

УДК 551.242:552.323.6 (470.11)

© Н.А.Прусакова, 2006

ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ

Н.А.Прусакова (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Изучение глубинного строения земной коры Зимнего Берега Белого моря позволяет сделать вывод о том, что комплекс вскрытых здесь Золотицких (с месторождением им. Ломоносова), Верхотинских (с месторождением им. Гриба) и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма отвечает понятию «кимберлитовое поле» (Зимнебережное). Глубинная структура этого кимберлитового поля определяется субвертикальной областью преобразования мантийно-коровой толщи размером в поперечнике 60×85 км. Она связана с формированием и развитием здесь гетерогенной кимберлитобразующей системы, элементы которой проявлены совокупностью разноглубинных физико-геологических неоднородностей с контрастными по отношению к вмещающей среде сейсмическими, плотностными и магнитными параметрами. В потенциальных геофизических полях они отражаются в виде характерной аномальной области, что позволяет определять естественную границу кимберлитового поля.

В ряду алмазоносных минерагенических таксонов (кимберлитовые субпровинция, зона, поле, «куст» тел, тело) алмазоносное кимберлитовое поле занимает одно из важнейших мест. Именно этот таксон обеспечивает переход от региональных прогнозно-минерагенических исследований, базирующихся в основном на достаточно косвенных признаках, непосредственно к поисковым работам, сосредоточенным на относительно локальных (порядка 5 тыс. км²) площадях. В связи с этим изучение закономерностей локализации уже известных алмазоносных кимберлитовых полей и разработка на этой

основе критериев прогнозирования данного минерагенического таксона — одна из актуальных задач, стоящих перед геологической службой.

Принято считать, что зарождение очагов ультраосновного, в том числе кимберлитового, магматизма происходило в верхней мантии. Известные же кимберлитовые трубки размещаются в породах кристаллического фундамента или платформенного чехла. Следовательно, все пространство, занимаемое верхней мантией, консолидированной корой и осадочным чехлом, является средой, сквозь которую транспортировались продуктивные кимберлитовые расплавы.

Очевидно, что этот процесс мантийно-корового взаимодействия должен быть отмечен, в первую очередь, изменением петрофизических параметров вмещающей среды, что, в свою очередь, должно найти отражение в аномальной структуре геофизических полей. В связи с этим вполне определенный интерес при выделении факторов, контролирующих локализацию алмазоносных кимберлитовых полей, представляет изучение пространственных взаимоотношений между особенностями глубинного геолого-геофизического разреза литосферы алмазоносных территорий, аномалиями потенциальных геофизических полей и условиями локализации алмазоносного магматизма.

Зимний Берег Белого моря (Архангельская область) является на сегодняшний день пока единственным местом на севере Восточно-Европейской платформы, где вскрыты промышленно алмазоносные трубки месторождений им. Ломоносова и им. Гриба. Хорошая геолого-геофизическая информационная база, а также соседство Балтийского щита (с выходами на современный уровень эрозионного среза комплексов кристаллического основания) обеспечивают необходимые предпосылки для изучения условий локализации проявленного здесь алмазоносного кимберлитового и родственного ему магматизма палеозойского возраста.

К настоящему времени не выработана единая обоснованная точка зрения в отношении минерагенической принадлежности совокупности кимберлитовых проявлений Зимнего Берега. Одни исследователи [18, 19] выделяют здесь Зимнебережный кимберлитовый район в составе Золотицкого, Верхотинского, Кепинского, Мельского, Ижмозерского и Турьинского (Полтозерского) магматических полей. Другие [9] также выделяют Зимнебережный кимберлитовый район, но уже в другом составе и при других границах полей магматизма в его пределах: Верхотинского, Золотицко-Кепинского, Ижмозерского, Ненокского, Полтозерского (Турьинского), Пинежского полей щелочно-ультраосновных пород. Многие исследователи [1] все проявления среднепалеозойского кимберлитового и родственного ему магматизма Зимнего Берега, группируемые в Ненокское, Ижмозерское, Золотицкое, Верхотинское, Кепинское, Турьинское, Полтинское, Пинежское, Мельское поля магматизма, рассматривают в составе Архангельской алмазоносной провинции (рис. 1). В пределах Кепинского поля по формальным признакам выделяются Шочинская, Ключевая (Кепинская), Пачугская и Соянская группы тел [9]. Часто Пачугская и Соянские группы тел объединяются в единую — Пачугскую группу.

Результаты исследований автором особенностей глубинного строения Зимнего Берега [17] поз-

волили сделать вывод, что совокупность вскрытых здесь Золотицких, Верхотинских и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма по глубинным признакам, скорее всего, отвечает понятию «кимберлитовое поле» — Зимнебережное кимберлитовое поле, в трактовке В.И.Ваганова [7]: «Под алмазоносным кимберлитовым полем понимается естественная группировка пространственно-сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с развитием единой вертикальной «стволовой» зоны повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонны)». Зимнебережное кимберлитовое поле в обозначенных границах (см. рис. 1) вмещает единственное в европейской части России месторождение алмазов им. Ломоносова и промышленно алмазоносную трубку им. Гриба.

Изучение глубинного строения Зимнего Берега проводилось на основе комплексного анализа и интерпретации данных среднемасштабных (1:200 000) гравиметрических и магнитометрических съемок и интерпретационных материалов [В.З.Березовский и др., 1988; 4–6, 12–16] многоволнового глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ-МОВЗ) вдоль опорных профилей (их фрагментов), пересекающих Зимнебережную площадь (Мурманск–Кызыл, Белое море–Вага, Белое море–Воркута, р. Онега–Чешская губа, Двинская губа–р. Мезень). Кроме того, привлекались данные крупномасштабных гравиметрических (м-ба 1:50 000) и аэромагнитных (м-ба 1:25 000 и крупнее) съемок, содержащиеся в фондовых материалах.

