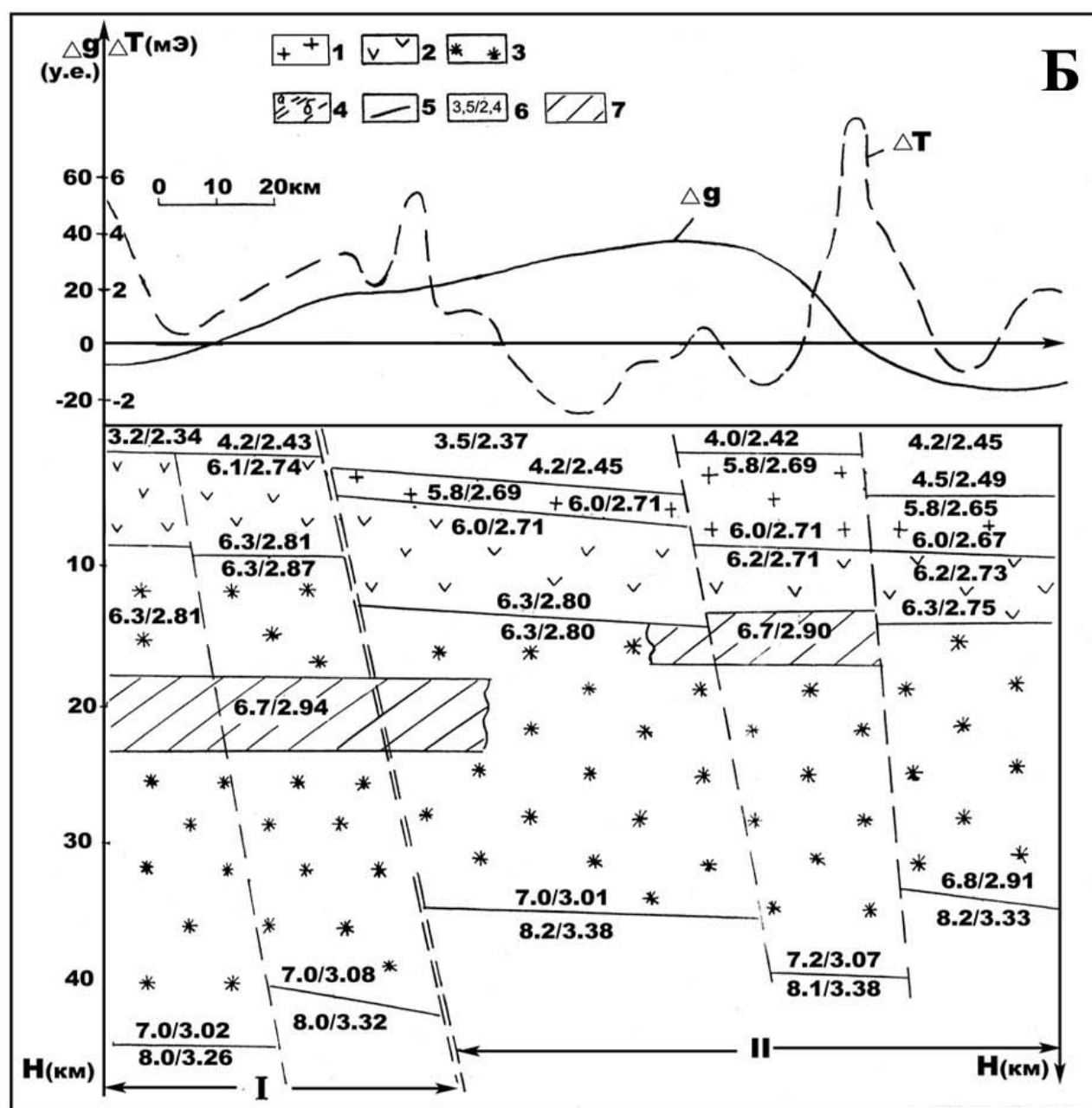
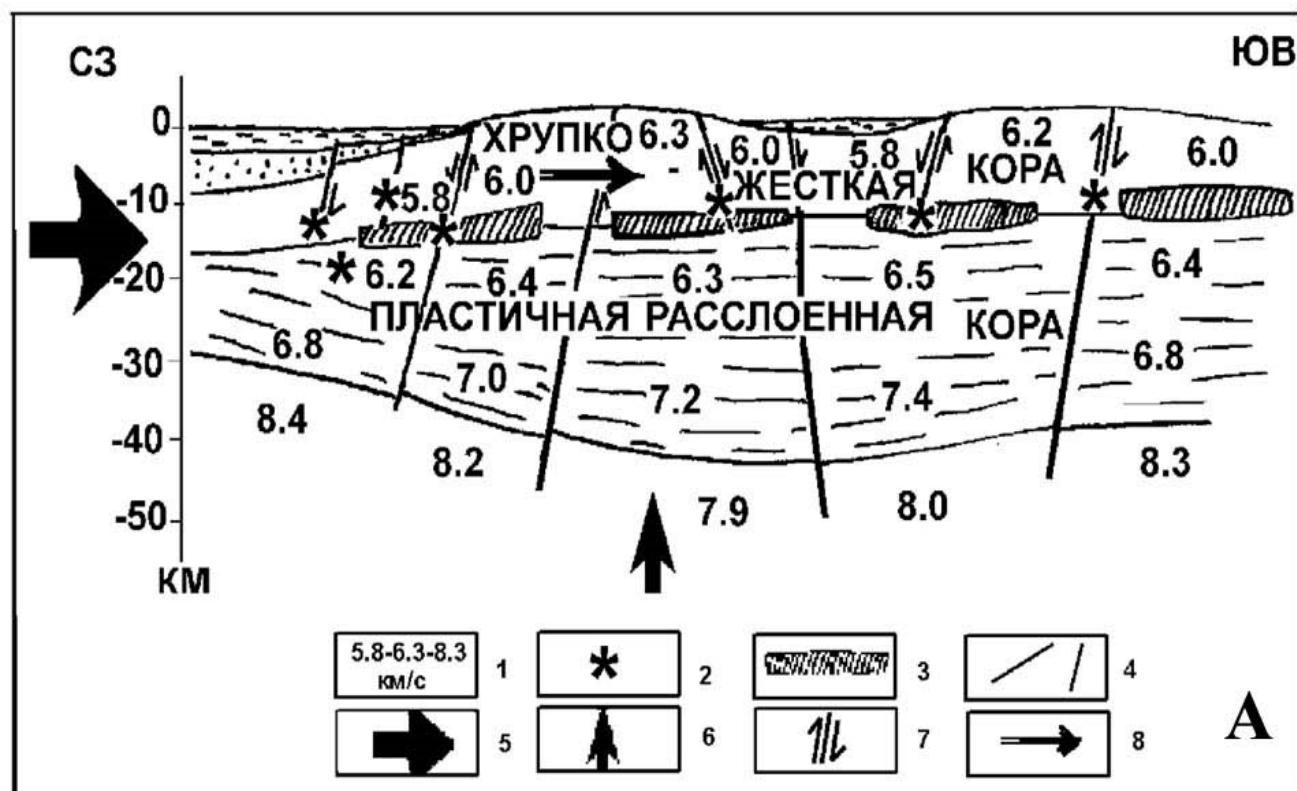


Рис. 11. Строение земной коры Балтийского щита и прилегающих территорий.

А — модель современной динамики земной коры Балтийского щита [Леонов 1997]:

1 — скорость распространения упругих волн; 2 — очаги землетрясений; 3 — ослабленные зоны в земной коре (волноводы); 4 — разломы; 5 — направление регионального сжатия; 6 — поднятие Балтийского щита; 7 — направления вертикальных движений блоков; 8 — направление горизонтального проскальзывания.

Б — Фрагмент разреза по профилю ГСЗ № 3 [Кутинов, Чистова 2004]

1 — гранито-гнейсовый слой с пониженными значениями V_p ; 2 — гранито-гнейсовый слой с повышенными значениями V_p ; 3 — базальтовый слой; 4 — тектонические нарушения: а) первого порядка; б) второго порядка; 5 — сейсмические границы; 6 — физические параметры (V_p , км/с; σ , г/см³); 7 — коровые волноводы

Достаточно отчетливо регион выделяется и на карте теплового потока Европейской части России (рис. 12А), так же как и Якутская провинция на аналогичной карте Сибирской платформы (рис. 12Б).

На более детальной схеме (рис. 12В) аномалия пониженного теплового потока выделяется еще отчетливее. В тепловом поле региона разными уровнями четко выделяются: континентальная часть Северной Европы, шельф Баренцева моря и глубоководная собственно океаническая зона. Континентальная часть характеризуется значениями теплового потока от 20 до 60 мВт/кв. м с преобладающими значениями 30—40 мВт/кв. м, которые обычно характерны для кристаллических щитов и древних платформ. Таким тепловым потоком выделяется большая часть Балтийского щита и Мезенской синеклизы [Шварцман 2001]. Для складчатых зон байкалид Тимано-Канинской гряды и каледо-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

нид Норвегии характерны значения потока 40—50 мВт/кв. м. Самыми высокими значениями (50—60 мВт/кв. м) отличается территория Печорской синеклизы. Только в ее восточной части, переходящей в Предуральский прогиб, тепловой поток понижается до 34—48 мВт/кв. м.

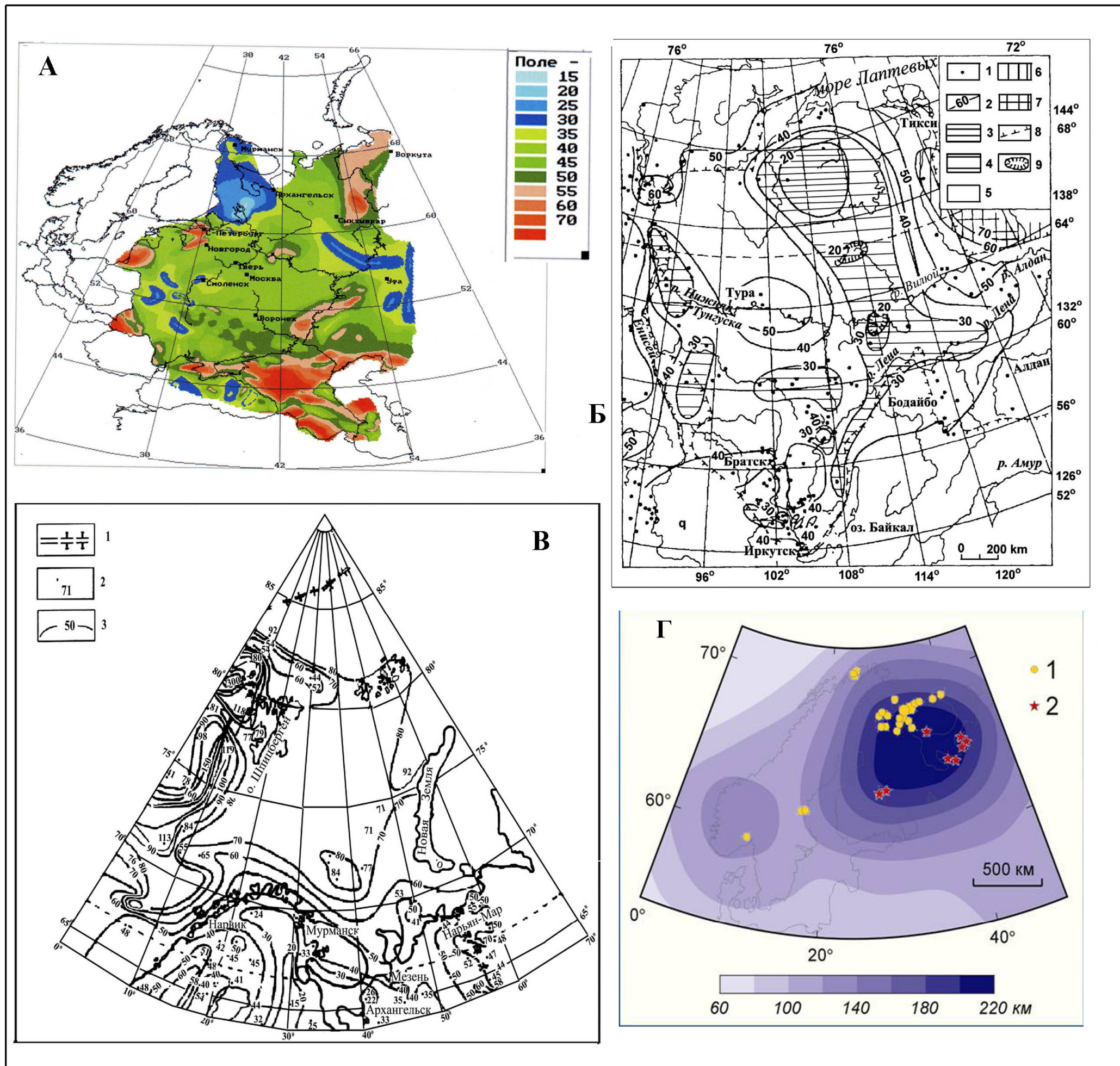


Рис. 12. Отражение Архангельской и Якутской алмазоносных провинций в структуре теплового потока Европейской части России и Сибирской платформы соответственно

- А** — карта теплового потока Европейской части России [Карта теплового потока европейской части России... 1987];
Б — карта теплового потока Сибирской платформы [Дучков, Соколова 1997]: **1** — пункты геотермических измерений; **2** — изолинии теплового потока, мВт/кв. м; **3—7** — районы однородного теплового потока: **3** — ниже 20 мВт/кв. м; **4** — от 20 до 30 мВт/кв. м; **5** — от 30 до 60 мВт/кв. м; **6** — от 60 до 70 мВт/кв. м; **7** — более 70 мВт/кв. м; **8** — граница Сибирской платформы; **9** — районы алмазоносных кимберлитов;
В — карта теплового потока Баренц-региона [Шварцман 2001]: **1** — зоны океанического спрединга; **2** — пункты измерений значений теплового потока; **3** — изолинии значений теплового потока, мВт/кв. м;
Г — мощность литосферы [Глазнев 2003]: **1** — щелочные интрузии; **2** — кимберлиты

Наибольший интерес представляют зоны аномально низких (20—30 мВт/кв. м и менее) значений теплового потока, занимающие большую часть Карельской и Беломорской провинций. В настоящее время остается неясной природа аномалий теплового потока менее 20 мВт/кв. м, занимающей значительную область в юго-восточной части Балтийского щита [Шварцман 2001]. Если учесть, что в этой области открыты кимберлитовые и родственных им пород трубки взрыва, к которым приурочены месторождения алмазов в Архангельской области и в Финляндии, то интерес к природе низкого

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

теплового потока вполне закономерен. Возможно, такие значения теплового потока обусловлены процессами деплетирования мантии, характерными для районов проявления кимберлитового магматизма.

Термическая модель литосферы на разных глубинах показана на **рис. 13**.

