Записки Санкт-Петербургского горного института им. Г.В.Плеханова.
1992. Т. 135

УДК 550.3:551.243(470.11)

Н.Г.ТОПОРКОВА

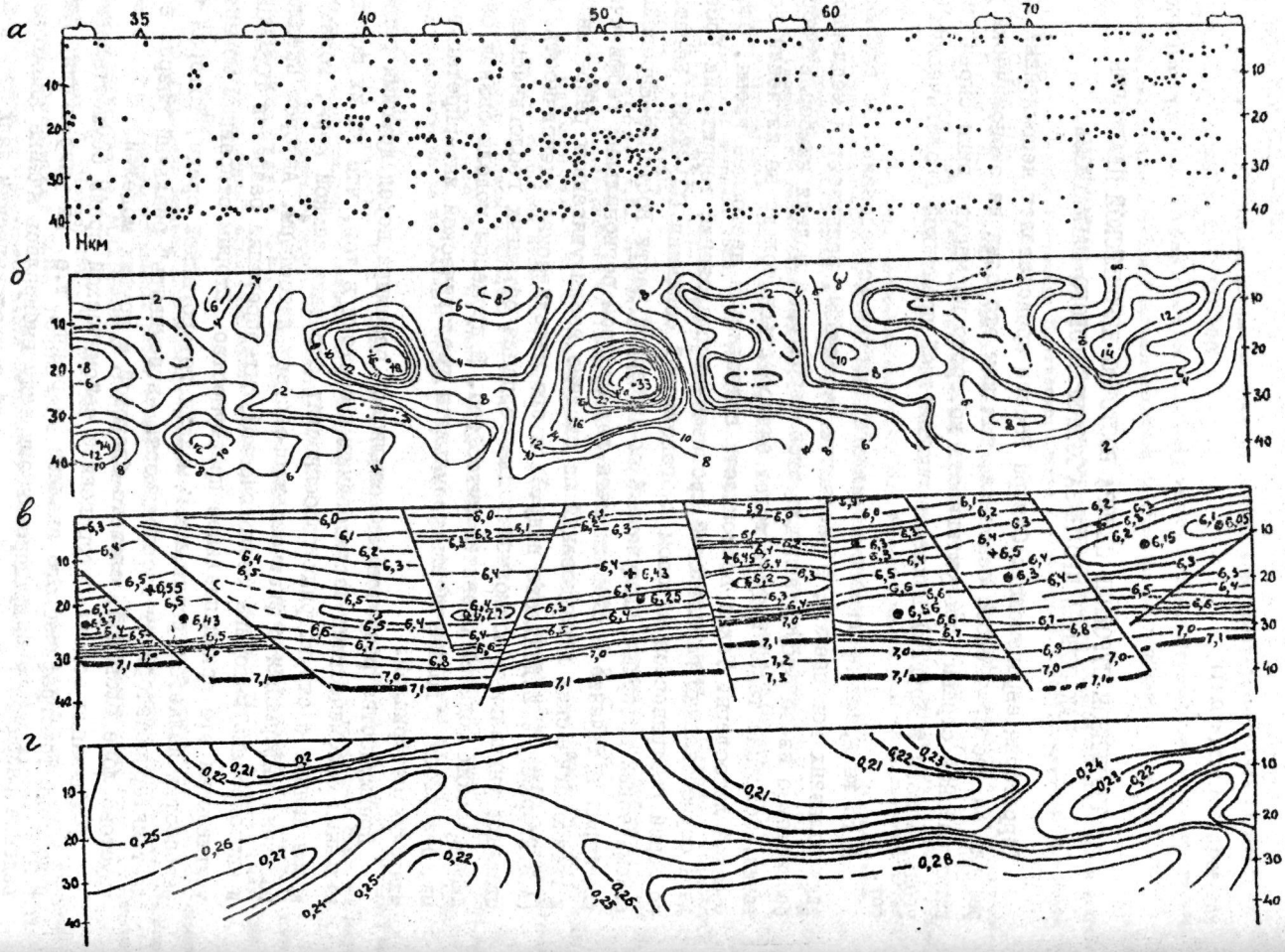
ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ОСНОВА ПРОГНОЗА КИМБЕРЛИТОВОГО МАГМАТИЗМА

Территория европейского Севера России представляет несомненный интерес для ее геологического освоения, так как это один из экономически развитых районов страны, продуктивность которого на многие виды сырья (нефть, уголь, алмазы и другие) доказана многолетней практикой геологических работ.