В ходе интерпретации геофизических данных изучались пространственные соотношения между особенностями распределения различных геофизических аномалий (сейсмических, гравитационных и магнитных) и характером локализации проявлений кимберлитового магматизма Зимнего Берега. При этом анализировался характер распределения сейсмических параметров в разрезе земной коры вдоль профилей ГСЗ-МОВЗ. При интерпретации гравитационного и магнитного полей проводилась их частотная фильтрация с выделением региональных и локальных компонент различной частотности путем их трансформации осреднением с различными радиусами и вычислением остаточных (разностных) аномалий. Для поля силы тяжести были выделены локальные составляющие по методике Саксова-Нигарда, что позволило получить трансформанты поля, отражающие гравитационное влияние неоднородностей земной коры ограниченной мощности и различной глубины залегания. Осреднение с использованием последовательного ряда радиусов R_1 и R_2 (при постепенном их увеличении и некотором

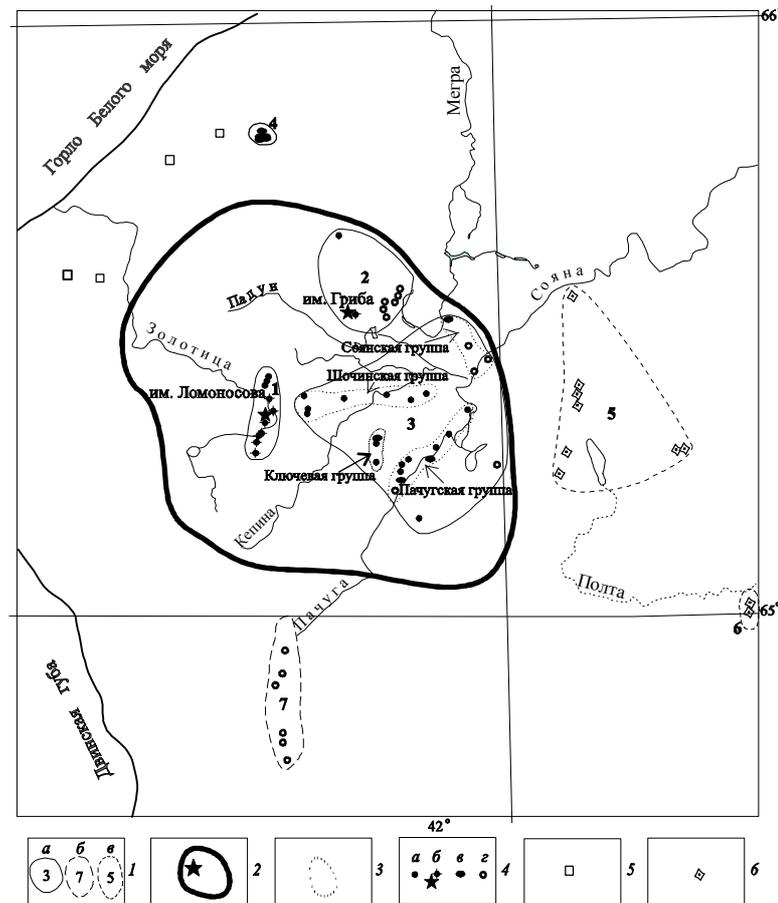


Рис. 1. Размещение проявлений палеозойского магматизма на территории Зимнего Берега Белого моря:

1 — поля магматизма, по данным [1] (1 — Золотицкое, 2 — Верхотинское, 3 — Кепинское, 4 — Мельское, 5 — Турьинское, 6 — Полтинское, 7 — Ижмозерское); а — кимберлитовые, б — проявлений родственных кимберлитам пород, в — проявлений толеитовых базальтов; 2 — Зимнебережное кимберлитовое поле с установленной промышленной алмазонасностью, выделенное по геофизическим данным [17]; 3 — контуры условно выделенных групп магматических тел в пределах Кепинского поля [9]; отдельные проявления кимберлитового и родственного ему магматизма: 4 — трубки взрыва среднепалеозойских кимберлитов (а), в том числе промышленно алмазонасные месторождения им. Ломоносова и им. Гриба (б), силы кимберлитов (в), трубки взрыва палеозойских мелилититов (z); 5 — поздненевендские вулканы, по петрографическому и химическому составам близкие к известково-щелочным лампрофирам типа минетты (В.С.Щукин и др., 2001); 6 — трубки взрыва среднепалеозойских толеитовых базальтов

перекрытии) позволило проследить гравитационное влияние неоднородностей, распределенных практически по всему разрезу земной коры.

При количественной интерпретации геофизических данных особое внимание уделялось моделированию геоплотностного разреза (на основе решения прямой задачи гравиметрии) вдоль фрагмента опорного сейсмического профиля ГСЗ-МОВЗ Белое море–р. Вага, пересекающего область проявлений кимберлитового магматизма Зимнего Берега. Кроме того, для получения более полной картины распределения по латерали глубинных физико-геологических неоднородностей литосферы Зимнего Берега моделирование плотностных разрезов про-

водилось также по ряду дополнительных профилей. В основе моделирования лежал так называемый метод подбора, заключающийся в сравнении наблюдаемого поля силы тяжести с гравитационным полем теоретической модели. Для этой операции использовалась программа (в профильном варианте), составленная в ЦНИГРИ (А.Г.Горелов, А.И.Кочеров, 1990, 2000).

В результате интерпретации геофизических данных [10, 11, 17] установлено, что совокупность Золотицких (с месторождением им. Ломоносова), Верхотинских (с промышленно алмазонасной трубкой им. Гриба) и Кепинских магматитов Зимнего Берега расположена в пределах контура трансформной

интегрированной физико-геологической неоднородности размером в поперечнике 60×85 км (рис. 2). Ее структурная позиция в элементах глубинного строения севера Восточно-Европейской платформы (по результатам проведенного в ЦНИГРИ мелкомасштабного структурно-минерогенического районирования) [10, 11, 17] контролируется узлом пересечения региональных мантийно-коровых линейных тектонических зон (выделенных по геолого-геофизическим данным) северо-западного, субмеридио-

табного структурно-минерогенического районирования) [10, 11, 17] контролируется узлом пересечения региональных мантийно-коровых линейных тектонических зон (выделенных по геолого-геофизическим данным) северо-западного, субмеридио-