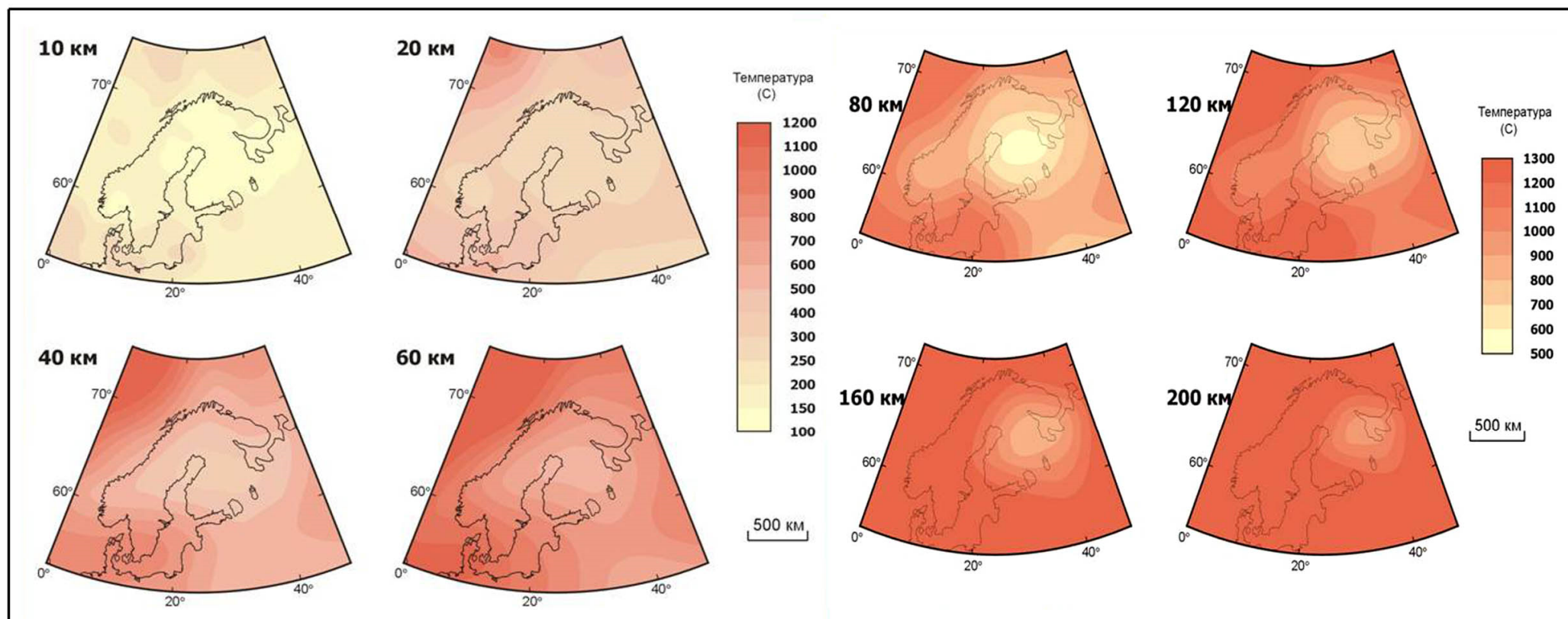


Рис. 13. Термическая модель литосферы региона на разных глубинах [Глазнев, 2003]

Таким образом, на разных глубинах наблюдается отрицательная аномалия температур, причем ее размеры увеличиваются от верхнего к нижнему слою земной коры, причем на глубинах 10–20 км она отражается слабо. Сходная картина отмечается и на территории Якутской алмазоносной провинции (**рис. 14**).

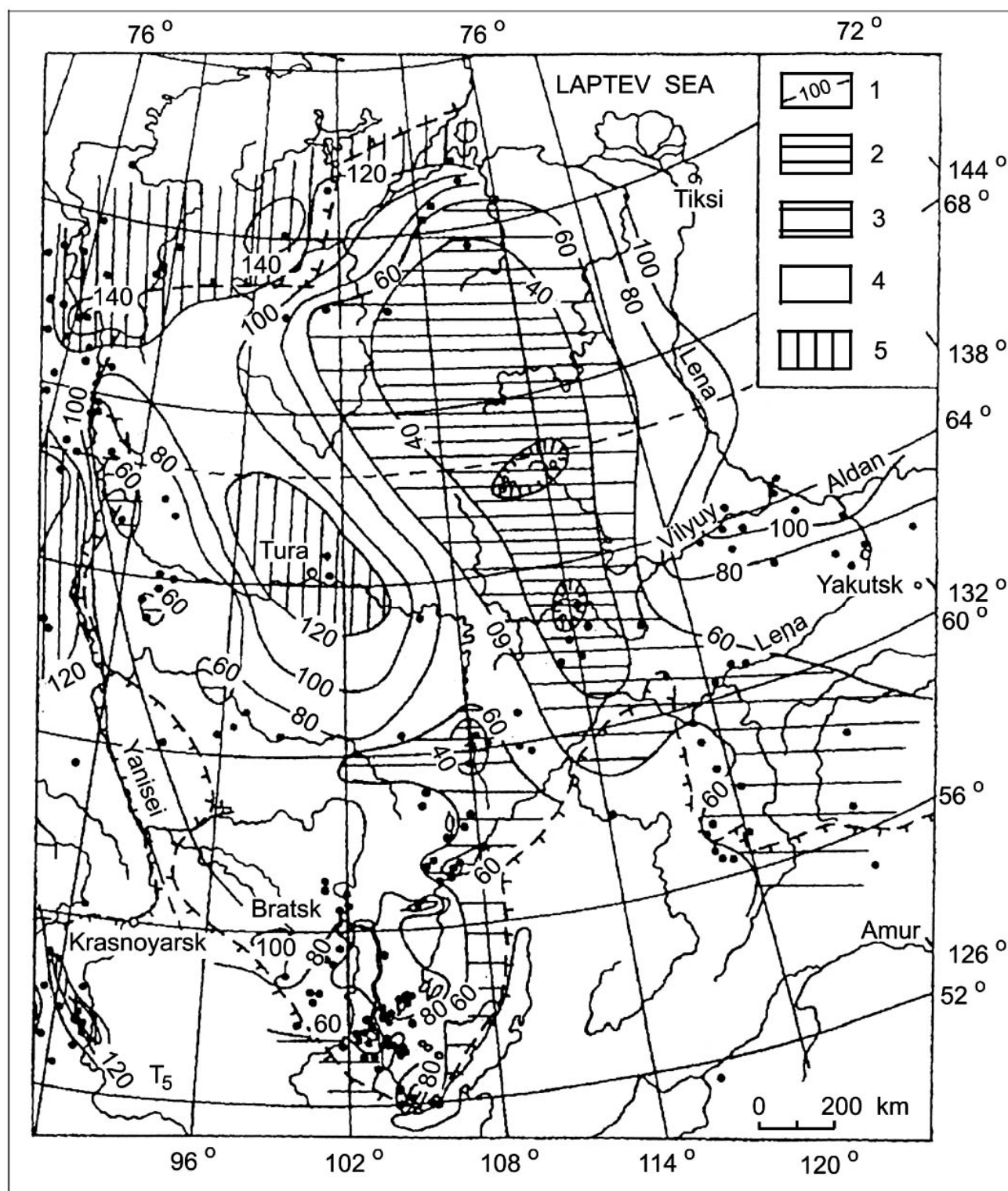


Рис. 14. Распределение температуры в земной коре Сибирской платформы на глубине 5 км [Дучков, Соколова 1997]

1 — изолинии температуры, град. С; 2 — ниже 40°; 3 — от 40 до 60°; 4 — от 60 до 120°; 5 — более 120°С

Остальные условные обозначения см. на рис. 12, Б

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Плюмы, возникающие на границе ядро — мантия в слое «D» и, как считается, обогащенные водородом [Добрецов 1981; Shmalzl, Hansen 1993], подходя к границе верхней и нижней мантии на глубине 670 км, и далее в переходной зоне (в интервале 670—400 км), очевидно, трансформируются в соответствии с моделью, предложенной А. Рингвудом [Ringwood, Irifune 1988; Ringwood et al. 1992]. Дальнейшее снижение вязкости в верхней мантии и астеносфере приводит к образованию системы более мелких локальных плюмов, формирующих фрактально-подобную (древовидную) структуру адвективных поднятий и диапиров более высокого порядка [Белов и др. 2008]. Более легкий мантийный материал, несущий огромную потенциальную энергию, обуславливает гравитационную неустойчивость недр и вызывает тектоническое «вспучивание» литосферы (образование сводовых поднятий, характерных для районов базитового магматизма и нефтегазообразования).

Рассматривая иерархию геологических структур, связанную с гравитационным поднятием и диапиризмом в разных слоях Земли, А.Н. Барышев [Барышев, 1999] указывал, что для сводово-глыбового континентального поднятия диаметром 1—2 тыс. км вязкость адвектирующего слоя составляет 10^{20} — 10^{21} пуаз, а вязкость перекрывающего слоя на контакте с адвектирующим слоем — 10^{23} пуаз. Мощность поднимающегося слоя — 200—300 км, т.е. речь идет об адвекции астеносферы [Белов и др. 2008]. При меньших размерах поднятия (диаметр порядка 100 км) мощность поднимающегося слоя составляет около 50 км, процесс происходит в разогретой литосфере за счет адвекции в верхних частях астеносферы. Соответственно вязкость адвектирующего слоя в верхней части астеносферы составляет 10^{17} — 10^{18} пуаз, а вязкость перекрывающего слоя на контакте с адвектирующим слоем — 10^{19} — 10^{20} пуаз [Белов и др. 2008]. Таким образом, процессы плюмообразования были, скорее всего, ответственны за периодичность геологических циклов и обусловлены общим ходом дифференциации вещества Земли.

Авторами в одной из работ [Кутинов, Чистова 2013] указывалось на сходство геодинамических режимов алмазо- и нефтегазообразования. Эмпирическим признаком, подтверждающим это предположение, можно считать пространственную близость к нефтегазоносным бассейнам проявлений базитового, ультраосновного и кимберлитового магматизма. В последнее время в ряде работ допускается возможность нахождения очагов образования газообразных и жидких УВ на разных глубинах от 20 до 5100 км, что не противоречит глубинами зарождения плюмов. В результате комплексного анализа геолого-геофизических материалов нами была разработана модель образования кимберлитовых провинций и зон глубинного нефтегазонакопления (рис. 15), включающая в себя:

- 1 — формирование мегалита за счет процессов субдукции,
- 2 — формирование суперплюма при перемещении мегалита;
- 3 — формирование локальных плюмов при подъеме суперплюма;
- 4 — формирование зональности провинций при вращении мантийной подушки «плюма»;
- 5 — образования сводовых поднятий и формирования: а — районов щелочно-ультраосновного магматизма (в т.ч. и кимберлитов);
- б — районов нефтегазонакопления.

Полученная модель позволяет разработать дополнительные поисковые признаки для кимберлитовых провинций, субпровинций, районов и зон глубинного нефтегазонакопления.

Такое строение земной коры, несомненно, нашло свое отражение в структуре потенциальных полей (рис. 16, Б, В) и, что достаточно интересно, в характере современной сейсмичности и дневном рельефе.

На сегодня твердо установленным фактом является региональная прослеживаемость и выраженность двух основных границ земной коры — фундамента и поверхности Мохо. Т.е. в целом, наиболее корректно трассирование только двух практически повсеместно существующих границ поверхности фундамента и Мохоровичича, которые выделяются при ГСЗ разными классами упругих волн. Все иные границы в земной коре намечаются лишь локально и, как правило, только по одному классу волн. Граничная скорость волн на поверхности Мохо изменяется мало и, за редким исключением, колеблется в пределах 8,0—8,4 км/с [Кутинов, Чистова 2004]. Однако при детализации исследований параметры мощности коры начинают очень сильно изменяться даже в пределах небольших регионов. Поэтому не исключено, что на севере Русской плиты с его достаточно высокой степенью блоковой делимости мы имеем сильно осредненные значения мощности земной коры.

Анализ физических характеристик пород региона показывает, что наиболее плотными, скоростными и высокоомными (максимальные значения электрического сопротивления) породами разреза являются породы архей-нижнепротерозойского кристаллического фундамента с плотностью $\sigma_{\text{вл}} = 2,70$ г/куб. см, магнитной восприимчивостью $\chi = 99 \times 10^{-5}$ ед. СИ, сопротивлением $\rho = 3540$ Ом·м, скоростью $V = 5600$ м/сек. Плотность пород меняется в широких пределах — от 2,60 до 3,16 г/куб. см. Минимальные значения плотности присущи гранито-гнейсам: $\sigma_{\text{вл}} = 2,63$ г/куб. см; не исключено наличие в составе фундамента гранитов-рапакиви с $\sigma_{\text{вл}} = 2,52$ г/куб. см, на что указывают данные моделирования по Онежскому полуострову (данные Новодвинской ГФЭ), значение магнитной восприимчивости для гранито-гнейсов составляет 25×10^{-5} ед. СИ, для амфиболитов — 120×10^{-5} ед. СИ, средняя скорость — 5600 м/сек. Таким образом, основная грави-магнитоактивная граница исследуемого региона приурочена к поверхности фундамента.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

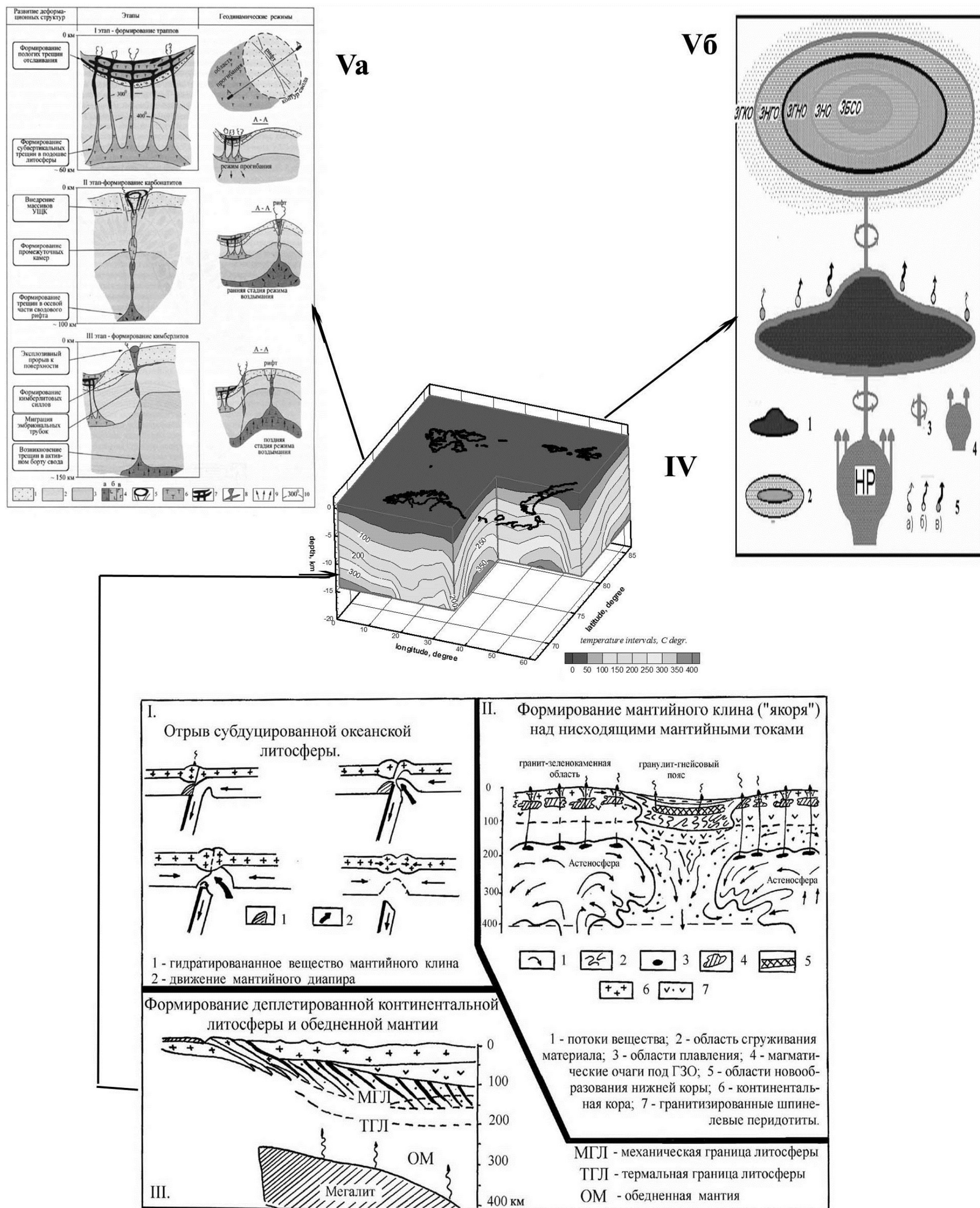


Рис. 15. Модель образования кимберлитовых провинций и зон глубинного нефтегазоаккумуляции

- I** — формирование мегалита за счет процессов субдукции;
- II** — формирование суперплюма при перемещении мегалита;
- III** — формирование локальных плюмов при подъеме суперплюма;
- IV** — формирование зональности провинций при вращении мантийной подушки «плюма» (3D — температурный плот Баренцево-морского региона (T, °C) [Хуторской и др. 2008])
- V** — образования сводовых поднятий и формирования: **Va** — районов щелочно-ультраосновного магматизма [Белов и др. 2008] (в т.ч. и кимберлитов); **V6** — районов нефтегазоаккумуляции [Иотов и др. 1999]

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

Все остальные нечетко выраженные границы раздела играют подчиненную роль и не оказывают существенного влияния на характер потенциальных полей [Кутинов, Чистова 2004].