В то же время прогнозно-металлогенические исследования на глубинные виды полезных ископаемых, в частности на алмазы, развиваются медленно и бессистемно из-за отсутствия для этой территории модели кимберлитообразования. Создание такой модели может базироваться только на изучении всех уровней литосферы. Такая возможность появилась в настоящее время, благодаря осуществлению комплексной программы исследований территории России по серии геотраверсов методом многоволновой сейсмики ГСЗ-МОВЗ. Богатейший сейсмический материал, полученный по северной части Восточно-Европейской платформы в течение последних пяти лет Центром региональных геофизических и геоэкологических исследований по системе взаимоувязанных разрезов (А.В.Егоркин, Т.И.Данилова и др.), и его методическая идентичность, представляют уникальную возможность для создания объемных геологических и геодинамических моделей развития литосферы. В процессе моделирования базовыми, безусловно, должны стать результаты геологической интерпретации сейсмических материалов.

Преимущество разрезов многоволновой сейсмики перед другими региональными сейсмическими исследованиями состоит в том, что на их основе, кроме данных о структурных особенностях строения земной коры, может быть получена информация о физических свойствах литосферы. Автором предложена и апробирована методика геологической интерпретации разрезов ГСЗ-МОВЗ, учитывающая это принципиальное преимущество. Вторым отправным моментом разработки является реализация модели гетерогенной среды, которая избавляет интерпретатора от необходимости "втискивать" реальный разрез в прокрустово ложе блоковой, слоисто-блоковой и других моделей.

Реализация модели гетерогенной сейсмической среды осуществлена нами с помощью томографического анализа разрезов, т.е. их унификации. Для приведения разрезов к унифицированному виду выбиралась ячейка квантования, соответствующая детальности наблюдений и геологическим задачам, и строились разрезы сейсмонасыщенности, количественно отражающие изменение плотности сейсмических элементов в плоскости разреза. Разрезы сейсмонасыщен-