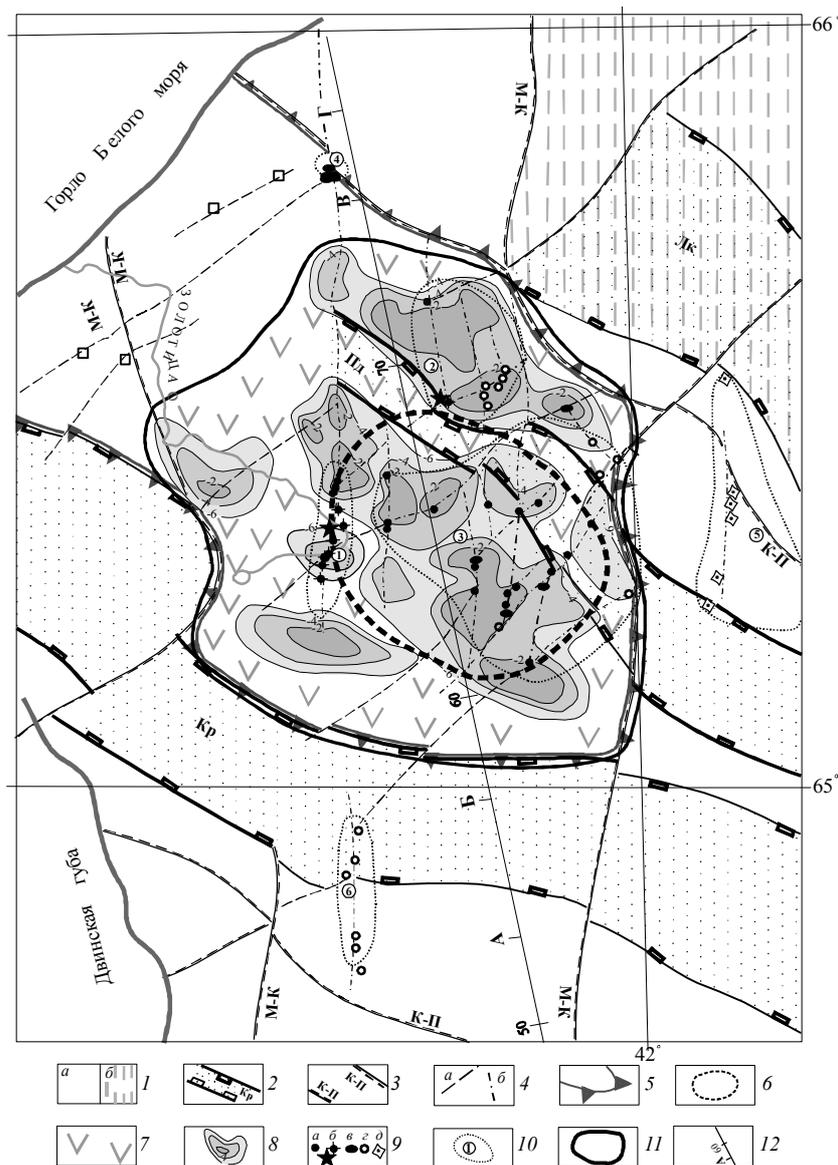


Рис. 2. Позиция проявлений палеозойского магматизма Зимнего Берега в элементах тектоники и глубинного строения:

1 — Кольский позднеархейский геоблок в составе Терского (а) и Мурманского (б) блоков; 2 — грабены (Кр — Керечкий, Пд — Падунский, Лк — Лешуконский) Керечко-Лешуконской ветви Беломорского авлакогена; 3 — мантийно-коровые тектонические зоны (К-П — Кольско-Полтинская, М-К — Мегра-Кепинская); 4 — отдельные разрывные нарушения (а), в том числе проявленные в осадочном чехле (б); 5 — Кольско-Кулойское ядро протокоры; элементы глубинного строения, связываемые с формированием и развитием транскоровой гетерогенной кимберлитобразующей системы: б — нижнекоровый промежуточный магматический очаг, 7 — область глубинных преобразований коровой толщи, 8 — верхнекоровые ареалы базит-гипербазитового магматизма (в виде изогипс их кровли); 9 — проявления палеозойского магматизма Зимнего Берега: а, б — кимберлитовые трубки (а — в целом, б — промышленно алмазоносные месторождения им. Ломоносова и им. Гриба), в — кимберлитовые силлы, г — тела меллититов, д — трубки взрыва базальтового состава; 10 — контуры полей магматизма (1 — Золотицкого, 2 — Верхотинского, 3 — Кепинского, 4 — Мельского, 5 — Турьинского, 6 — Ижмозерского), по данным [1]; 11 — контур Зимнебережного кимберлитового поля, по геофизическим данным; 12 — линия (А-Г) плотностных разрезов (см. рис. 4, 5) вдоль фрагмента профиля ГСЗ-МОВЗ Белое море-р. Вага

нального и северо-восточного простираний. Данный тектонический узел, в свою очередь, осложняется юго-восточный фланг Кольско-Кулойского ядра протокры (также установленного по геофизическим данным). Разноглубинные элементы, формирующие транскоровую физико-геологическую неоднородность, характеризуются контрастными по отношению к вмещающей среде сейсмическими, плотностными и магнитными параметрами.

На сейсмическом разрезе земной коры по профилю ГСЗ–МОВЗ Белое море–р. Вага под областью, включающей Золотицкие, Кепинские и Верхотинские проявления кимберлитового и родственного ему магматизма, выделяется транскоровая интегрированная сейсмическая неоднородность (рис. 3). В интервале глубин 10–30 км она проявлена потерей прослеживаемости сейсмических границ на фоне повышенной расслоенности сейсмического разреза земной коры с чередованием слоев небольшой мощности (порядка 5 км) с повышенными и пониженными скоростными параметрами продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн. Совокупность слоев, расположенных в интервале глубин 10–20 км, характеризуется пониженными (1,64–1,69 на фоне 1,70 и более) значениями параметра V_p/V_s (аналога коэффициента Пуассона). На глубинах 15 и 25 км выделяются слои с инверсией скоростей по обоим типам (продольным и поперечным) упругих волн — так называемые волноводы, характеризующиеся, в свою очередь, аномальными (повышенными и пониженными), по отношению к вмещающим образованиям, значениями параметра V_p/V_s . Наблюдаемая практически по всей толще земной коры аномальность параметра V_p/V_s позволяет, по-видимому, интерпретировать рассматриваемую совокупность геофизических неоднородностей в качестве образований, сформированных за счет иных факторов, чем образования вмещающей толщи.

Обращает на себя внимание стратифицированная сейсмическая неоднородность, проявленная в нижних (глубины 18–40 км) частях сейсмического разреза земной коры. Для нее характерны (сверху вниз по разрезу): антиклинальная структура в отражающей границе на глубинах 18–20 км, маркирующей кровлю слоя с повышенными значениями V_p (6,65 км/с на фоне 6,20–6,45 км/с) и V_s (3,92 км/с на фоне 3,60–3,70 км/с); потеря корреляции отражающей границы (на глубине 25 км), маркирующей кровлю слоя с инверсией скоростей по обоим типам волн; потеря прослеживаемости отражающей границы, маркирующей кровлю гранулит-базитового слоя; локальное поднятие (до глубин 28 км) в кровле надмантийного горизонта, установленного в

составе гранулит-базитового слоя, и отсутствие здесь инверсии скоростей продольных и поперечных волн. Данная стратифицированная неоднородность земной коры сочетается с областью понижения (до 8,0 км/с на фоне 8,2 км/с) скорости продольных волн в подкоровом слое верхней мантии (вдоль раздела Мохоровичича), приуроченной к малоамплитудному (порядка 2,5 км) прогибу в рельефе раздела кора-мантия.