Тем не менее, «след» провинции достаточно отчетливо виден и на более низких горизонтах (рис. 16А, Г).

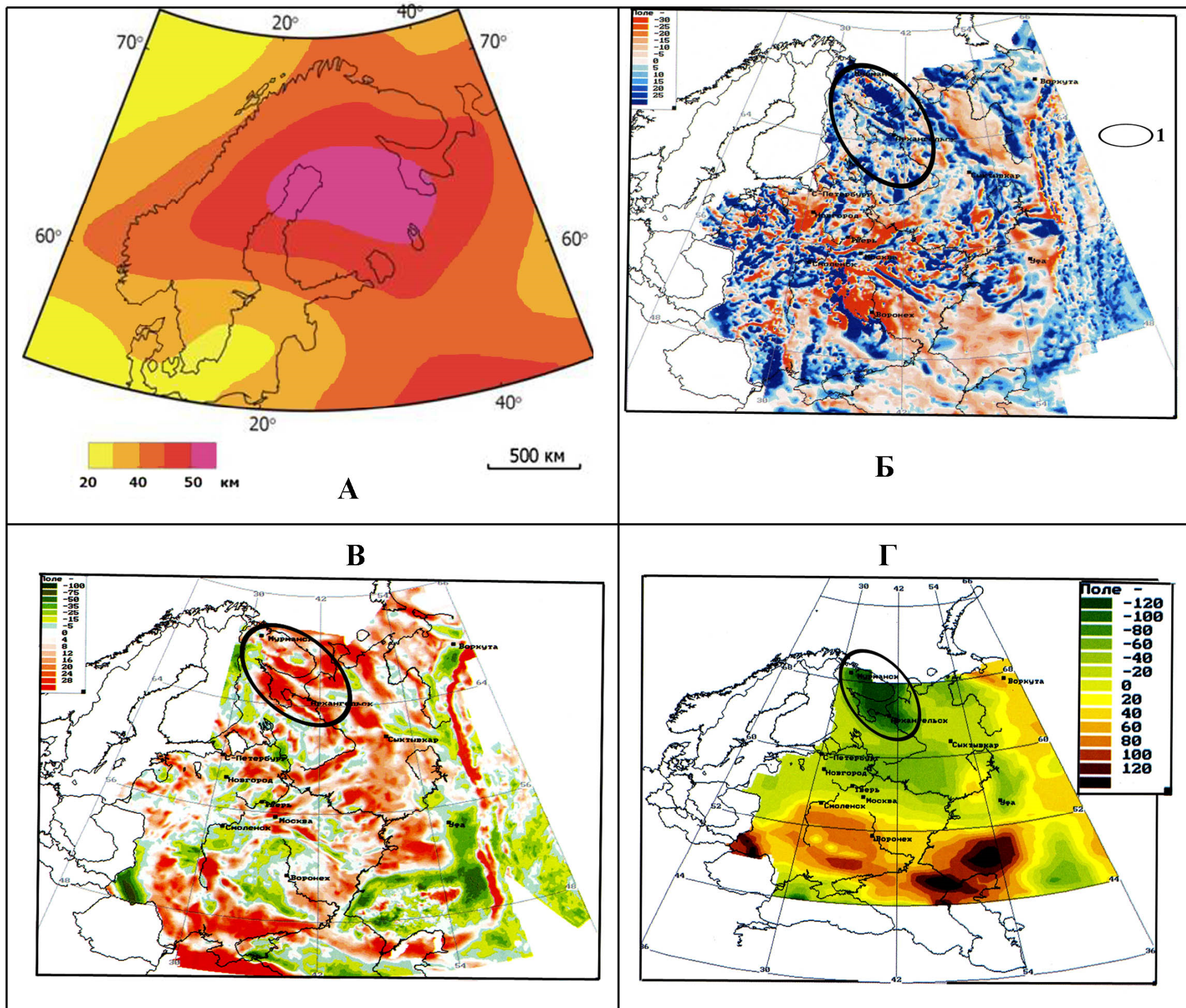


Рис. 16. Отражение Архангельской провинции в характере потенциальных полей ВЕП и Европейского севера России
А — глубина изотермы Кюри [Глазнев 2003]; Б — карта аномального магнитного поля, нТ [Юдахин и др. 2003];
В — карта аномалий силы тяжести в редукции Буге, мгал [Юдахин и др. 2003];
Г — глубинные аномалии силы тяжести ВЕП [Юдахин и др. 2003].
1 — «след» ААП

Как указывалось выше, минерагенические провинции относятся к сложным открытым системам. Они, как и все макросистемы относятся к системам с неустойчивой динамикой и появляются там, где возникают потенциалы и градиенты. В таких системах нередко катастрофические исходы, так как критические состояния у них весьма чувствительны даже к небольшим возмущениям. Это нашло свое отражение в структуре фундамента и строении тектонических структур.

В целом, в фундаменте развиты контрастные структуры: горсты и авлакогены северо-западного простирания, осложненные дизъюнктивами других направлений. Авлакогены вносят основной вклад в строение потенциальных полей (рис. 17А–Г).

Тем не менее, характер глубины изотермы Кюри (рис. 16А), глубинных аномалий (рис. 16Г) и осредненного поля силы тяжести (рис. 17Д) свидетельствуют, что этого вклада недостаточно для полной компенсации потенциальных полей, хотя разломы ограничивающие авлакогены прослеживаются до границы Мохо. Т.е. глубинные неоднородности земной коры также отражаются в структуре потенциальных полей.

Такое сложное глубинное строение региона нашло свое отражение в характере и эволюции тектонических структур. Более подробно этот вопрос рассмотрен авторами ранее [Кутинов, Чистова 2004].

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

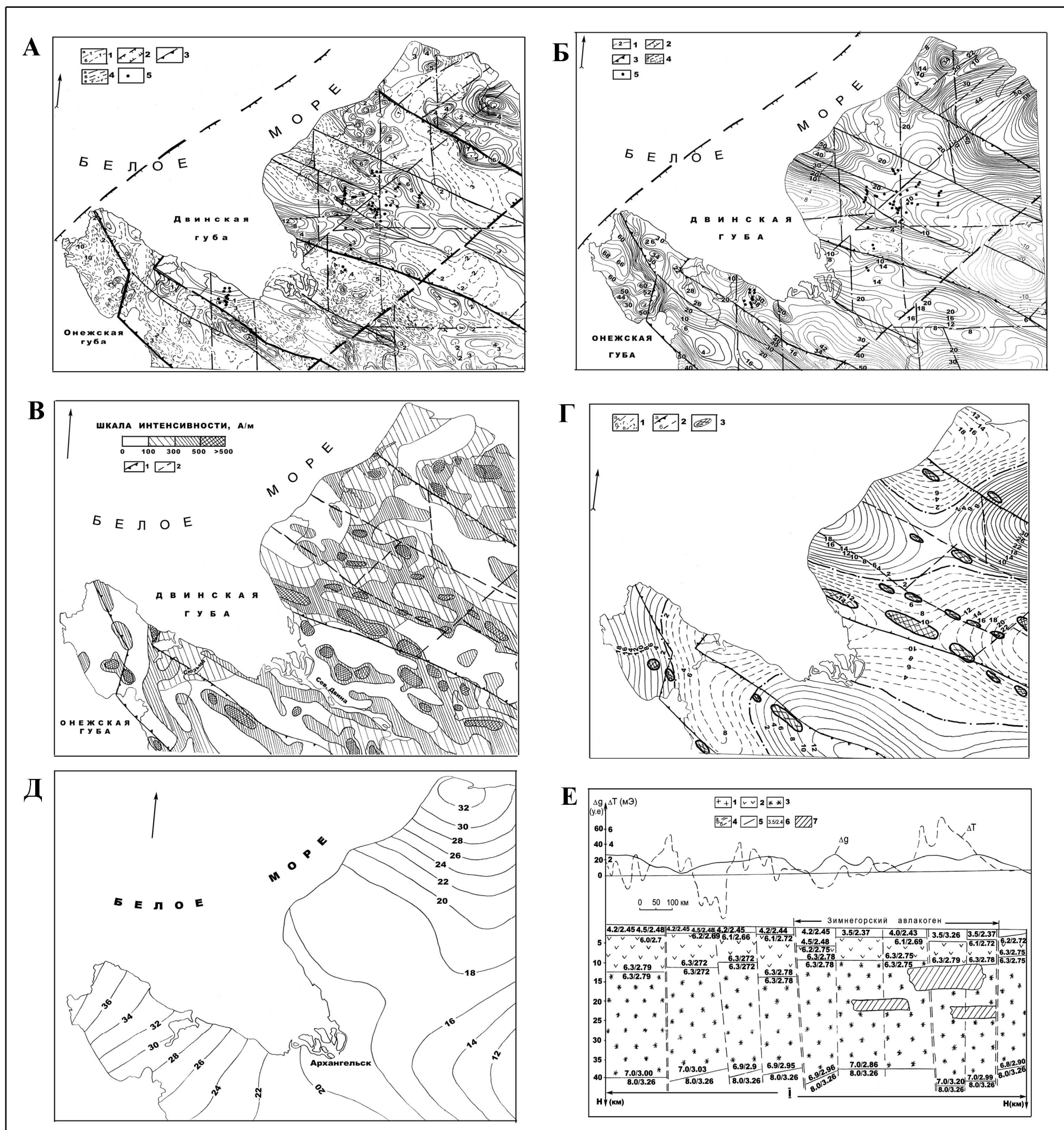


Рис. 17. Фрагменты карт потенциальных полей, их трансформант

(карт разностного и осредненного поля Δg) и профиля ГСЗ [Кутинов, Чистова 2004]

А — фрагмент карты магнитного поля ΔT_a : **1** — изолинии поля ΔT_a : **а)** положительные; **б)** отрицательные; **2** — границы Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны; **3** — разломы, ограничивающие авлакогены; **4** — глубинные разломы 2-го порядка: **а)** северо-западного простирания; **б)** северо-восточного; **в)** субмеридионального; **г)** субширотного; **5** — магматические тела

Б — фрагмент карты поля Δg : **1** — изолинии поля Δg ; **2** — границы Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоны; **3** — разломы, ограничивающие авлакогены; **4** — глубинные разломы 2-го порядка: **а)** северо-западного простирания; **б)** северо-восточного; **в)** субмеридионального; **г)** субширотного; **5** — магматические тела

В — фрагмент схемы намагниченных образований поверхности фундамента: **1** — разломы фундамента, ограничивающие рифейские авлакогены; **2** — разломы фундамента, ограничивающие структуры 2-го порядка

Г — фрагмент карты разностного поля $\Delta g_{лок} = (\Delta g_{R1} - \Delta g_{R2})$ ($R_1 = 10$ км; $R_2 = 50$ км): **1** — изолинии $\Delta g_{лок}$: **а)** положительные; **б)** нулевые; **в)** отрицательные; **2** — разломы фундамента: **а)** ограничивающие авлакогены; **б)** второго порядка

Д — фрагмент карты осредненного поля Δg ($\Delta g_{оср} = 100$ км)

Е — фрагмент разреза по профилю ГСЗ № 5: **1** — гранито-гнейсовый слой с пониженными значениями V_p ; **2** — гранито-гнейсовый слой с повышенными значениями V_p ; **3** — базальтовый слой; **4** — тектонические нарушения: **а)** первого порядка; **б)** второго порядка; **5** — сейсмические границы; **6** — физические параметры (V_p , км/с; σ , г/куб. см); **7** — промежуточный очаг

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Основная сеть разломов региона была заложена главным образом в позднем архее (2600—2800 млн. лет) в связи с кеноранским диастрофизмом [Салоп 1982]. В докембрийской истории разрывных нарушений отмечаются от четырех до десяти этапов их активизации [Савицкий и др. 1986], протекавших в разное время в различных геотектонических режимах. Эти разломы являются долгоживущими и, как правило, характеризуются сложным внутренним строением как вкrest, так и вдоль простирания. Они являются границами оформившихся в кеноранскую эпоху геоблоков и входящих в их состав блоков II и III порядка. Современные очертания и особенности внутреннего строения блоков определились в результате их неоднократной перестройки в раннем и, особенно, в позднем протерозое и, частично, палеозое, но в общих чертах они близки к первоначальным.

Эволюция разломов региона представлена на **рис. 18**.