а
35
40
50
60
70
Нкм
б
в
г

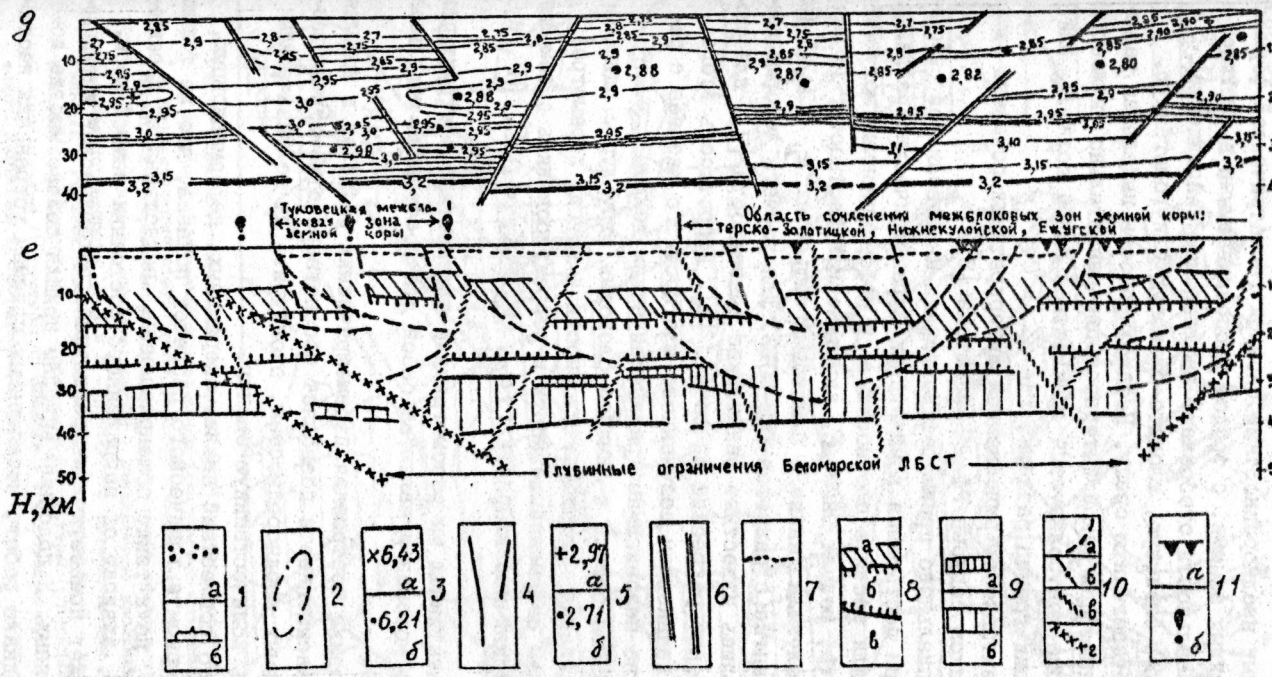


Рис.1. Параметрические разрезы по фрагменту профиля ГСЗ-МОВЗ Вага – Белое море: а – исходный сейсмический разрез по данным А.В.Егоркина, Т.И.Даниловой и др. (1986 г.); б, в, г и д – соответственно разрезы сейсмонасыщенности Z_c (количество сейсмических элементов), скоростной (v_p), по модулю сжатия (σ) и плотностной; е – результативный структурно-тектонический разрез

1 – глубины сейсмических неоднородностей по преломленным, отраженным и обменным волнам (а) и интервалы профиля с расчетными значениями скоростных параметров v_p, v_s и K; 2 – нулевая изолиния Z_c; 3 – экстремальные значения v_p в зоне повышенных величин (а) и в инверсионной зоне (б); 4 – границы однотипных по характеру v_p структур; 5 – экстремальные значения ρ в зоне повышенных величин (а) и в инверсионной зоне (б); 6 – границы однотипных по характеру ρ структур; 7 – подошва осадочного слоя; 8 – слои консолидированной земной коры: а – верхний гран.-гнейсовый слой (заштрихован нижний структурный этаж, сложенный „гнейсами основания"); б – средний серпентинит-базальтовый (?) слой; в – нижний базальтовый (?) слой; 9 – переходный слой от земной коры к верхней мантии: а – промежуточный слой неясной природы; б – слой с ρ = 3,1÷3,2 г/см^3, отвечающей эклогитовым базальтам; 10 – разломы: листрические (а), верхнекоровые (б), сквозькоровые (в), мантийные, представленные на верхнекоровом уровне сопряженными и оперяющими разломами (г); 11 – объекты прогнозирования: а – проекция на линию профиля кимберлитовых трубок Зимнебережного района; б – благоприятные ситуации для обнаружения аналогичных объектов

ности (параметр Z_c) так же, как и далее рассмотренные параметрические разрезы, строились в неискаженном масштабе I:I 000 000 в изолиниях.

Разрезы сейсмонасыщенности позволяют дополнить традиционные глубинные разрезы сейсмическими неоднородностями сложной геометрической формы и наклонными тектоническими зонами, с трудом распознаваемыми в слоистой модели. Они адекватно реальности отображают наблюдаемые сейсмические неоднородности: блоковую, слоистую, слоисто-блоковую или гомогенную, т.е. в общем случае гетерогенную среду. Неоднозначность выделения разломов по сейсмическим данным при такой интерпретации значительно снижается, так как положение разлома контролируется градиентной зоной поля Z_c или узкой зоной дезинтеграции границ раздела, где $Z_c = 0$.

Геологическая эффективность выполненной интерпретации показана на Украине, в Карело-Кольском регионе РФ и Казахстане [8].