Следует еще раз подчеркнуть, что одной из отличительных особенностей сейсмического разреза, пространственно ассоциирующего с областью Золотицких, Верхотинских и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма, является его расслоенность, обусловленная присутствием в разрезе земной коры на различных глубинах (15, 25 км) слоев с инверсией скоростей, так называемых волноводов. Существует несколько точек зрения (В.И.Шаров, 1987; В.Н.Николаевский, 1979, 1985; R. Meissner, 1986 и др. [8]) на причины, обуславливающие снижение скоростей упругих волн в волноводах. В общих чертах они сводятся к тому, что возникновение волноводов в основном может быть связано с изменением состава пород (уменьшением их основности), увеличением трещиноватости и пористости, температурным влиянием, насыщением флюидами и т.д. Таким образом, существующие представления, подкрепленные экспериментальными данными, о природе слоев с инверсией скоростей упругих волн (волноводов) свидетельствуют о том, что аномальный характер распределения сейсмических параметров разреза земной коры в области проявления Золотицких, Верхотинских и Кепинских магматитов не случаен — он может быть обусловлен именно флюидно-магматическими процессами.

В структуре поля силы тяжести совокупность Золотицких, Верхотинских и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма приурочена к локализованной области (размером 60×85 км) «деформации» его общего аномального плана. Данная аномальная область расположена на юго-восточном фланге среднечастотной (с периодом 75 км) положительной аномалии Δg (обусловленной Кольско-Кулойским ядром протокры [17]). «Деформация» поля силы тяжести выражена некоторым снижением (на 25–30 мгал) его уровня, на фоне которого выделяются отдельные локальные максимумы небольшой интенсивности близ изометричной и слабо вытянутой формы. В поле горизонтального градиента Δg данная область проявлена потерей корреляции линейных аномалий (в основном северо-западного простирания), формирующих его общий структурный план.

В пределах рассмотренной аномальной области проявления кимберлитового и родственного ему магматизма разбиваясь на отдельные группы закономерно тяготеют в плане либо к градиентным зонам, либо к отдельным локальным максимумам (к

их периферическим частям). Последние особенно отчетливо проявлены на картах локальных составляющих Саксова-Нигарда, обусловленных (согласно оценке так называемой глубинности аномалий) влиянием неоднородностей, расположенных в

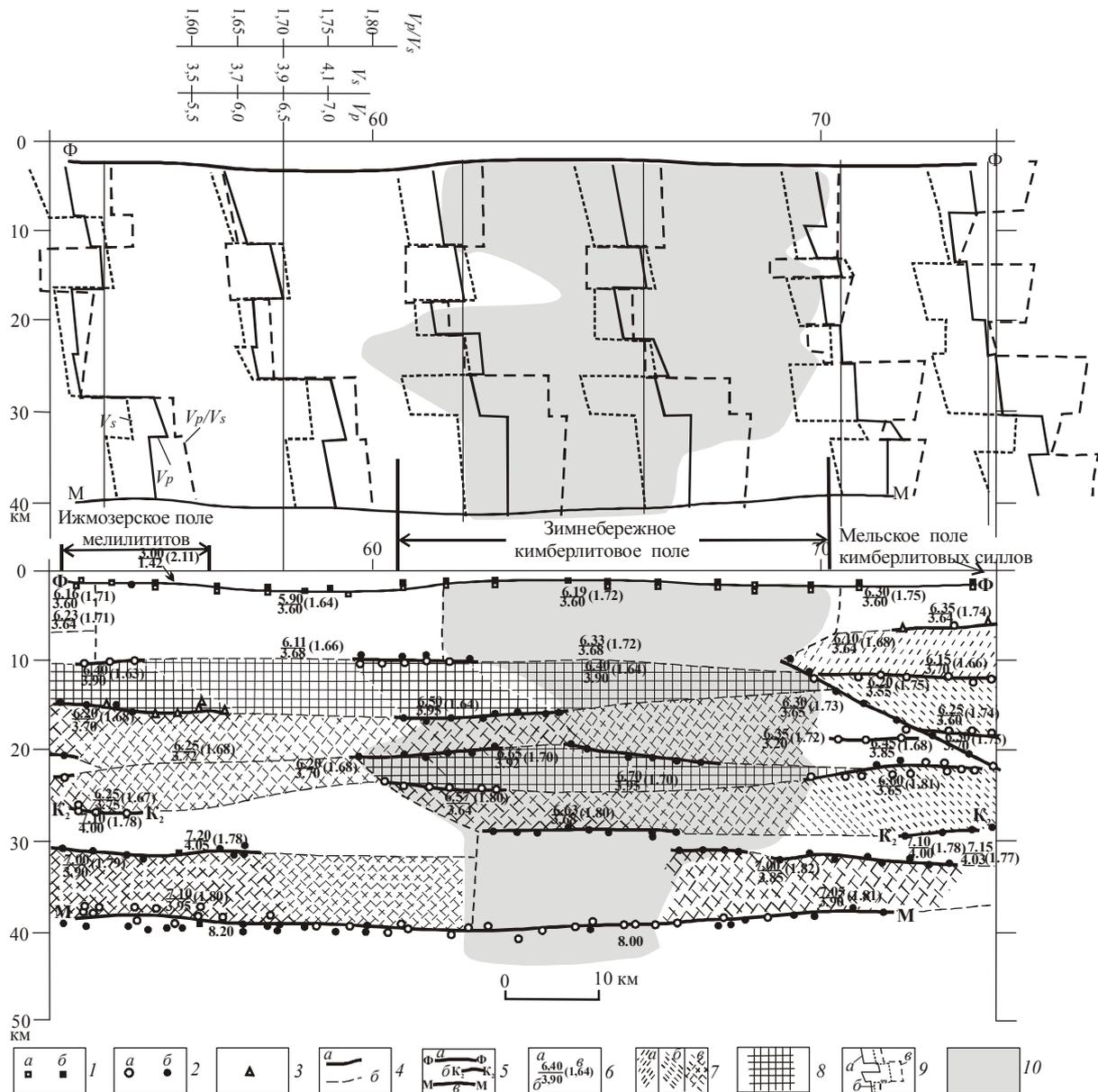


Рис. 3. Сейсмический разрез вдоль фрагмента профиля ГСЗ-МОВЗ Белое море-р. Вага:

1 — глубины преломляющих границ по продольным (а) и поперечным (б) волнам; 2 — глубины отраженных границ по продольным (а) и поперечным (б) волнам; 3 — глубины границ обмена по взрывам; 4 — сейсмические границы: а — прослеживаемые по двум и более типам волн, б — рассчитанные в процессе сейсмического моделирования (С.Л.Костюченко и др., 1994; В.З.Березовский и др., 1988); 5 — сейсмические границы, отождествляемые: а — с поверхностью кристаллического фундамента, б — с кровлей гранулит-базитового слоя (K₂), в — с поверхностью Мохоровичича; б — значения скоростных характеристик: а — продольных (V_p) волн, б — поперечных (V_s) волн, в — параметра V_p/V_s; 7 — слои с инверсией скоростей (волноводы): по продольным (а), поперечным (б), по обоим типам волн (в); 8 — слои с аномально высокими значениями скорости поперечных волн; 9 — графики распределения скоростных характеристик: а — скоростей продольных и б — поперечных волн, в — параметра V_p/V_s; 10 — области (сейсмического разреза и графиков скоростей) с аномальными геофизическими параметрами, пространственно ассоциирующие с Зимнебережным кимберлитовым полем

верхних горизонтах земной коры. Средние размеры гравитационных локальных максимумов в поперечнике составляют 10–20 (до 25–30) км.