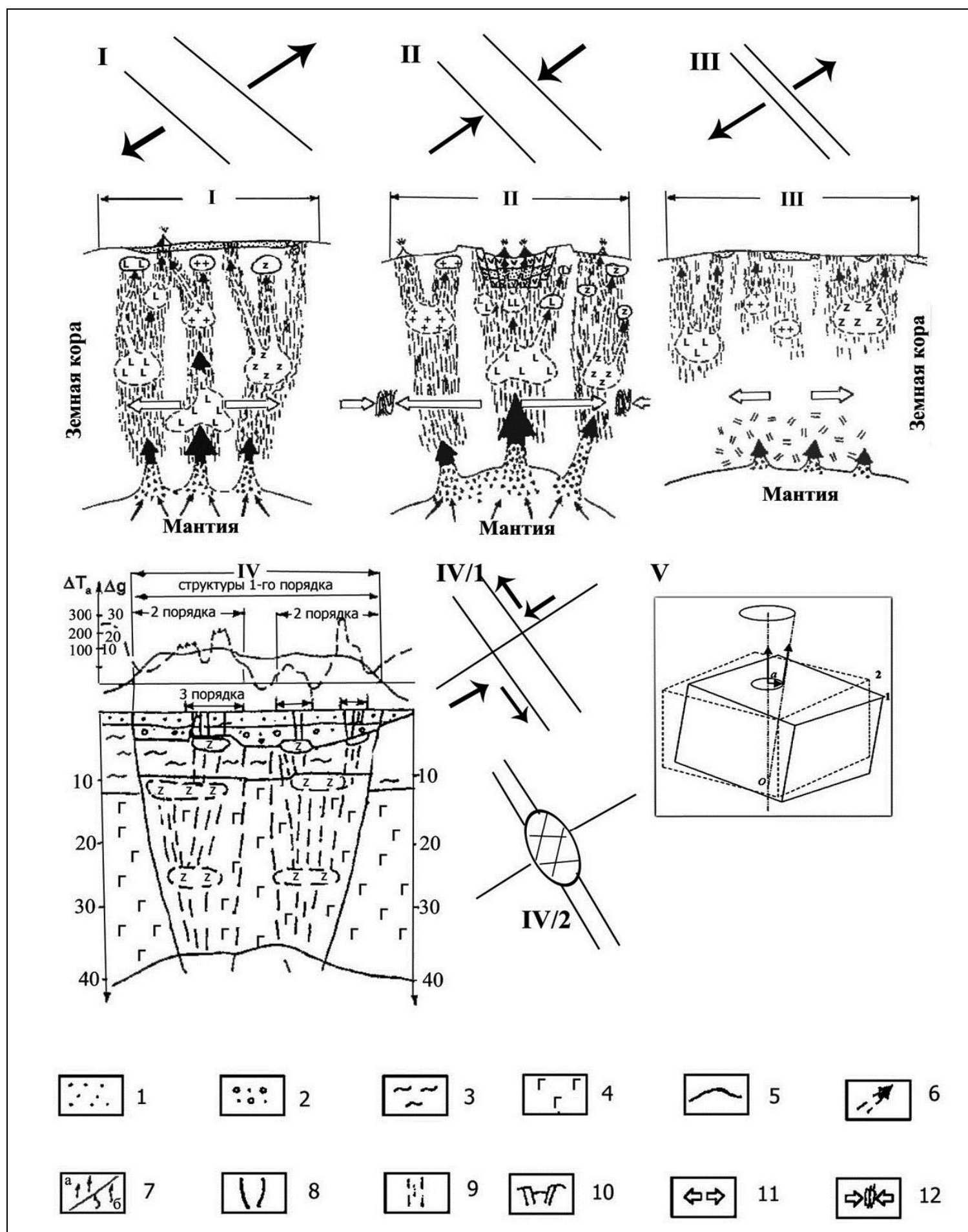


Рис. 18. Модель эволюции рифтогенных систем севера Русской плиты [Кутинов, Чистова 2012]:

I—III — стадии развития; **I** — зарождения и созревания; **II** — активного рифтогенеза; **III** — затухания; **IV** — палеозойская тектоно-магматическая активизация рифейского палеорифта: **IV/1** — вендская активизация, **IV/2** — образование вертикальной высокопроницаемой структуры (герцинский этап); **V** — современный этап: схема прецессии структурного блока земной коры;

1 — осадочные отложения; **2** — рифейские осадочно-вулканические отложения; **3** — гранитно-метаморфический слой; **4** — базальтовый слой; **5** — поверхность Мохо; **6** — высоко проницаемая вертикальная мантийная колонна; **7** — теплотокны (**а**), флюидные потоки (**в**); **8** — конические разломы; **9** — зоны проницаемости (трещиноватости, разломы); **10** — осевые грабены; **11** — направление и интенсивность растяжения; **12** — зоны сжатия.

Исходя из вышеизложенного, «следы» кимберлитовой провинции должны наблюдаться и в современных геодинамических процессах.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Анализ имеющихся в распоряжении авторов материалов подтвердил это предположение. Достаточно хорошо это видно в макросейсмичности региона (**рис. 19А**). В узле сочленения Беломорского геоблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны при определении групповых механизмов очагов землетрясений были установлены три их разновидности, стереографические проекции которых представлены в правой части **рис. 19Б** под номерами **1, 2, 3**. Для каждой из них были построены векторы скольжения горных масс, показанные здесь же. Анализ проекций свидетельствует, что нодальные плоскости (плоскости разрыва в очаге), оси главных напряжений сжатия и вектора скольжения поворачиваются против часовой стрелки от направления на север.

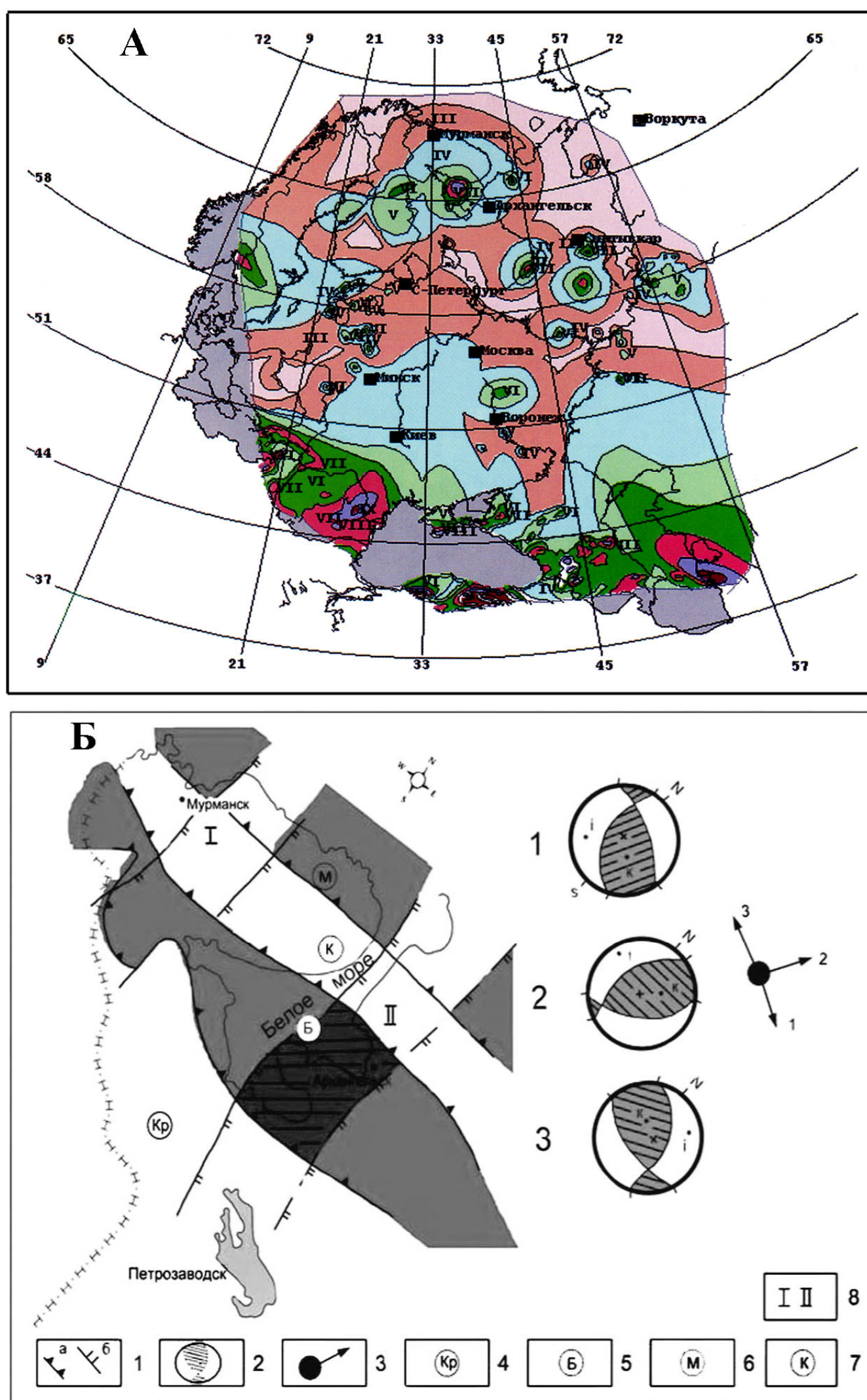


Рис. 19. Отражение Архангельской алмазоносной провинции в современном геодинамическом режиме

А — макросейсмическое поле Восточно-Европейской платформы [Юдахин и др. 2003]. Показаны контуры обобщающих изосейст землетрясений. Интенсивность землетрясений в баллах показана внутри контуров римскими цифрами.

Б — схема разломно-блоковой тектоники северо-запада Восточно-Европейской платформы [Кутинов, Беленович 2007].

1 — разломы, ограничивающие: мегаблоки (**а**), трансблоковые зоны (**б**); **2** — групповые механизмы очагов землетрясений в морфоструктурном узле сочленения Беломорского мегаблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны (заштрихованы области волн сжатия); **3** — направления векторов скольжения, согласно определения фокальных механизмов (**1, 2, 3**); **4–7** — мегаблоки: Карельский (**4**), Беломорский (**5**), Мурманский (**6**), Кольский (**7**); **8** — трансблоковые зоны: Хибинская (**I**), Балтийско-Мезенская (**II**)

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Анализ распределения очагов землетрясений в Беломорском регионе показывает, что их распространение происходит вдоль активизированных палеорифтовых систем северо-западного простирания, достигая плитной части платформы, вплоть до Урала (**рис. 20**). При этом разрядка тектонических напряжений происходит часто в секущих (северо-восточных) зонах, связанных с трансблоковыми зонами.

В тоже время максимальная плотность землетрясений пространственно совпадает с местоположением Архангельской алмазоносной провинции. Отражая современный геодинамический режим, сейсмические события имеют определенную наследованность предыдущих геодинамических режимов, на что указывает приуроченность основных землетрясений к северо-западным рифейским грабенам (**рис. 20**).

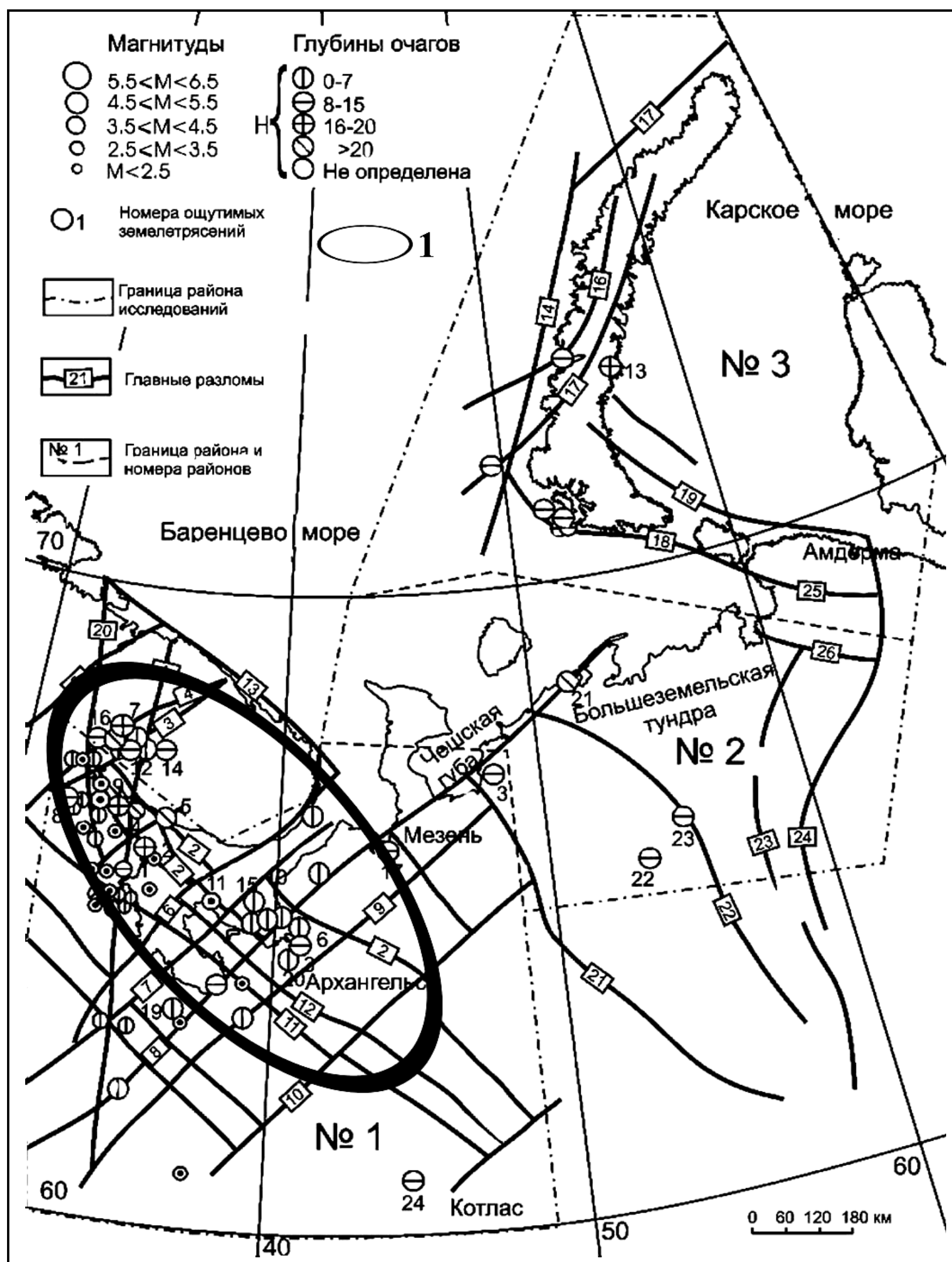


Рис. 20. Карта эпицентров землетрясений Севера Европейской части России за 1467–1995 гг. [Юдахин, Французова 2000]
1 — возможный «след» ААП

Новые данные, полученные в последние годы [Балуев 2013], подтверждают этот вывод. Согласно этим данным палеорифтовая система Белого моря состоит из четырех субпараллельных рифтовых зон, разделенных выступами кри-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

сталлического фундамента. Кулисообразное расположение рифтогенных впадин Лешуконского (Зимнегорского) авлакогена, сама форма Лешуконской и Азпольской впадин предполагают их заложение и развитие в режиме трансенсии (косое растяжение, вызывающее образование сдвига-раздвига) с элементами правостороннего сдвига вдоль северо-восточных бортов грабенов [Балуев 2013]. Такой режим мог возникнуть при вращении древней континентальной плиты Балтика против часовой стрелки во время распада Палеопангеи в среднем и позднем рифее [Балуев 2013].

В целом, формирование современного бассейна Белого моря имело структурно-тектоническую предопределенность [Балуев 2013] еще со среднего рифея. Тектоническая впадина современного Кандалакшского залива Белого моря наследует и возрождает рифейский грабен, о чем свидетельствуют активные опускания Онежского-Кандалакшского палерифта в новейшее время.

Сейсмоакустическое профилирование показало, что со времени последнего межледниковья (микулинское время, 110—70 тыс. лет назад) дно Кандалакшского залива погрузилось более чем на 200 м [Тарасов, Шлыкова 2006]. Неотектоническая активизация территории Беломорья проявляется системой разломов, которые отчетливо выражены в рельефе дна Белого моря и в ландшафтных элементах сухопутной территории [Кутинов и др. 2014] и подчеркивается направлением миграции очагов землетрясений (рис. 20, 21).