Реализация принципиального преимущества данных многоволновой сейсмики осуществлена нами при построении комплексных параметрических разрезов. Исходными материалами для расчета плотности ρ и деформационных модулей: коэффициента Пуассона σ, модуля Юнга E, акустической жесткости W и модуля сдвига μ, – служили данные о пластовых скоростях v_p и v_s и значениях $K = v_p/v_s$, снятые с разрезов ГСЗ-МОВЗ. Для расчета деформационных моделей использовались известные физические зависимости [7], для расчета плотности – уравнение регрессии из работы [I]. Добротность этого уравнения проверялась сравнением полученного плотностного разреза с результатами построений по независимым гравиметрическим данным.

Тектонические границы блоков и линейно-блоковых структур с одинаковым характером распределения скорости, плотности и других параметров, закреплялись по разрезам сейсмонасыщенности и корректировались с помощью всего комплекса физических характеристик: v_p, v_s, K, σ, E, W, μ и ρ.

В качестве результативных мы рассматривали плотностной и структурно-тектонические разрезы, которые и являются базой для построения модельного геологического разреза.

Предлагаемая методика построения параметрических разрезов в комплексе с разрезами сейсмонасыщенности позволяет обоснованно ответить на вопрос о природе наблюдаемых неоднородностей, оконтурить их по физическим характеристикам и дать количественную оценку.

Надо отметить, что совместный анализ скоростных, деформационных, плотностного и структурно-тектонического разрезов показал, что не только деформационные модули, но и такие общепризнанные „вещественные" характеристики, как v_p и ρ, зависят от напряженного состояния земной коры. Неучет этого факта может привести к неправильной геологической интерпретации сейсмических данных. К подобным выводам пришли сейчас многие исследователи [5, 6]. Однако работ, посвященных приемам устранения неоднозначности при интерпретации сейсмических данных, пока крайне мало.

Разрез ГСЗ-МОВЗ по профилю Вага – Белое море (рис.I), на наш взгляд, хорошо иллюстрирует информативность собственно сейсмических материалов и результативность предлагаемой интерпретации.