В магнитном поле над областью проявлений Золотицких, Верхотинских и Кепинских магматитов наблюдается нарушение линейного плана магнитных аномалий. Происходит некоторое повышение общего уровня магнитного поля с образованием среднечастотной положительной (~1,5–2,5 мЭ) овальной формы аномалии размером в поперечнике порядка 75 км. Эта аномалия накладывается на юго-восточную периферию среднечастотного (с периодом 75 км) минимума (ΔT)_а (сочетающегося с максимумом Δg и характеризующего Кольско-Кулойское ядро протокоры). Как показали расчеты, источник, вызвавший повышение уровня магнитного поля, находится на глубине 20–25 км.

Анализ пространственных соотношений охарактеризованных выше аномальных особенностей потенциальных геофизических полей и сейсмических неоднородностей позволил выявить их взаимосвязь, что послужило основой для моделирования глубинного строения Зимнего Берега по гравитационному полю с использованием данных магнитометрических съемок и глубинных сейсмических зондирований.

Гравитационное моделирование проводилось в два этапа. Первый этап включал подбор геоплотностного разреза вдоль фрагмента профиля ГСЗ–МОВЗ Белое море–р. Вага в диапазоне глубин 0–50 км, охватывающих всю толщу земной коры, а также подкоровый горизонт верхней мантии, и проводился в м-бе 1:1 000 000. Его целью являлось выделение особенностей разреза литосферы Зимнего Берега, которые могли бы соотноситься в плане с совокупностью проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма ранга алмазоносного кимберлитового поля. В качестве стартовой модели был выбран плотностной разрез, соответствующий охарактеризованной выше сейсмической модели. Плотностные характеристики (соответствующие сейсмическим блокам) вычислялись по эмпирически установленной зависимости плотности от скорости [8]: $\sigma=0,763-0,402 V_p-0,138 V_s$, где V_p и V_s – пластовые скорости продольных и поперечных волн. В результате были получены следующие средние значения плотностей (г/см³): для осадочного чехла — 2,40, для кристаллического фундамента — 2,64–2,75–2,78, для средней части земной коры (промежуточного слоя) — 2,85–2,90, для нижней части коры (гранулит-базитового слоя) — 3,05–3,10, для верхней мантии (до глубин 50 км) — 3,30–3,35. Следует отметить, что рассчитанные (для исходного плотностного разреза вдоль профиля Белое море–р. Вага) значения плотностей не противостоят принятым представлениям о плотностной модели литосферы Балтийского щита [8]. Согласно

этой модели, плотностные характеристики для верхнего (гранитно-метаморфического) слоя земной коры составляют 2,5–2,8 г/см³, для промежуточного — 2,85–2,9 г/см³, для нижнего гранулит-базитового — 3,0–3,05 г/см³.

В процессе моделирования плотностного разреза земной коры установлено, что (при всей неоднозначности решения прямой задачи гравиразведки) в большинстве случаев гравитационный эффект достигался за счет локального увеличения мощности разуплотненных (на глубинах 6–18 км, с дефицитом плотности по отношению к вмещающим образованиям (–0,09) – (–0,16) г/см³) слоев или блоков. При этом область разуплотнения земной коры сочетается с расположенными как ниже (в нижних горизонтах земной коры на глубинах 18–40 км), так и выше (на глубинах 2–6 км) по разрезу блоками с относительно повышенными плотностными характеристиками (рис. 4). Для нижележащего стратифицированного блока избыточная плотность $\Delta\sigma$ по отношению к разуплотненным образованиям составила 0,13–0,20–0,26 г/см³, для вышележащего блока — 0,04 г/см³.

Таким образом, по результатам гравитационного моделирования м-ба 1:1 000 000 в разрезе земной коры Зимнего Берега установлена субвертикальная трансковровая интегрированная плотностная неоднородность, которая пространственно ассоциирует с областью Золотицких, Верхотинских и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма Зимнего Берега.

Второй этап гравитационного моделирования включал подбор геоплотностного разреза в диапазоне глубин 0–20 км и проводился в м-бе 1:200 000. Цель этого этапа — детализация плотностного разреза верхней части коры с выделением тех ее особенностей, которые могли бы ассоциировать (в плане) с отдельными группами кимберлитовых тел в пределах кимберлитового поля. В качестве стартовой модели была выбрана верхняя часть (в диапазоне 0–20 км) плотностного разреза, полученного в результате моделирования первого этапа. В качестве заданной кривой поля силы тяжести использовался график $\Delta g_{\text{ост}}$, построенный путем вычитания из наблюдаемых значений Δg значений гравитационного поля, обусловленных влиянием нижних (глубины 20–50 км) частей плотностного разреза, полученного на первом этапе моделирования. Следует подчеркнуть, что отдельные малоамплитудные локальные максимумы кривой $\Delta g_{\text{ост}}$ сочетаются с локальными аномалиями поля силы тяжести ($\Delta g_{\text{лок}}$), полученными по результатам обработки данных гравиметрической съемки м-ба 1:50 000 (Н.М. Батырев и др., 1988, 1990), и локальными положительными аномалиями магнитного поля.