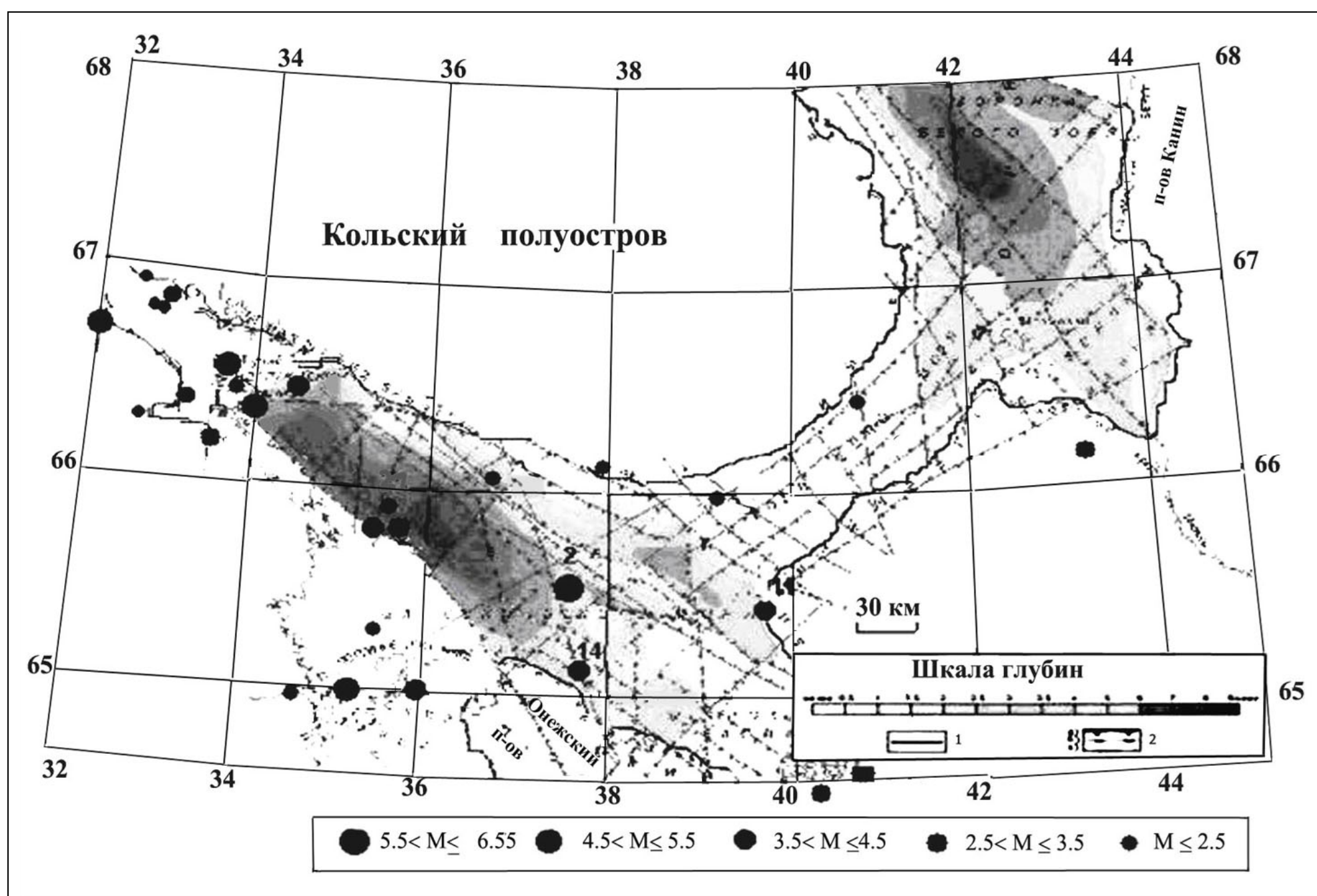


Рис. 21. Структура рельефа фундамента Белого моря с эпицентрами ощутимых ($M \geq 3,5$) землетрясений за период 1542—2007 гг. [Казанин и др. 2006]

Достаточно интересна ситуация со строением атмосферы в районе Архангельской алмазоносной провинции, в первую очередь в содержании озона. На рис. 22А отчетливо видно, что центры озоновых аномалий образуют пять обособленных групп, четыре из которых имеют отчетливо выраженную субмеридиональную группировку.

Это Урало-Каспийская, Западно-Сибирско-Памирская, Восточно-Сибирская и Сахалино-Индибирская [Сывороткин 2002]. Пятая обособленная группа центров (Беломорско-Балтийская) расположена над северо-западом европейской части России. Она относительно изометрична в плане. Основная часть центров аномалий общего содержания озона (ОСО) расположена здесь над Белым морем и Кольским полуостровом. Изометричная форма, вероятно, обусловлена наличием здесь глубинных неоднородностей земной коры (рис. 10, 12, 13) и морфоструктурного узла сочленения Беломорского мегаблока и Балтийско-Мезенской трансблоковой зоны (рис. 19Б). Наблюдается также и временная корреляция между эндогенной активизацией Скандинавии и Беломорского региона и разрушением над ними озонового слоя [Сывороткин 2002]. В последние годы здесь увеличилась скорость воздымания территории (до 10 см в год) и увеличилась частота сейсмических событий, усилилось и выделение радона. В этом районе расположены и трубки взрыва, которые могут быть мощными источниками водорода. Следует отметить, что схожая картина содержания озона наблюдается и

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

над территорией Якутской алмазоносной провинции, т.н. Восточно-Сибирская группа (**рис. 22А**), особенно в южной части Якутской провинции.

Совместная обработка данных низкочастотных излучений, потоков электронов и температуры плазмы, измеренных на спутнике «Интеркосмос-19» позволила обнаружить низкочастотное излучение и вариации плотности электронов над глубинными разломами земной коры [Ларкина и др. 1998] Западной Арктики и прилегающих территорий (**рис. 22Б**).

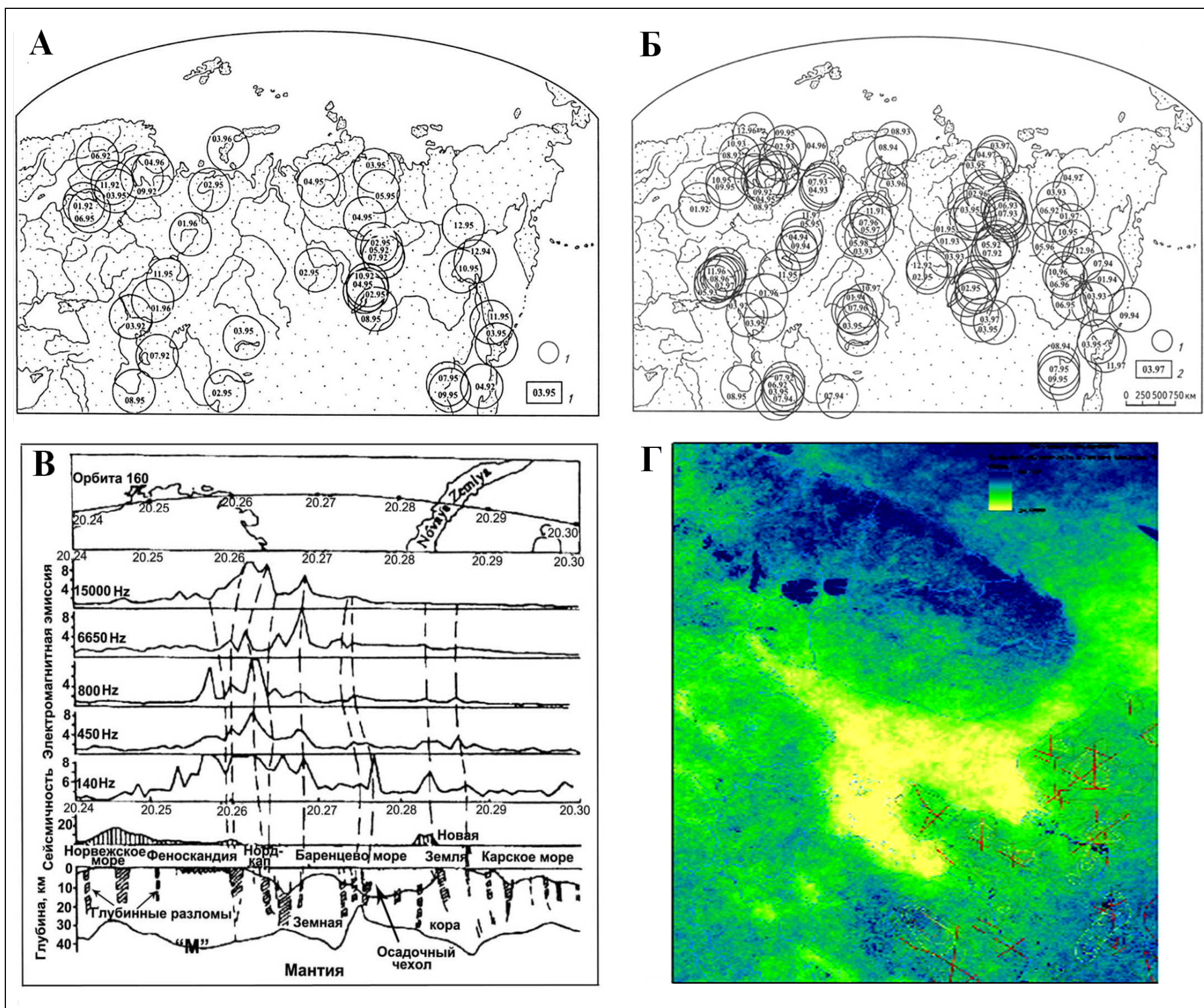


Рис. 22. Строение атмосферы в районе Архангельской алмазоносной провинции

А — центры озоновых аномалий над территорией России в 1992, 1995, 1996 гг. [Сывороткин 2013]: **1** — центр аномалий; **2** — месяц и год фиксации аномалий;

Б — центры озоновых аномалий над территорией России и сопредельных стран в 1991–2000 гг. [Сывороткин 2013]: **1** — центр аномалии; **2** — месяц и год;

В — Вариации интенсивности низкочастотного излучения, зарегистрированные КА «Интеркосмос-19» над глубинными разломами [Ларкина и др. 1998];

Г — средняя облачность в летние месяцы над узлами тектонических нарушений разных рангов (результаты обработки данных КА MODIS) [Кутинов, Чистова 2012]

На спутнике «Интеркосмос-19» измерялись интенсивность магнитной и электрической компонент поля низкочастотного излучения на пяти частотах: 140, 450, 800, 4650 и 15000 Гц, потоки низкоэнергетичных электронов и температура ионосферной плазмы на высоте спутника (на витке 1537 высота — 970 км, на других витках — 670 км). Причем, следует отметить, что над территорией Фенно-Скандии потоки низкоэнергетичных электронов проявлены реже, чем над акваториями морей и архипелагами. Вероятно, это связано с разной глубиной залегания поверхности Мохо, хотя, если рассматривать плотность землетрясений, то картина должна быть обратной.

Для сокращения влияния снежного и ледового покрова были обработаны данные MODIS летнего периода (460 сцен с 2005 по 2009 гг.). Для анализа структуры облачного покрова была использована методика, описанная Гансом Кореном [Koren 2009], как более точная для высоких широт, чем стандартный продукт MOD035. В ней используется классифика-

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

ция методом к ближайших соседей. Были использованы 1, 4, 6, 19, 20, 26 и 31 каналы (табл. 1). Выбранные каналы позволяют четко отличать облачный покров от снега и льда, водной и земной поверхности.

Таблица 1

Каналы MODIS, использованные для выделения облачного покрова

Канал	Спектральный диапазон (нм)
1	0,620—0,670
4	0,545—0,565
6	1,628—1,652
19	0,915—0,965
20	3,660—3,840
26	1,360 — 1,390
31	10,780—11,280

Каналы 1 и 4 соответствуют красному и зеленому видимым цветам и позволяют четко отделять облачный покров от растительности, водной и земной поверхности. Канал 6 использовался для выделения облачного покрова на фоне снега и льда. В этом спектральном диапазоне облака имеют высокое значение отражательной способности, снежный или ледяной покров — низкое. Каналы 19 и 26 используется для дешифрирования воздушных аэрозолей, а каналы 20 и, особенно, 31 — как источник информации о температуре для различения облачного покрова и земной поверхности.

Все данные приводились к пространственному разрешению первого канала MODIS — 250 м. Полученный массив данных, содержащих пиксельные маски облаков, импортировался в базу геоданных ESRI ArcGIS 10, и с помощью инструмента Map Algebra из модуля Spatial Analyst находилось среднее значение в интервале от 0 (за весь период наблюдений облачный покров отсутствовал) до 1 (облачный покров присутствовал во время всего периода наблюдений).

На существование восходящих потоков указывает характер облачности (рис. 22Г). В результате обработки данных с КА MODIS было зафиксировано практически полное отсутствие облачности в летние периоды над Белым морем, что указывает на существование восходящих потоков [Кутинов и др. 2013], обусловленных, возможно, глубинной дегазацией. Такое строение облачного покрова в течение 5 сезонов не может быть случайным или объясняться климатическими особенностями. Следует отметить, что такое же явление наблюдается и над тектоническими узлами более мелкого масштаба (данные Landsat-8 и наземных наблюдений), не совпадающими с крупными акваториями, что позволяет исключить влияние водных масс на характер облачности [Кутинов и др. 2013].

Как указывалось ранее, если такая сложная система как провинция подвергается какому-нибудь внешнему воздействию, то внутри нее возникают процессы, направленные на подавление, нейтрализацию этого внешнего влияния. Чем сложнее система, тем разнообразнее ее внутренние и внешние взаимодействия, и тем выше устойчивость системы для блокирования возмущений.

Воздействие на регион в неопротерозойской период с позиций тектоники плит достаточно подробно изложена в работе А.С. Балыева [Балыев 2013].

На современном этапе велико воздействие деформационной волны, которое, возможно, объясняет наблюдаемые особенности атмосферы в районе Архангельской алмазоносной провинции. Тем не менее, такие характеристики невозможны без наличия глубинной структуры, находящейся, как указывалось ранее в режиме с «перемешиванием».

Поле горизонтальных напряжений региона, обусловленное близостью Северо-Атлантической зоны спрединга и/или крупной ундуляции геоида с центром в районе Исландии [Региональные особенности... 1988], имеет волновой характер (рис. 23). Оно порождает деформационную волну, которая движется от Срединно-Атлантического хребта в юго-восточном направлении со скоростью 60 км/год [Юдахин и др. 2003].

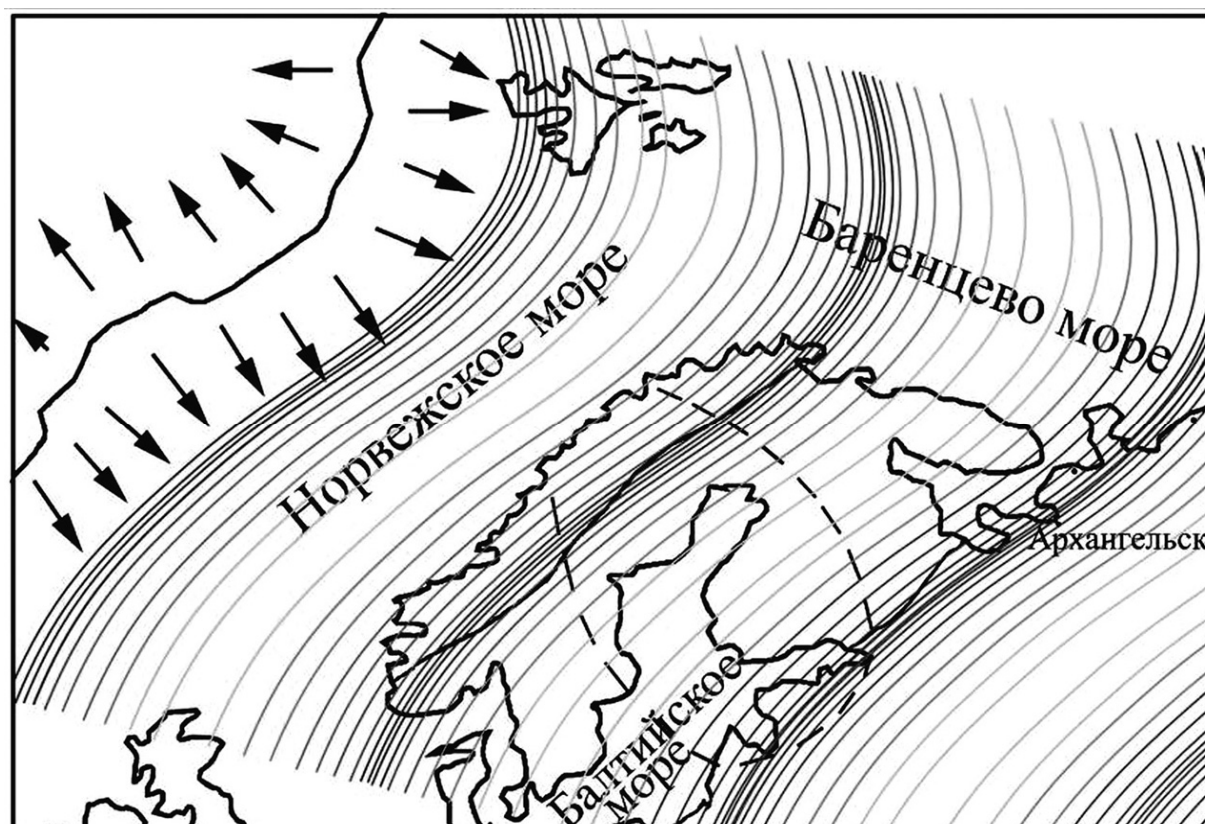


Рис. 23. Схема распространения деформационных волн от Северо-Атлантической зоны спрединга [Юдахин и др. 2008].