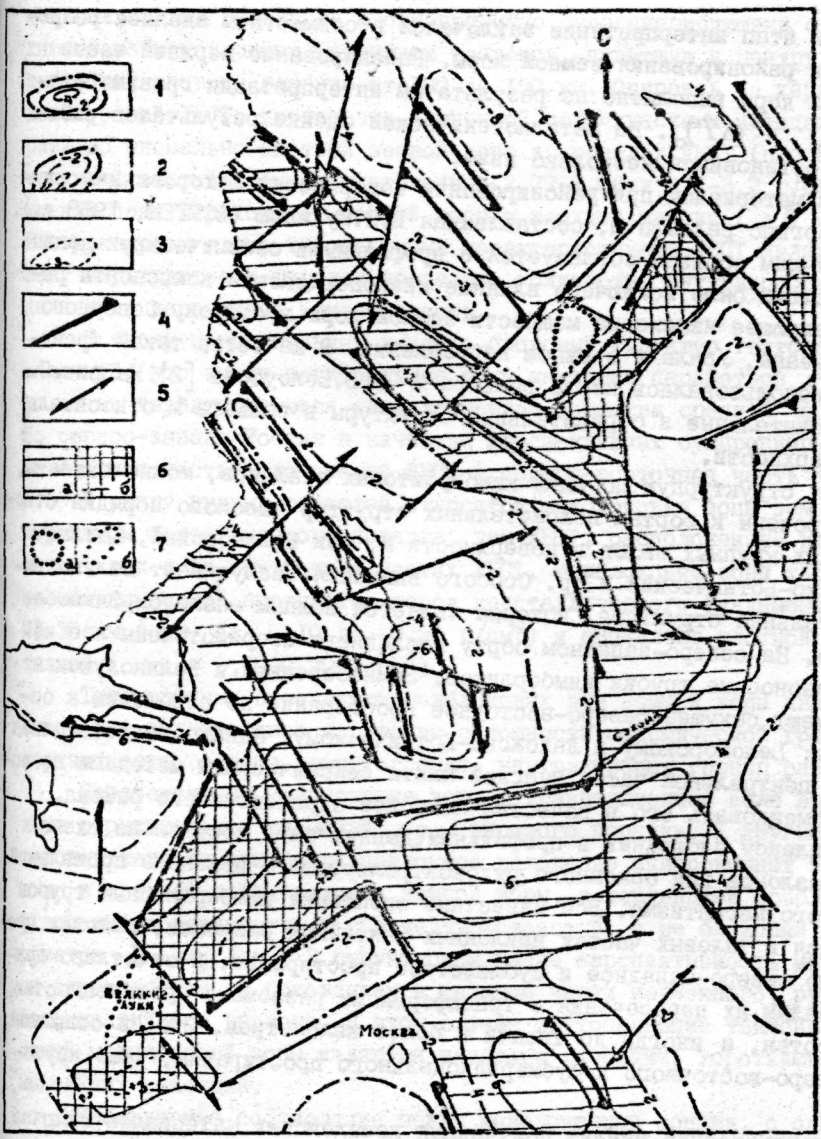


Рис.2. Схема районирования поверхности М северо-западной части Восточно-Европейской платформы (составлена автором)
1 – положительные структуры в рельефе поверхности М и их амплитуды; 2 – отрицательные структуры в рельефе поверхности М и их амплитуды; 3 – промежуточные и неуверенные изолинии рельефа поверхности М; 4 и 5 – разломы с преобладанием вертикальных и горизонтальных движений соответственно; 6 – валы в рельефе поверхности М: а – основные (структуры II порядка); б – поперечные (структуры III порядка); 7 – объекты прогнозирования: Зимнебережный эталон (а) и Великолукский аналог (б)

Следующий этап интерпретации заключался в совместном анализе разрезов со схемами районирования земной коры. Районирование верхней части разреза земной коры выполнено по результатам интерпретации гравимагнитных полей Δg_a и $(\Delta T)_a$. На металлогенической оценке результатов районирования мы остановимся несколько ниже.

Исходным материалом при районировании поверхности Мохоровичича служила схема изогипс рельефа М, составленная В.Н.Мухиным (ВСЕГЕИ, 1988 г.), которая наилучшим образом согласуется с профильными сейсмическими данными. Из этой схемы было исключено влияние низкопорядковой компоненты рельефа М, отражающее изменение мощности земной коры в сторону Северного Ледовитого океана, Урала и в южном направлении. В качестве такой тренд-поверхности использовалась карта рельефа М В.В.Белоусова [2]. На рис.2 показаны положительные и отрицательные структуры в рельефе М относительно тренд-поверхности.

Оценивая структурную позицию кимберлитовых эталонов, можно сказать, что они приурочены к бортам положительных структур высокого порядка относительно таких крупных валов в поверхности М, как Беломорский, Котласский, Ладожско-Ботнический и др. Особого внимания заслуживает Великолукская положительная структура, которая является полным аналогом Зимнебережного вала. На северо-западном борту последнего сосредоточены все известные алмазоносные трубки кимберлитов. Зимнебережная и Великолукская структуры имеют секущее северо-восточное простирание по отношению к основным валам: Беломорскому и Ладожско-Ботническому. Однако недостаточная изученность центральной части Русской плиты сейсмическими методами не позволяет рекомендовать его в качестве наиболее перспективного района.

По комплексу площадных и профильных данных нами составлена схема мантийных разломов как основного рудоконтролирующего признака проявлений кимберлитового магматизма. Все известные скопления кимберлитовых трубок располагаются в тыловых частях наклонных мантийных разломов, имеющих преимущественно северо-западное и субширотное простирание, и отчетливо приурочены к узлам их пересечения с трансформными разломами протяженностью несколько сотен, а иногда до тысячи и более километров. Это, в основном, разломы северо-восточного и субмеридионального простирания, чаще крутопадающие.