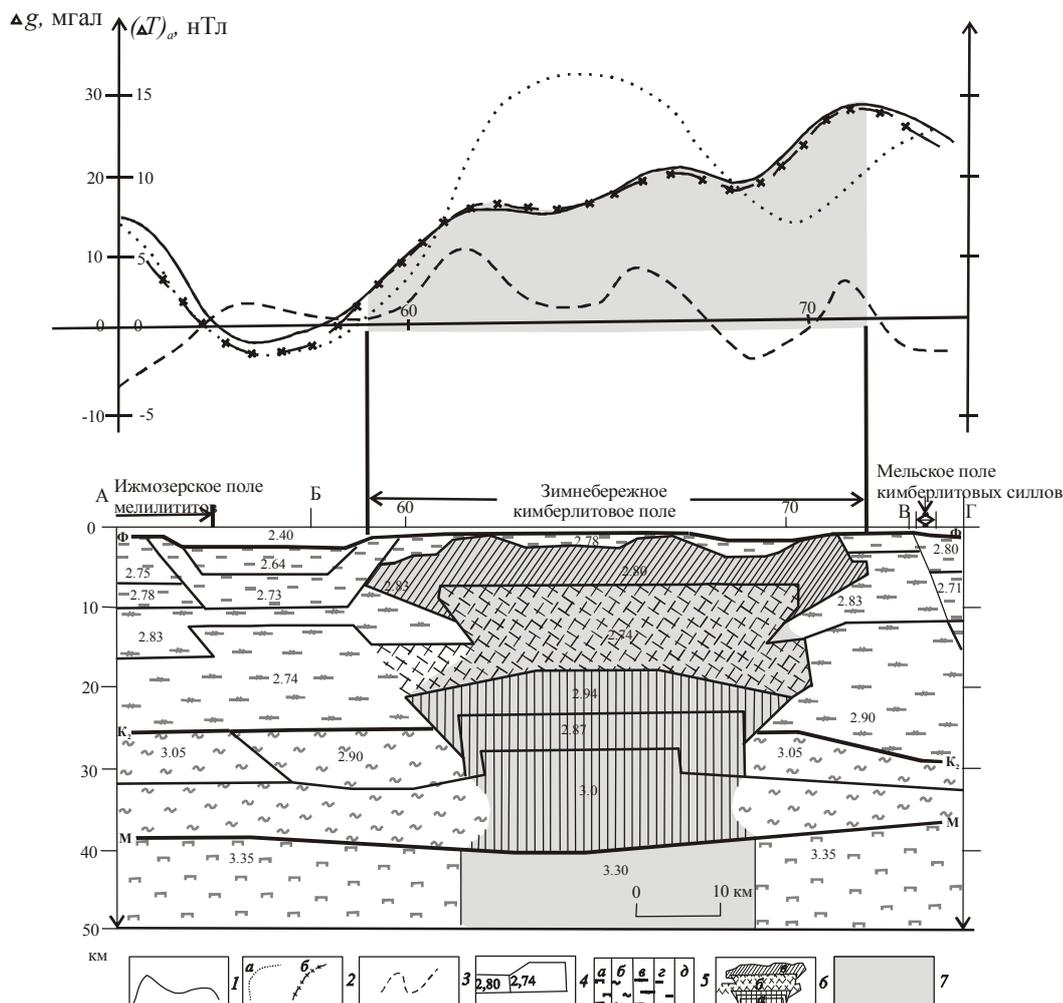


Рис. 4. Плотностной разрез земной коры по линии А–Г (вдоль фрагмента профиля ГСЗ–МОВЗ Белое море–р. Вага):

графики поля силы тяжести: 1 — наблюдаемых значений, подбираемых в процессе гравитационного моделирования, 2 — рассчитанных в процессе гравитационного моделирования значений (а — обусловленных стартовым плотностным разрезом земной коры, соответствующим сейсмической модели, б — обусловленных итоговой плотностной моделью земной коры и верхней мантии в интервале глубин 0–50 км); 3 — график аномального магнитного поля; 4 — блоки с расчетными значениями плотности, в g/cm^3 ; 5 — слои плотностного разреза, соответствующие образованиям верхней мантии (а), гранулит-базитового слоя (б), промежуточного слоя (в), гранитно-метаморфического слоя (г), осадочного чехла (д); 6 — транскоровая плотностная неоднородность в составе: а — стратифицированного нижнекорового блока с относительно плотными ($\Delta\sigma=0,06-0,10 g/cm^3$) образованиями, б — среднекоровой области разуплотнения ($\Delta\sigma=-0,06 g/cm^3$), верхнекорового блока с относительно плотными (с $\Delta\sigma=0,04 g/cm^3$ по отношению к нижележащим) образованиями; 7 — области (плотностного разреза и графиков гравитационного и магнитного полей) с аномальными геофизическими параметрами, пространственно ассоциирующие с Зимнебережным кимберлитовым полем

Результаты гравитационного профильного моделирования м-ба 1:200 000 (рис. 5) позволили связать природу локальных малоамплитудных максимумов $\Delta g_{ост}$ с морфологическими особенностями кровли охарактеризованной выше субвертикальной транскоровой интегрированной плотностной неоднородности. Проведенное по ряду дополнительных профилей моделирование плотностных разрезов

верхней части земной коры и расчеты параметров залегания источников положительных аномалий локальных составляющих магнитного и гравитационного полей позволили установить латеральные границы последней (см. рис. 2).

В результате выполненных расчетов в верхней части (глубины 2–6 км) плотностного разреза земной коры в пределах области Золотицких, Верхо-