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ

Волновой характер и, как следствие, периодичность воздействия деформационной волны подтверждается результатами анализа характера ее движения. Исследовались 2 района [Юдахин и др. 2003] (I и II). В район I вошла площадь развития скандинавских каледонид и ограничивающая их с запада область ступенчатых сбросов, по которым континентальная часть Фенноскандии погружается в Норвежское и Баренцево море, район II — Балтийский щит (рис. 24).

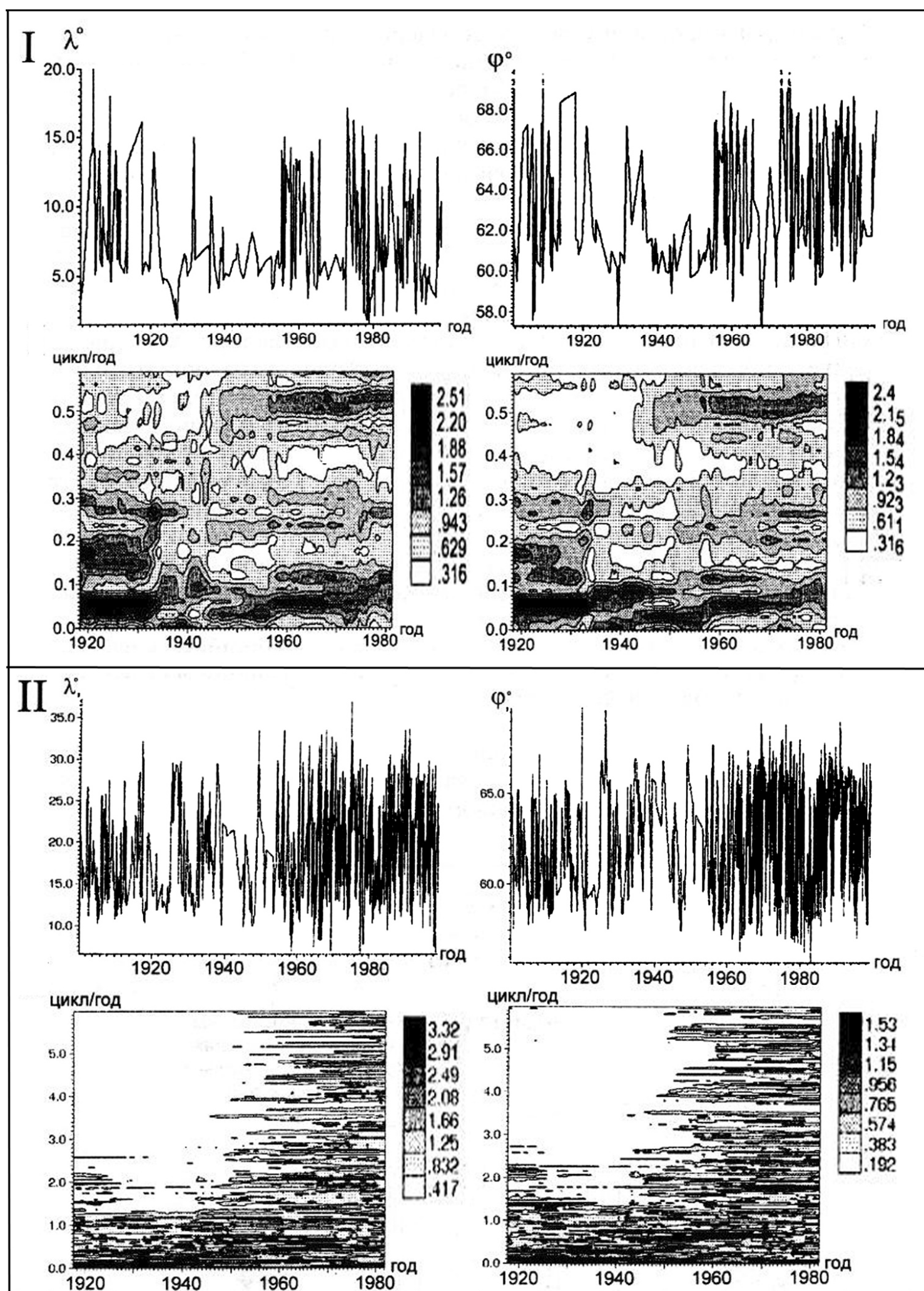


Рис. 24. Временные ряды и С-ВАН-диаграммы проявления очагов землетрясений по широте (λ) и долготе (φ) для районов I ($M \geq 3.5$) (площадь развития скандинавских каледонид и ограничивающая их с запада область ступенчатых сбросов) и II ($M \geq 1.0$) (Балтийский щит) за период 1900—1997 гг. [Юдахин и др. 2003]

Для района I была обработана выборка из 230 ощутимых землетрясений с $M = 3,5-5,4$ и $h = 0-70$ км за 1900—1997 гг.; для района II — выборка из 1400 землетрясений за те же годы с $M = 1,0-5,4$ и $h = 0-40$ км, построены графики изменения координат очагов землетрясений во времени отдельно по долготе (λ) и широте (φ) для разных диапазонов магнитуд с $M \geq 3,5$ и $M \geq 1,0$ и проведен С-ВАН-анализ [Юдахин и др. 2003].

На С-ВАН-диаграммах отчетливо видна ритмичность, которая различна у районов I и II. У обоих районов хорошо прослеживается 20-летний ритм (зачерненная полоса). Наблюдаются также и более высокочастотные, но менее продолжительные и не так четко выраженные ритмы (10-, 7-, 4-, 2-летние), причем начиная с 1954 г., они становятся более устойчивыми (рис. 24).

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Для СВАН-диаграмм слабых землетрясений (рис. 24 II) характерно дальнейшее нарастание ритмов, что, по-видимому, связано с проявлением землетрясений в пределах следующих по рангу малых блоков (1,5-, 0,9-, 0,5-летние ритмы). Эти результаты свидетельствуют о наличии циклической составляющей в характере миграции землетрясений.

Нами указывалось ранее [Кутинов, Чистова 2013], что, испытывая давление со стороны зоны спрединга, Фенно-Скандинавский свод за счет наличия «мантийного якоря» представляет как бы многослойную структуру (в вертикальном разрезе), в котором движение каждого слоя имеют свою скорость (максимальную в верхнем более жестком слое). В результате происходит проскальзывание верхнего слоя, приводящее к короблению верхних частей земной коры, возникновению латеральных срывов (волноводы-линзы, зоны трещиноватости на глубинах 10—15 км) и распространению зон повышенной трещиноватости и флексур, чередующихся с прогибами в осадочном чехле. Сам «мантийный якорь» испытывает наряду с горизонтальным давлением и косовое выдавливание, сопровождающееся латеральным перетоком вещества. Последнее, в свою очередь, вызывает латеральное отжимание глубинных флюидов (разломы по данным ГСЗ достигают, как минимум, поверхности Мохо) из зон сжатия в зоны растяжения. Т.е. вдоль глубинных разломов и грабенов юго-восточного склона Балтийского щита возникает своего рода полициклическая деформационная волна, вдоль фронта распространения которой происходит смена латерального перетока флюидов на вертикальный. Судя по характеру миграции очагов землетрясений, эта волна распространяется, прежде всего, по глубинным разломам северо-западного простирания, ограничивающим рифейские грабены.

Выводы

Комплексный анализ геолого-геофизических материалов Восточно-Европейской платформы и, более детально, Европейского Севера России показал, что «след» Архангельской алмазоносной провинции наблюдается: в пониженных значениях температуры в литосфере с глубины, как минимум, 200 км и практически до дневной поверхности; в значениях теплового потока; в структуре потенциальных полей; в строении поверхности Мохо и кристаллического фундамента; в мощности нижнего, среднего и верхнего слоя земной коры; в современном геодинамическом режиме, что отражается в макросейсмическом поле, дегазации и ионизации атмосферы. В целом, еще с докембрия была сформирована вертикальная стволочная структура с аномальными свойствами среды, находящаяся в колебательном режиме. Проекция этой структуры на дневную поверхность в первом приближении может рассматриваться как граница Архангельской алмазоносной провинции (рис. 25).

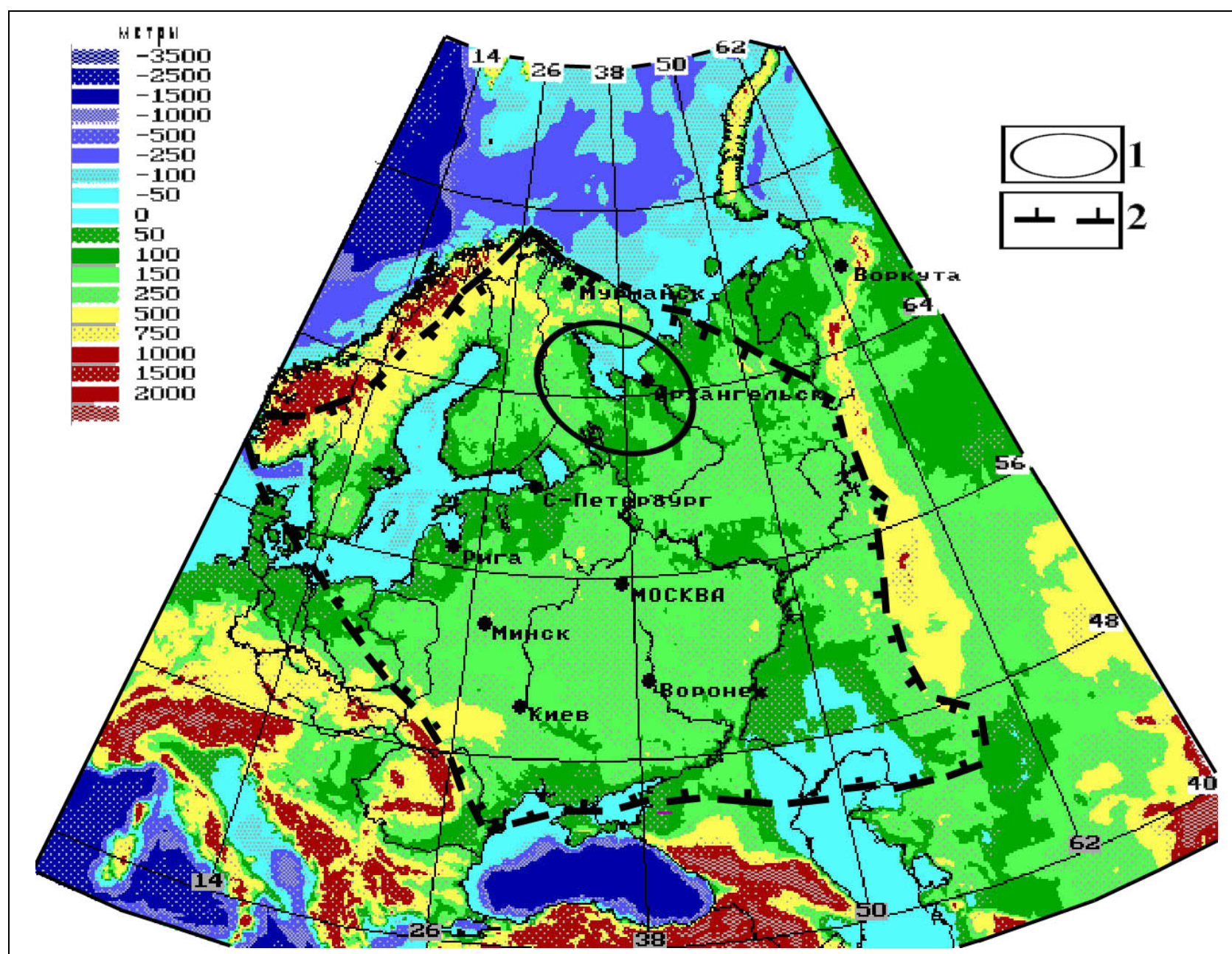


Рис. 25. Контур Архангельской алмазоносной провинции на физико-географической карте Восточной Европы: 1 — контур провинции; 2 — граница Восточно-Европейской платформы

Таким образом, Архангельская кимберлитовая провинция достаточно отчетливо выделяется в геолого-геофизических материалах.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

Глоссарий

Ультраосновные горные породы, ультрабазиты, гипербазиты — группа магматических горных пород с низким содержанием кремнезёма (30—45% SiO₂). Ультраосновные горные породы распространены в природе значительно меньше других групп изверженных пород. По щёлочности среди ультрабазитов выделяются плутонические и вулканические породы двух петрохимических рядов: нормальной щёлочности (собственно ультраосновные горные породы) и щелочные (фоидиты и фоидолиты). Среди плутонических пород различают семейства существенно оливиновых пород (оливинитов-дунитов) и пироксен-оливиновых пород (перидотитов). Щелочные ультраосновные горные породы содержат более 2% по массе Na₂O+K₂O. По относительной роли типоморфных минералов — оливина, мелилита, натриевых и калиевых фельдшпатоидов — щелочно-ультраосновные вулканические подразделяются на 3 семейства: щелочных пикритов, мелилититов, ультраосновных фоидитов. Плутонические породы этого ряда распадаются на 2 семейства: мелилитолитов и ультраосновных фоидолитов.

Фельдшпатоиды — порообразующие минералы, каркасные алюмосиликаты натрия, калия, отчасти кальция. По химическому составу близки к полевым шпатам, но содержат меньше кремния. Образуются в магмах, очень бедных кремнезёмом. К фельдшпатоидам относятся лейцит, содалит, нефелин (элеолит), канкринит, нозеан и гаюин, из поделочных камней — лазурит, тугтупит. Как порообразующие минералы щелочных изверженных пород заменяют полевые шпаты в породах, пересыщенных щёлочами и лишённых кварца.

Фельзические, или сиалические, минералы — алюмосиликаты; обогащенные кремнием и алюминием минералы с относительно низкой температурой плавления, в которых содержание кремния, алюминия, калия и кальция преобладает над содержанием железа и марганца. Эти минералы называют также «фельзическими», то есть «стеклоподобными», поскольку в шлифах они напоминают стекло.

Фоидит — обобщенное название вулканических пород, в которых фельдшпатоиды составляют более 60% суммарного количества фельзических минералов. Если модальный состав породы не установлен, фоидит определяется по соответствию их химического состава соответствующим полям на TAS-диаграмме. При идентификации ведущего фоида порода получает соответствующее название — лейцитит, нефелинит, анальцитит и т.п. Плутонический аналог фоидита — фоидолит.