Металлогенический анализ полученных комплексных материалов включал оценку структурно-тектонической позиции рудных эталонов, выделение и оконтуривание на этой основе разноранговых структурных металлотектов и выявление структурно-тектонических и физических признаков перспективности металлотектов на фоне их типоморфных характеристик. Здесь, конечно, надо иметь в виду, что геофизический прогноз есть лишь систематизация благоприятных предпосылок развития кимберлитового магматизма, но недостаточен для выявления магматизма и оценки его продуктивности.

Исходя из структурно-тектонической позиции эталонных объектов, в северной части Восточно-Европейской платформы нами выделены в ранге субпровинции следующие линейно-блоковые структуры тектоносферы (ЛБСТ): Беломорская, Котласская, Мезеньско-Печорская и Ладожско-Ботническая. Их

тектоническими границами и одновременно рудогенерирующими структурами являются зоны наклонных мантийных разломов, падающие к центру ЛБСТ и имеющие общий очаг на глубине от 100 до 150 км. Опираясь на характеристики Беломорской ЛБСТ, достаточно изученной сейсмическими методами, можно говорить об аномально плотной земной коре в пределах ЛБСТ (плотность верхней и нижней частей коры соответственно 2,77-2,86 и 3,1-3,2 г/см^3) и наличии мощной зоны перехода от земной коры к верхней мантии (ΔH = 7÷20 км). В структурном плане типоморфными характеристиками ЛБСТ являются непостоянное, варьирующее в широких пределах, количество внутрикоровых границ раздела и их переменная контрастность.

К числу перспективных линейно-блоковых структур тектосферы относятся те, что имеют региональные зоны инверсии параметров v_p, v_S, ρ, μ, т.е. характеризуются разуплотнением вещества средней части земной коры. На северо-западе России в качестве перспективных субпровинций нами выделены бóльшая часть Беломорской ЛБСТ и северо-восточная часть Котласской ЛБСТ.

К рангу рудных областей относятся межблоковые зоны земной коры - структуры более высокого порядка, чем ЛБСТ, расположенные как в эндоконтакте, так и во внутренних частях ЛБСТ. Межблоковые зоны характеризуются аномально низкой плотностью пород кристаллического фундамента до глубины 25-30 км ($\Delta\rho$ от -0,10 до -0,20 г/см^3) и аномально плотной подстилающей толщей ($\Delta\rho$ = 0,10÷0,20 г/см^3).

Типоморфными признаками межблоковых зон земной коры является отсутствие или значительное нарушение сплошности сейсмической границы М; дискордантность, а чаще дезинтеграция, внутрикоровых границ раздела.

Перспективные межблоковые зоны в гравитационном поле выражены цепочками отрицательных аномалий Δg_α высокого порядка. К другим показателям перспективности относится наклонное положение инверсионных зон v_p, v_S и ρ в средней части разреза земной коры, с тенденцией приближения их к дневной поверхности, и градиентно-слоистый, а не блоковый характер параметра $K = v_p / v_S$. В структурном плане перспективность межблоковой зоны определяется ее положением в тыловой части наклонного, рудогенерирующего мантийного разлома. В этом случае крутопадающие тектонические швы самой межблоковой зоны являются наиболее удобными, короткими путями для мантийных инъекций.

Наблюдаемое соотношение между межблоковыми зонами, с одной стороны, и листрическими разломами и зонами скоростной и плотностной инверсии, с другой, можно легко объяснить сбросовой природой листрических разломов и их выполаживанием на уровне инверсионных зон. Таким образом, перспективные межблоковые зоны земной коры являются структурами раздвига, что подтверждается частой приуроченностью к ним рифейских грабенов. Листрические разломы создают в разрезе земной коры полуконцентрическую структуру, в центральной части которой и располагается собственно межблоковая зона (см. рис.1).

И наконец, наиболее яркий структурный признак перспективности кимберлитовой области - это резкое сокращение мощности нижнего базальтового (?) слоя земной коры (до полного его отсутствия в районе Зимнебережного

эталона) за счет аномально увеличенной мощности среднего серпентинит-базитового (?) слоя земной коры (до 25-30 км) и высокое гипсометрическое положение кровли последнего.