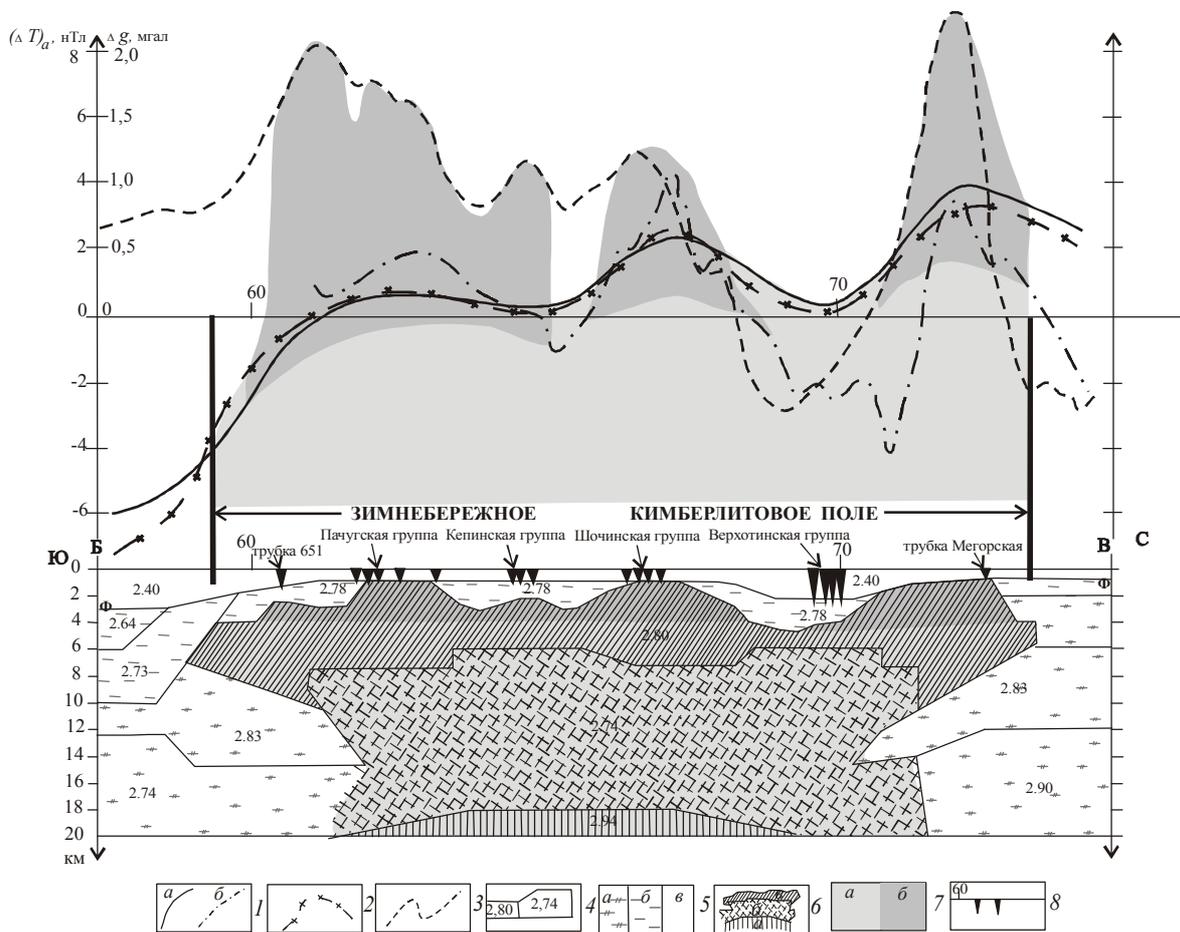


Рис. 5. Плотностной разрез верхней части земной коры по линии Б–В (вдоль фрагмента профиля ГСЗ–МОВЗ Белое море–р. Вага):

графики поля силы тяжести: 1 — подбираемые в процессе гравитационного моделирования (*a* — значений поля с исключенным влиянием нижней части разреза земной коры в интервале глубин 20–50 км, *b* — локальной составляющей поля силы тяжести по данным съемки м-ба 1:50 000), 2 — рассчитанные в процессе гравитационного моделирования значений, обусловленных итоговой плотностной моделью земной коры в интервале глубин 0–20 км; 3 — график аномального магнитного поля; 4 — блоки с расчетными значениями плотности, в г/см³; 5 — слои плотностного разреза, соответствующие образованиям промежуточного слоя (*a*), гранитно-метаморфического слоя (*b*), осадочного чехла (*в*); 6 — транскоровая плотностная неоднородность в составе: *a* — стратифицированного нижнекорового блока с относительно плотными образованиями, *b* — среднекоровой области разуплотнения, *в* — верхнекорового блока с относительно плотными (по отношению к нижележащим) образованиями; 7 — области (плотностного разреза и графиков гравитационного и магнитного полей) с аномальными геофизическими параметрами, пространственно ассоциирующие с Зимнебережным кимберлитовым полем (*a*), с группами кимберлитовых тел в его пределах (*b*); 8 — тела кимберлитов и родственных им пород (их проекции на линию профиля)

тинских и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма выделяется локализованная по площади плотностная неоднородность с размерами в поперечнике порядка 60×85 км. Ее кровля осложнена купольными структурами с глубиной залегания 2–6 км, размером в поперечнике 10–25 км. Купольные структуры проявлены ком-

плексными аномалиями гравитационного и магнитного полей, выраженными сочетанием локальных максимумов Δg и $(\Delta T)_a$. Большинство проявлений кимберлитового магматизма локализируются, обособляясь в отдельные группы, в пределах и по периферии контуров спроектированных на плоскость рассмотренных купольных структур, осложняющих

кровлю интегрированной трансформированной плотностной неоднородности.

Учитывая неоднозначность решения прямой задачи гравиразведки при моделировании верхней части плотностного разреза земной коры, могут быть предложены и другие варианты распределения плотностных неоднородностей. В частности, природу локальных малоамплитудных максимумов $\Delta g_{\text{ост}}$ (сочетающихся с положительными аномалиями магнитного поля) можно объяснить не особенностями морфологии кровли рассмотренного верхнекорового слоя с относительно плотными (по отношению к нижележащим) образованиями, а наличием локализованных (в пределах этого слоя) объектов, обладающих еще более высокими (по отношению к вмещающим образованиям) плотностными характеристиками. Однако во всех случаях общая картина распределения плотностных неоднородностей в верхней части разреза земной коры в области Золотицких (с месторождением им. Ломоносова), Верхотинских (с месторождением им. Гриба) и Кепинских проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма Зимнего Берега будет одна и та же. В плотностном разрезе верхней части трансформированной интегрированной плотностной неоднородности здесь обособляются объекты, обладающие повышенными плотностными и магнитными характеристиками и проявленные комплексными аномалиями гравитационного и магнитного полей. Последние характеризуются сочетанием локальных максимумов Δg и $(\Delta T)_{\text{а}}$, что, по-видимому, позволяет связать их природу с погребенными (на глубине 2–6 км) ареалами базит-гипербазитового магматизма. Большинство из проявлений кимберлитового магматизма локализуется (в виде групп) в пределах и по периферии контуров этих магматических ареалов.

Полученная плотностная модель глубинного строения земной коры Зимнего Берега увязывается с охарактеризованными выше особенностями сейсмического разреза, которые могут быть обусловлены флюидно-магматическими процессами. Так, стратифицированная совокупность нижнекоровых плотностных неоднородностей практически полностью соответствует совокупности сейсмических неоднородностей, выявленных в нижних (глубины 18–40 км) горизонтах земной коры. Кроме того, магнитовозмущающий объект, обуславливающий региональный максимум магнитного поля, также приурочен к этому интервалу глубин. Приведенные факты позволяют говорить о локализации в нижних горизонтах земной коры (на глубине 18–40 км) под областью Золотицких (с месторождением им. Ломоносова), Верхотинских (с месторождением им. Гриба) и Кепинских проявлений кимберлитового и

родственного ему магматизма физико-геологической неоднородности с довольно контрастными (по отношению к вмещающей среде) геофизическими параметрами. Она носит стратифицированный характер, выраженный чередованием слоев с относительно повышенными и пониженными плотностными и скоростными характеристиками. При этом кровли слоев, расположенных на глубинах 18 и 28 км, имеют антиклинальную форму. Кроме того, образования по крайней мере верхнего и среднего слоев обладают еще и повышенными магнитными свойствами. Таким образом, геофизические характеристики рассматриваемой нижнекоровой физико-геологической неоднородности во многом аналогичны параметрам, присущим расслоенным интрузивам мафит-ультрамафитового состава.