Кимберлит (по г. Кимберли, ЮАР) — гипабиссальная ультраосновная порода порфировой структуры, являющаяся эруптивной брекчией, в которой среди разнородных включений обязательно присутствуют пиропсодержащие ультраосновные породы (пироповые перидотиты, реже пироповые оливиниты и пироксениты) глубинного происхождения.

Мелилитит — вулканическая порода ультраосновного состава щелочного ряда из семейства мелилититов, сложенная вкрапленниками мелилита (10—60%) клинопироксена (5—60%), оливина (до 25%) в микролитовом или стекловатом базисе, содержащем до 20% нефелина, лейцита, кальсилита и до 10% флогопита и амфибола; количество мелилита выше, чем фоидитов. Разновидности: мелилитит нефелиновый; мелилитит лейцитовый; мелилитит оливиновый.

Оливиновый мелилитит — как правило, представляет собой обильные фенокристаллы желтовато- или темно-зеленого оливина, которые заключены в плотную зеленовато-серую основную массу. Часто различимые также и относительно мелкие вкрапленники светлого голубовато-серого (на выветрелой поверхности) мелилита и черного клинопироксена. Среди вкрапленников почти всегда преобладает оливин (25% объема породы); фенокристаллы мелилита составляют 20%, редко до 40%, клинопироксена — 20%. Основная масса эффузивного оливинового мелилитита состоит из нацело измененного (цеолитизированного, хлоритизированного, карбонатизированного) вулканического стекла (60% объема), микролитов клинопироксена (60%), лейстообразных микролитов мелилита (20%), мелких идиоморфных индивидов нефелина или лейцита (5%) и изометричных выделений рудного минерала (15%). Отмечаются также чешуйки биотита (флогопита), кристаллики перовскита, титанита и апатита. Как вкрапленники, так и микролиты мелилита, в отличие от зерен оливина и авгита, редко сохраняются свежими. Часто они целиком превращены в псевдоморфозы, состоящие из крипто-зернистого агрегата бесцветной слюды, серпентина, карбонатов и цеолитов. Последовательность кристаллизации и процессы автотаморфизма те же, что и в мелилититах.

Термин «**оливиновый мелилитит**» широко употребляется с начала шестидесятых годов XX столетия и одобрен Международной подкомиссией по номенклатуре изверженных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абалакин В. К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Кулинич А.В., Медведев М.Ю., Тайбаторов К.А., Трошков Г.А., Шустова Л.Е. Региональные особенности гравитационного поля и геоида Фенноскандии // ДАН. 1988. Т. 359. № 3. С. 386—389.
2. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под. ред. О.А. Богатикова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 524 с.
3. Балугев А.С. Континентальный рифтогенез севера Восточно-Европейской платформы в неогене: история развития, сравнительный анализ. Дисс. ... д. г.-м. н. М.: ГИН РАН, 2013. 320 с.
4. Барышев А.Н. Периодические геодинамические и металлогенетические системы, их развитие и взаимодействие. М.: ЦНИГРИ, 1999. 264 с.
5. Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты). Новосибирск: изд-во СО РАН, 2008. 537 с.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

6. Богатиков О.А., Кононова В.А., Первов В.А., Карпухина Е.В. Потенциально алмазоносный магматизм севера Восточно-Европейской платформы // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 209 – 225.
7. Богатиков О.А., Ларионова Ю.О., Носова А.А., Самсонов А.В., Шарков Е.В. Минерагения докембрия севера Восточно-Европейской платформы // Минерагения докембрия. Материалы Всероссийской конференции. Петрозаводск: Карельский Научный Центр РАН, 2009. С. 18 – 22.
8. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и Мира (основы прогнозирования). М.: Геоинформмарк, 2000. 371 с.
9. Ваганов В.И., Варламов В.А., Фельдман А.А., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Олофинский Л.Н., Бойко А.Н. Прогнозно-поисковые системы для месторождений алмазов // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 42 – 52.
10. Владимиров Б.М., Соловьева Л.В., Киселев А.И., Егоров К.Н., Масловская М.Н., Днепровская Л.В., Брандт С.Б., Семенова В.Г. Кимберлиты и кимберлитоподобные породы: Кимберлиты – ультраосновная формация древних платформ / Отв. ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука, 1990. 264 с.
11. Геологический словарь / Гл. ред. К.Н. Паффенгольц. Т. 1. М.: Недра, 1973.а. 486 с.
12. Геологический словарь / Гл. ред. К.Н. Паффенгольц. Т. 2. М.: Недра, 1973.б. 456 с.
13. Глазнев В.Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. Апатиты: КАЭМ. 2003. 244 с.
14. Глубинные условия эндогенного рудообразования / АН СССР; Отделение геологии, геофизики, геохимии и горных наук; Научный совет по рудообразованию; Отв. ред. В.И. Смирнов. М.: Наука, 1986. 271 с.
15. Губайдуллин М.Г. Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России. Архангельск: Изд-во Поморского государственного университета. 2002. 310 с.
16. Добрецов Н.Л. Глобальные петрологические процессы. М.: Недра, 1981. 236 с.
17. Дучков А.Д., Соколова Л.С. Термическая структура литосферы Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 494 – 503.
18. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Книга 2. М.: Недра, 1990. 334 с.
19. Иотов В.И. Печорско-Южно-Баренцевоморский и Свердрупский бассейны внутренних (входящих) углов платформ. Сравнительные аспекты в связи с проблемой дивергентной границы Евразийской и Северо-Американской плитам литосферы // Геодинамика и геоэкология. Материалы Международной конференции. Архангельск: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, 1999. С. 154 – 156.
20. Иотов В.И., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Внутриплитный ротационно-сдвиговый механизм нелинейной геодинамики и нефтидогенез континентальных и шельфовых окраин юго-западного сектора Арктики // Материалы Международной конференции. Архангельск: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, 1999. С. 152 – 154.
21. Казанин Г.С., Журавлев В.А., Павлов С.П. Структура осадочного чехла и перспективы нефтегазоносности Белого моря // Бурение и нефть. 2006. № 2. С. 26 – 28.
22. Казанский В.И. Глубинное строение литосферы и рудообразование // Глубинные исследования недр в СССР. Доклады советских геологов на XXVIII сессии Международного Геологического Конгресса. Л.: Наука, 1989. С. 55 – 61.
23. Калинин М.М., Арзамасцев А.А., Поляков И.В. Кимберлиты и родственные им породы Кольского региона // Петрология. 1993. Т. 1. № 2. С. 205 – 214.
24. Карта теплового потока европейской части СССР. Масштаб 1:5000000 / Под ред. В.В. Гордиенко, А.А. Смыслова, У.И. Моисеенко. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 35 с.
25. Ковалев В.П. Принципы организации и развития материальных систем – методологическая основа истолкования геологической истории литосферы // Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 190 – 199.
26. Коротков Ю.В. Поиск скрытых кимберлитовых тел с использованием импульсной индуктивной электро-разведки в Архангельской Алмазоносной провинции. Дисс. ... к. г.-м. н. М.: РГГРУ, 2011. 185 с.
27. Кутинов Ю.Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 388 с.
28. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я. Современная геодинамическая модель Севера Евразии // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Труды геофизических чтений им. В.В. Федынского. М., 2007. С. 119 – 124.
29. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2001. С. 68 – 112.
30. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ИПП «Правда Севера», 2004. 283 с.

**Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

31. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1: Система планета Земля. Режим доступа: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya8-kutinovchistova-2012.pdf>.
32. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Нефть в породах фундамента и рифейских отложениях Мезенской синеклизы и юго-восточного склона Балтийского щита // Глубинная нефть. 2013. Т. 1. № 5. С. 620 – 637.
33. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена по комплексу данных // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия Естественные науки. 2013. № 4. С. 21 – 29.
34. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена. Межгеосферное взаимодействие. Дегазация, ионизация и влияние на окружающую среду. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing. 2014. 175 с.
35. Ларкина В.И., Мигулин В.В., Сергеева Н. Г., Сенин Б.В. Электромагнитное излучение над глубинными разломами литосферы по измерениям на спутнике // ДАН. 1998. Т. 300. № 6. С. 814 – 818.
36. Леонов Ю.Г. Тектоническая расслоенность коры платформ: факты и соображения // Вестник Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН, 1997. № 1. С. 131 – 152.
37. Лехи К., Тэйлор Р. Влияние глубинной структуры региона Глени на алмазы в кимберлитах Саскачевана // Геология и геофизика. 1997. Том 38. № 2. С. 451 – 460.
38. Мальков Б.А., Холопова Е.Б. Трубки взрыва и алмазоносные россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт. 1995. 52 с.
39. Милашев В.А. Кимберлиты и глубинная геология. Л.: Недра, 1990. 167 с.
40. Савицкий А.В., Афанасьева Е.Н., Гукасян Г.О., Петров Ю.В. Разрывные нарушения северо-запада Русской платформы и их металлогеническое значение // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности северо-запада Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 39 – 52.
41. Салоп Л.И. Геологическое строение Земли в докембрии. Л.: Недра, 1982. 343 с.
42. Суворов В.Д., Юрин Ю.А., Тимиршин К.В., Крылов С.В., Парасотка Б.С., Черный С.Д., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Матвеев В.Д. Структура и эволюция земной коры и верхов мантии по Якутской кимберлитовой провинции по сейсмическим данным // Геология и геофизика, 1997. Т. 38. № 2. С. 486 – 493.
43. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.
44. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и геоэкологические проблемы приграничных территорий России [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2013. Т. 3, Вып. 1: Пространство и время границ. Режим доступа: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/Том%203%20Vip%201/rubr6-estestvennye-granicy-st3-syvorotkin-2013.pdf>.
45. Ушков В.В. Кимозерское проявление алмазоносных кимберлитов в Онежской структуре // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. С. 94 – 98.
46. Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. Тепловой поток Свальбардской плиты: новые измерения – новые задачи [Электронные, текстовые, графические данные. 1 электронный оптический диск CD-ROM] // Северные территории России: проблемы и перспективы развития. Всероссийская конф. с межд. участием. 23-26 июня 2008: Архангельск: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, 2008.
47. Щукин Ю.К., Ермаков Б.В., Краснопевцева Г.В., Ивановская Л.В. Обобщение данных региональных геолого-геофизических работ для обоснования перспектив экспериментальных глубинных исследований в пределах Русской плиты. Научно-технический отчет о работах по договору № 1423796/101. М.: ВНИИГеофизика, 1995. 184 с.
48. Шварцман Ю. Г. Тепловое состояние литосферы и новейшие измерения климата на Европейском Севере // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2001. С. 130 – 154.
49. Юдахин Ф.Н. Проблемы сейсмической опасности слабоактивных территорий // Геодинамика и геоэкология. Материалы международной конференции. Архангельск: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, 1999. С. 441 – 445.
50. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова Е.В. Исследования активности платформенных территорий с использованием микросейсм. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2008. 128 с.
51. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Сейсмичность Севера Европейской части России // Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура. Материалы международной конференции. Архангельск: Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, 2000. С. 276 – 277.
52. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. 299 с.
53. Arzamastsev A.A., Travin A., Arzamastseva L. "Final Episode of Paleozoic Magmatism in the NE Fennoscandian

**КУТИНОВ Ю.Г., ЧИСТОВА З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

- Shield: 40Ar/39Ar Isotope Dating of Diamond Bearing Kimberlites and Picrites from the Southern Kola. Finland." *Abstracts for the 6th Workshop of the Svekalapko, an Europrobe Project*. Oulu, Finland: Institute of Geosciences, 2001, p. 4.
54. Barbey P., Convert J., Moreau B., Capdevilla R., Hameurt J. "Petrogenesis and Evolution of an Early Proterozoic Collisional Orogenic Belt: The Granulite Belt of Lapland and Belomorides (Fennoscandia)." *Bull. Geol. Soc. Finland* 56 (1984): 161–188.
55. Norsk Regnesentral (Norwegian Computing Center), Koren H. *Cloud Detection in MODIS Images*. NR note SAM-BA/28/09, 2009. PDF-file. <http://publications.nr.no/directdownload/publications.nr.no/Cloud_detection.pdf>.
56. O'Brien H.E., Peltonen P., Vartiainen H. "Kimberlites, Carbonatites, and Alkaline Rocks." *Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Eds. M. Lehtinen, P.A. Nurmi, and O.T. Ramo. Amsterdam: Elsevier B.V., 2005, pp. 605–644.
57. Ringwood A.A., Irifune T. "Nature of the 650-km Seismic Discontinuity. Implication for Mantle Dynamic and Differentiation." *Nature* 331 (1988): 131–136.
58. Ringwood A.A., Kerson S.E., Hibberson W., Ware N. "Origin of Kimberlites and Related Magmas." *Earth and Planet. Sci. Lett.* 113 (1992): 521–538.
59. Shmalzl J., Hansen U. "Mixing Properties of Mantle Convection." *Abstracts of the 7th Meeting of the European Union of Geosciences (EUG VII) (Strasbourg, France, 4–8 April 1993)*. *Terra Abstracts, Abstract Supplement no. 1 to Terra Nova* 5 1993: 56.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11–2011:

Кутинов, Ю. Г., Чистова, З. Б. Архангельская алмазоносная провинция на мелкомасштабных геологических, тектонических и геофизических картах [Электронный ресурс] / Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2016. — Т. 11. — Вып. 1: Система планета Земля. — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprov_e-ast11-1.2016.12.

SMALL-SCALE GEOLOGICAL, TECTONIC AND GEOPHYSICAL MAPPING OF THE ARKHANGELSK DIAMONDIFEROUS PROVINCE

Yury G. Kutinov, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Chief Scientific Researcher at RAS Ural Branch Institute of Ecological Problems of the North, Director of the Space monitoring Center of the Arctic in Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
E-mail: kutinov@iepn.ru, yury-g-kutinov@j-spacetime.com

Zinaida B. Chistova, Sc.D. (Geology and Mineralogy), Head of Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of Lithosphere, RAS Ural Branch Institute of Ecological Problems of the North
E-mail: zinaida-b-chistova@j-spacetime.com, zchistova@yandex.ru

The issue of boundaries of kimberlite taxa, which is of great scientific and practical significance, is a part of the general problem of natural boundaries of mineragenic taxa, which is the least understood and almost does not covered in the scientific literature. As for relatively new Arkhangelsk (Russian) diamondiferous province, it, a fortiori, does not have substantiated structural outlines. So, the subject of our article is analysis of currently available geological and geophysical data for more detailed geological, tectonic and geophysical mapping East European platform and Russia's European North.

Complex analysis of geological-geophysical data on East European platform and on European North of Russia showed that 'traces' of Arkhangelsk diamondiferous province are evident as (i) low values of the temperature of the lithosphere from the surface to a depth of at least 200 km, (ii) values of heat flow, (iii) the structure of potential geophysical fields, (iv) the surface structure of Moho and crystalline basement, (v) power of lower, middle and upper layers of the Earth's crust, (vi) modern geodynamic regime, which is reflected in macroseismic field, degassing and ionization of the atmosphere.

We conclude, the Since the Precambrian, the vertical stem structure with anomalous medium properties, under oscillatory regime, was formed. The projection of this structure to the surface in the first approximation can be considered as the boundary of the Arkhangelsk diamondiferous province. As a result, Arkhangelsk kimberlitic province quite clearly stands out in the geologic and geophysical data.

Keywords: kimberlitic province, taxon, geological boundaries, geological and geophysical data, megalith, plumes, Earth's crust, Moho.