Согласно А.А.Маракушеву [7], глубинные включения в кимберлитовых породах, составляющих закономерные магматические серии, обусловленные дифференциацией магм, содержат структурные признаки и ассоциации минералов, сменяющих друг друга в последовательности снижения давления. Все это приводит к представлению об их формировании в ходе сложной эволюции глубинных магматических очагов с этапами первичной (очаговой) кристаллизации и последующей консолидации магм при внедрении их на более высокие уровни мантии и земной коры, где они образуют расслоенные многофазные интрузивы и вулканические комплексы. Установлено, что в высокоалмазоносных кимберлитах преобладают обломки глубинных магматических пород, в неалмазоносных — ксенолиты собственно мантийного вещества, в убогалмазоносных наблюдается смесь и тех и других. Следовательно, базит-гипербазитовый магматизм, в генетической связи с которым, по А.А.Маракушеву и В.И.Ваганову [7], впоследствии развивается кимберлитовый, предшествует лишь алмазоносному кимберлитовому магматизму.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что выявленная в разрезе земной коры Зимнего Берега интегрированная совокупность физико-геологических неоднородностей может быть проинтерпретирована как субвертикальная область преобразования мантийно-коровой толщи, генетически связанная с формированием и развитием здесь гетерогенной кимберлитобразующей системы. То есть совокупность проявлений Золотицких, Верхотинских и Кепинских магматитов Зимнего Берега может соответствовать такому минерогеническому таксону, как алмазоносное кимберлитовое поле — Зимнебережное кимберлитовое поле.

Кимберлитобразующая система Зимнебережного кимберлитового поля [10, 11, 17] представлена на уровне верхней мантии – нижних горизонтов

земной коры промежуточным магматическим очагом, на уровне консолидированной земной коры — флюидно-магматической колонной (включающей базитовые, базит-гипербазитовые и кимберлитовые расплавы). В потенциальных геофизических полях она отражается в виде характерной аномальной области «деформации» структурных планов гравитационных и магнитных аномалий, что позволяет определить естественную границу Зимнебережного кимберлитового поля.

Скрытые на глубине 2–6 км (и выходящие на поверхность кристаллического фундамента) ареалы базит-гипербазитового магматизма можно связать с отдельными дериватами многофазной флюидно-магматической колонны кимберлитоподобной системы Зимнебережного кимберлитового поля. Для них характерны комплексные положительные аномалии локальных составляющих гравитационного и магнитного полей. Большинство из кимберлитовых и родственных им тел Зимнебережного поля группируются в пределах и по периферии контуров этих магматических ареалов. При этом обособляются не только Золотицкая, Верхотинская, Шочинская, Ключевая (Кепинская), Пачутская группы кимберлитовых и родственных им тел, но и меньшие по совокупности объединяемых магматических объектов группировки. Кроме того, выделяется ряд участков, в пределах которых возможно обнаружение новых проявлений кимберлитового и родственного ему магматизма Зимнебережного кимберлитового поля.

Охарактеризованная выше геолого-геофизическая модель глубинного строения Зимнебережного кимберлитового поля по большинству параметров согласуется с современными представлениями о структуре кимберлитоподобных систем алмазоносных кимберлитовых полей Сибирской платформы [2, 3]. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод, что установленные геолого-геофизические параметры разноуровневых (по глубинности) элементов модели глубинного строения Зимнебережного кимберлитового поля обладают устойчивостью и могут быть использованы в качестве критериев прогнозирования потенциально алмазоносных кимберлитовых полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельская* алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова. — М.: Изд. МГУ, 2000.
2. *Барышев А.С.* Физико-геологическая модель кимберлитового поля и оптимальный комплекс геологических, геофизических и геохимических прогнозно-поисковых критериев // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный, 1998. С. 233–235.
3. *Биезайс Я.Я., Борис Е.И., Максимкина Л.В.* Геолого-геофизическая модель Мирнинского кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, 2001. С. 4–18.
4. *Булин Н.К., Егоркин А.В.* Использование многоволнового ГСЗ при мелкомасштабных прогнозных исследованиях на оруденение и алмазоносность // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 9. С. 92–106.
5. *Булин Н.К., Егоркин А.В.* Прогнозирование районов кимберлитового магматизма на севере Русской платформы по сейсмическим данным // Советская геология. 1991. № 10. С. 82–91.
6. *Булин Н.К., Егоркин А.В., Золотов Е.Е.* О перспективах нефтегазоносности Мезенской синеклизы // Разведка и охрана недр. 2003. № 2. С. 12–16.
7. *Ваганов В.И.* Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.
8. *Глубинное* строение территории СССР / Под ред. В.В. Белоусова, Н.И. Павленковой. — М.: Наука, 1991.
9. *Головин Н.Н.* Геологическое строение, минеральный состав и условия образования щелочно-ультраосновных пород Кепинской площади: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2003.
10. *Голубев Ю.К., Ваганов В.И., Прусакова Н.А.* Принципы выделения алмазоперспективных площадей на различных стадиях прогнозно-поисковых работ // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50). С.-Пб., 2004. С. 94–96.
11. *Голубев Ю.К., Ваганов В.И., Прусакова Н.А.* Принципы прогнозирования алмазоперспективных площадей на Восточно-Европейской платформе // Руды и металлы. 2005. № 1. С. 55–70.
12. *Егоркин А.В.* Геологическая информативность многоволнового ГСЗ на примере изучения севера европейской части России // Региональная геология. С.-Пб., 2000. № 10. С. 85–94.
13. *Егоркин А.В.* Строение земной коры по сейсмическим геотраверсам // Глубинное строение территории СССР. М., 1991. С. 118–134.
14. *Егоров А.С., Костюченко С.Л., Солодилов Л.Н.* Составление атласа полосовых геологических и геофизических карт и разрезов по системе геотраверсов // Разведка и охрана недр. 1994. № 10. С. 8–12.
15. *Костюченко С.Л.* Структура и тектоническая модель земной коры Мезенской синеклизы по результатам комплексного геолого-геофизического изучения // Разведка и охрана недр. 2001. № 2. С. 2–8.
16. *Костюченко С.Л., Егоркин А.В.* Внутрикоровые элементы севера Восточно-Европейской платформы // Разведка и охрана недр. 1994. № 10. С. 12–15.
17. *Прусакова Н.А.* Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.
18. *Саблуков С.М.* Вулканизм Зимнего берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — М.: ЦНИГРИ, 1995.
19. *Саблуков С.М.* О петрохимических сериях кимберлитовых пород // ДАН СССР. 1990. Т. 313. № 4. С. 935–939.