**КУТИНОВ Ю.Г., ЧИСТОВА З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

References:

1. Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Bulanzhe Yu.D., Kulinich A.V., Medvedev M.Yu., Taybatorov K.A., Troshikov G.A., Shustova L.E. "Regional Features of Fennoscandia Gravity Field and Geoid." *Doklady Earth Sciences* 359.3 (1988): 386–389. (In Russian).
2. Arzamastsev A.A., Travin A., Arzamastseva L. "Final Episode of Paleozoic Magmatism in the NE Fennoscandian Shield: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Isotope Dating of Diamond Bearing Kimberlites and Picrites from the Southern Kola. Finland." *Abstracts for the 6th Workshop of the Svekalapko, an Europrobe Project*. Oulu, Finland: Institute of Geosciences, 2001, p. 4.
3. Baluev A.S. *Continental Rifting on the North of the East European Platform in the Neogene: Historical Development, Comparative Analysis*. Doctoral diss. Moscow, 2013. 320 p. (In Russian).
4. Barbey P., Convert J., Moreau B., Capdevilla R., Hameurt J. "Petrogenesis and Evolution of an Early Proterozoic Collisional Orogenic Belt: The Granulite Belt of Lapland and Belomorides (Fennoscandia)." *Bull. Geol. Soc. Finland* 56 (1984): 161–188.
5. Baryshev A.N. *Periodic Geodynamic and Metallogenic Systems, Their Development and Interaction*. Moscow: Central Scientific and Research Institute for Geological Prospecting of Nonferrous and Precious Metals Publisher, 1999. 264 p. (In Russian).
6. Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A. *Minerageny of the Platform Magmatism (Traps, Carbonates, Kimberlites)*. Novosibirsk: Siberian Branch of RAS Publisher, 2008. 537 p. (In Russian).
7. Bogatikov O.A., ed. *Arkhangelsk Diamondiferous Province (Geology, Petrography, Geochemistry, and Mineralogy)*. Moscow: Moscow State University Publisher, 1999. 524 p. (In Russian).
8. Bogatikov O.A., Kononova V.A., Pervov V.A., Karpukhina E.V. "Potentially Diamondiferous Magmatism in the Northern East European Platform." *Russian Arctic: Geological History, Minerageny, and Geoecology*. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya Publisher, 2002, pp. 209–225. (In Russian).
9. Bogatikov O.A., Larionova Yu.O., Nosova A.A., Samsonov A.V., Sharkov E.V. "Minerageny of Precambrian North of the East European Platform." *Minerageny of Precambrian. Proceedings of All-Russian Conference*. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of RAS Publisher, 2009, pp. 18–22. (In Russian).
10. Dobretsov N.L. *Global Petrologic Processes*. Moscow: Nedra Publisher, 1981. 236 p. (In Russian).
11. Duchkov A. D., Sokolova L.S. "Thermal Structure of the Lithosphere of the Siberian Platform." *Geology and Geophysics* 38.2 (1997): 494–503. (In Russian).
12. Glaznev V.N. *Integrated Geophysical Models of the Lithosphere in Fennoscandia*. Apatity: KAEM Publisher, 2003. 244 p. (In Russian).
13. Gordienko V.V., Smyslov A.A., Moiseenko U.I., eds. *Map of Heat Flow at the European Part of the USSR. Scale 1:5000000*. Leningrad: All-Union Geological Research Institute Publisher, 1987. 35 p. (In Russian).
14. Gubaydullin M.G. *Geoecological Conditions of the Mineral Resources Exploitation in the European North of Russia*. Arkhangelsk: Pomor State University Publisher, 2002. 310 p. (In Russian).
15. Iotov V.I. "Pechora – South Barents Sea Basins and Sverdrup's Internal (Inbound) Corners of the Platforms. Comparative Aspects in Connection with the Problem of Divergent Boundary the Eurasian and North American Lithosphere Plates." *Geodynamics and Geoecology. Proceedings of the International Conference*. Arkhangelsk: Institute for Ecological Problems of the North Ural Branch of RAS Publisher, 1999. pp. 154–156. (In Russian).
16. Iotov V.I., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. "Intraplate Rotating and Shearing Mechanism of Nonlinear Geodynamics and Naftidogenesis of the Continental Margins and Shelf Edges of the South-Western Sector of the Arctic." *Proceedings of the International Conference*. Arkhangelsk: Institute for Ecological Problems of the North Ural Branch of RAS Publisher, 1999, pp. 152–154. (In Russian).
17. Kalinkin M.M., Arzamastsev A.A., Polyakov I.V. "Kimberlites and Related Rocks of the Kola Region." *Petrology* 1.2 (1993): 205–214. (In Russian).
18. Kazanin G.S., Zhuravlev V.A., Pavlov S.P. "Structure of the Sedimentary Cover and Hydrocarbon Perspective of the White Sea." *Drilling and Oil* 2 (2006): 26–28. (In Russian).
19. Kazanskiy V.I. "Deep Structure of the Lithosphere and Ore Formation." *Subsurface Exploration of Mineral Resources in the USSR. Soviet Geologists' Reports at the 28th Session of the International Geological Congress*. Leningrad: Nauka Publisher, 1989, pp. 55–61. (In Russian).
20. Khutorskoy M.D., Leonov Yu.G., Ermakov A.V., Akhmedzyanov V.R. "Heat Flux of the Svalbard Plate: New Dimensions, New Challenges." *Northern Territories of Russia: Problems and Prospects. All-Russian Conference with International Participation, 23–26 June 2008*. Arkhangelsk: Institute for Ecological Problems of the North of Ural Branch of RAS, 2008. CD-ROM. (In Russian).
21. Korotkov Yu.V. *Search for Hidden Kimberlite Bodies Using Pulsed Inductive Electrical Prospecting in the Arkhangelsk Diamondiferous Province*. Sc.D. diss. Moscow, 2011. 185 p. (In Russian).
22. Kovalev V.P. "Principles of Organization and Development of Material Systems – A Methodological Basis for Interpretation of Geological History of Lithosphere." *The Idea of Development in Geology: Substantial and*

**КУТИНОВ Ю.Г., ЧИСТОВА З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

- Structural Aspects*. Novosibirsk: Nauka Publisher, 1990, pp. 190 – 199. (In Russian).
23. Kutinov Yu.G. *Ecogeodynamics of the Arctic Segment of the Earth's Crust*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS Publisher, 2005. 388 p. (In Russian).
 24. Kutinov Yu.G., Belenovich T.Ya. "Modern Geodynamic Model of the North Eurasia." *Geophysics of the 21st Century: 2006. Proceedings of V.V. Fedynsky Geophysical Readings*. Moscow: 2007, pp. 119 – 124. (In Russian).
 25. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. "Complex Model for Geospheres Interaction Processes in Tectonic Nodes at the North of Russian Plate." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 1.1 (2012). PDF-file. <<http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya8-kutinovchistova-2012.pdf>>. (In Russian).
 26. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. "Fault-Block Tectonics and Its Role in Evolution of Lithosphere." *Lithosphere and Hydrosphere of European North of Russia. Geoecological Problems*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS Publisher, 2001, pp. 68 – 112. (In Russian).
 27. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. "Oil in Basement Rocks, and Riphean Deposits of the Mezen Syncline and the South-Eastern Slope of the Baltic Shield." *Deep Petroleum* 1.5 (2013): 620 – 637. (In Russian).
 28. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. *Hierarchical Series of Manifestations of Alkali-Ultramafic Magmatism of the Arkhangelsk Diamondiferous Province. Their Reflection in Geological and Geophysical Materials*. Arkhangelsk: Pravda Severa Publisher, 2004. 283 p. (In Russian).
 29. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Gofarov M.Yu., Mineev A.L. "Modern Tectonic Activity of the Kandalaksha Graben according Data Set." *Herald of the Northern (Arctic) Federal University. Series of Natural Science* 4 (2013): 21 – 29. (In Russian).
 30. Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Mineev A.L. *Modern Tectonic Activity of the Kandalaksha Graben. The Interaction between Geospheres. Degassing, Ionization, and Impact on Environment*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing. 2014. 175 p. (In Russian).
 31. Larkina V.I., Migulin V.V., Sergeeva N. G., Senin B.V. "Electromagnetic Radiation above Deep-seated Faults of Lithosphere according Satellite Measurements." *Doklady Earth Sciences* 300.6 (1998): 814 – 818. (In Russian).
 32. Leahy K., Taylor W.R. "The Influence of the Glennie Domain Deep Structure on the Diamonds in Saskatchewan Kimberlites." *Geology and Geophysics* 38.2 (1997): 451 – 460. (In Russian).
 33. Leonov Yu.G. "Tectonic layering of the cortex platform: facts and considerations." *Herald of the Department of Geology, Geophysics, Geochemistry and Mining Sciences of RAS* 1 (1997): 131 – 152. (In Russian).
 34. Malkov B.A., Kholopova E.B. *Diatremes and Diamond Fields of the Middle Timan*. Syktyvkar: Geoprint Publisher, 1995. 52 p. (In Russian).
 35. Milashev V.A. *Kimberlites and Underlying Geology*. Leningrad: Nedra Publisher, 1990. 167 p. (In Russian).
 36. Norsk Regnesentral (Norwegian Computing Center), Koren H. *Cloud Detection in MODIS Images. NR note SAM-BA/28/09*, 2009. PDF-file. <http://publications.nr.no/directdownload/publications.nr.no/Cloud_detection.pdf>.
 37. O'Brien H.E., Peltonen P., Vartiainen H. "Kimberlites, Carbonatites, and Alkaline Rocks." *Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Eds. M. Lehtinen, P.A. Nurmi, and O.T. Ramo. Amsterdam: Elsevier B.V., 2005, pp. 605 – 644.
 38. Paffengolts K.N., ed. *Geological dictionary*. Moscow: Nedra Publisher, 1973, volume 1. 486 p. (In Russian).
 39. Paffengolts K.N., ed. *Geological dictionary*. Moscow: Nedra Publisher, 1973, volume 2. 456 p. (In Russian).
 40. Ringwood A.A., Irifune T. "Nature of the 650-km Seismic Discontinuity. Implication for Mantle Dynamic and Differentiation." *Nature* 331 (1988): 131 – 136.
 41. Ringwood A.A., Kerson S.E., Hibberson W., Ware N. "Origin of Kimberlites and Related Magmas." *Earth and Planet. Sci. Lett.* 113 (1992): 521 – 538.
 42. Salop L.I. *Geological Structure of the Earth in Precambrian*. Leningrad: Nedra Publisher, 1982. 343 p. (In Russian).
 43. Savitsky A.V., Afanasieva E.N., Gukasyan G.O., Petrov Yu.V. "Faults of the North-West of the Russian Platform and Their Metallogenic Significance." *Block Tectonics and Prospects of ore Content of North-West of the Russian Platform*. Leningrad: All-Union Geological Research Institute Publisher, 1986, pp. 39 – 52. (In Russian).
 44. Shchukin Yu.K., Ermakov B.V., Krasnopevtseva G.V., Ivanovskaya L.V. *Generalization of the Regional Geological-Geophysical Works for the Justification the Prospects of the Experimental in-Depth Researches within the Russian Plate. Scientific and Technical Report on the Works under the Contract no. 1423796/101*. Moscow: VNIIGeofizika Publisher, 1995. 184 p. (In Russian).
 45. Shmalzl J., Hansen U. "Mixing Properties of Mantle Convection." *Abstracts of the 7th Meeting of the European Union of Geosciences (EUG VII) (Strasbourg, France, 4 – 8 April 1993)*. *Terra Abstracts, Abstract Supplement no. 1 to Terra Nova* 5 1993: 56.
 46. Shvartsman Yu.G. "Thermal State of the Lithosphere and the Latest Measurement of Climate in the European North." *Lithosphere and Hydrosphere of European North of Russia*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS Publisher, 2001, pp. 130 – 154. (In Russian).
 47. Smirnov V.I., ed. *The Underlying Conditions for Endogenous Ore Formation*. Moscow: Nauka Publisher, 1986. 271 p. (In Russian).

**КУТИНОВ Ю.Г., ЧИСТОВА З.Б. АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ
НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КАРТАХ**

48. Suvorov V. D., Yurin Yu.A., Timirshin K.V., Krylov S.V., Parasotka B.S., Cherny S.D., Seleznev V.S., Soloviev V.M., Matveev V.D. "Structure and Evolution of the Earth's Crust and Upper Mantle of the Yakutian Kimberlite Province according to Seismic Data." *Russian Geology and Geophysics* 38.2 (1997): 486–493. (In Russian).
49. Syvorotkin V.L. "Deep Degassing of the Earth and Geo-environmental Problems of the Border Territories of Russia." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 3.1 (2013). PDF-file. <<http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/Tom%203%20Vip%201/rubr6-estestvennye-granicy-st3-syvorotkin-2013.pdf>>. (In Russian).
50. Syvorotkin V.L. *Deep Degassing of the Earth and Global Disasters*. Moscow: Geoinformtsentr Publisher, 2002. 250 p. (In Russian).
51. Ushkov V.V. "Kimozero-type Manifestation of Diamondiferous Kimberlites in the Onega Structure." *Geology and Useful Minerals of Karelia*. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of RAS Publisher, 2001, pp. 94–98. (In Russian).
52. Vaganov V.I. *Diamond Deposits of the World (Basics for Forecasting)*. Moscow: Geoinformmark Publisher, 2000. 371 p. (In Russian).
53. Vaganov V.I., Varlamov V.A., Feldman A.A., Golubev Yu.K., Pusakova N.A., Olofinsky L.N., Boyko A.N. "Predictive-Search Systems for Diamond Deposits." *Domestic Geology* 3 (1995): 42–52. (In Russian).
54. Vladimirov B.M., Solovieva L.V., Kiselev A.I., Egorov K.N., Maslovskaya M.N., Dneprovskaya L.V., Brandt S.B., Semenova V.G. *Kimberlites and Kimberlite-like Rocks: Kimberlites – the Ultrabasic Formation of Ancient Platforms*. Ed. N.A. Logachev. Novosibirsk: Nauka Publisher, 1990, 264 p. (In Russian).
55. Yudakhin F.N. "Problems of Low-Level Seismic Hazard Areas." *Geodynamics and Geoecology. Proceedings of the International Conference*. Arkhangelsk: Institute for Ecological Problems of the North of Ural Branch of RAS Publisher, 1999, pp. 441–445. (In Russian).
56. Yudakhin F.N., Frantsuzova V.I. "Seismicity of the North of European Russia." *Pomorie in the Barents Region at the Turn of the Centuries: Ecology, Economy, Culture. Proceedings of the International Conference*. Arkhangelsk: Institute for Ecological Problems of the North of Ural Branch of RAS Publisher, 2000, pp. 276–277. (In Russian).
57. Yudakhin F.N., Kapustyan N.K., Shakhova E.V. *Platform Territories Activity Researches by Using Microseisms*. Ekaterinburg: RAS Ural branch Publisher, 2008. 128 p. (In Russian).
58. Yudakhin F.N., Shchukin Yu.K., Makarov V.I. *Deep Structure and Modern Geodynamic Processes in Lithosphere of the East European Platform*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS Publisher, 2003. 299 p. (In Russian).
59. Zonenshayn L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. *Tectonics of Lithospheric Plates in the USSR Territory*. Moscow: Nedra Publisher, 1990, book 2. 334 p. (In Russian).

Cite MLA 7:

Kutinov, Yu. G., and Z. B. Chistova. "Small-Scale Geological, Tectonic and Geophysical Mapping of Arkhangelsk Diamondiferous Province." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 11.1 ('The Earth Planet System') (2016). Web. <2227-9490e-aprovr_e-ast11-1.2016.12>. (In Russian).