Таким образом, наиболее перспективными областями на кимберлит мы считаем Онежскую, Пергубскую и Великолукскую межблоковые зоны земной коры.

К рангу рудных районов относятся узлы пересечения рудогенерирующих наклонных разломов с трансформными поперечными мантийными разломами, как полого-, так и крутопадающими, расположенными в пределах рудных областей. Логично в узлах пересечения разломов ожидать увеличения мощности зон плотностной и скоростной инверсии, что и наблюдается на параметрических разрезах. В узлах пересечения разрез земной коры характеризуется также полной дезинтеграцией границ раздела ($Z_c = 0$) и максимальной плотностью листрических разломов. В качестве перспективных районов первой категории нами выделены Ловозерский - Умбинский, Сумозерско-Нюхчинский и Великолукский тектонические узлы.

Выводы

1. Рудные кимберлитовые области характеризуются резким сокращением мощности (до полного отсутствия) нижнего базальтового (?) слоя земной коры за счет аномально увеличенной мощности среднего серпентинит-базальтового (?) слоя и увеличенной мощности переходного слоя от земной коры к верхней мантии. По плотности породы переходного слоя отвечают эклогитовым базальтам ($\rho = 3,1 \div 3,2$ г/см^3).

Области проявления кимберлитового магматизма имеют четкую геодинамическую позицию в структуре земной коры. Они обособляются в виде самостоятельных структур в полях деформационных модулей и параметра К.

Рудные области характеризуются тонкоинверсионным строением земной коры, проявленным в скоростных, плотностных и деформационных параметрах. Физические характеристики определенно указывают на тектонофизическую природу аномальной расслоенности земной коры и на повышенную пластичность вещества коры начиная с глубины 15-25 км и, вероятно, до поверхности М. Аномальная пластичность вещества нижней части коры может быть обусловлена высокой водо- и (или) флюидонасыщенностью этой части разреза.

2. Зимнебережной эталонной области свойственно дилатансионное или подобное, но не вещественное разуплотнение корового материала. Зона разуплотнения ($\Delta\rho$ от -0,15 до -0,25 г/см^3) имеет в разрезе форму наклонной линзы, мощность которой меняется от 3-7 до 15 км, глубина от 20 км до нуля, а угол подъема с юга на север составляет 12-15°. Ее протяженность 210 км, т.е. поперечный размер Беломорской ЛБСТ.

Особенно резкое изменение физических свойств земной коры, связанное с изменением состояния вещества, наблюдается в Зимнебережном эталоне, начиная с глубины 21-24 км, и совпадает оно с одним из уровней выполаживания листрических разломов. Для Онежского аналога Зимнебережного эталона, расположенного в пределах Беломорской ЛБСТ южнее Архангельского горста,

глубина резкого изменения физических свойств составляет 12-15 км. Последний отличается от Зимнебережного также меньшей интенсивностью инверсионных зон.

3. Полученные материалы позволяют определить структурно-геодинамическую позицию рудных кимберлитовых областей в границах крупных сдвиговых зон длительной по времени и этапам эволюции развития. Для рудных областей Беломорской субпровинции этот вывод не требует доказательств, так как многие частные сдвиги закартированы, а возможность существования сдвиговых зон с суммарной амплитудой перемещения в несколько сотен километров признается сейчас большинством тектонистов [3, 9].

4. На основе системно-иерархического подхода к выделению металлотектов оконтурен ряд перспективных районов, расположенных в тыловых частях наклонных мантийных разломов и приуроченных к межблоковым зонам земной коры. Из последних наибольшего внимания заслуживают межблоковые зоны, расположенные в эндоконтакте к ЛЬСТ, т.е. на границе с блоками тектоносферы.

5. Вопрос о том, какая из существующих моделей кимберлитообразования отвечает наблюдаемым неоднородностям в строении земной коры: кратонная, метасоматическая или какая-либо другая, - пока остается открытым. Возможно, что существующие модели, разработанные для Якутской и других крупнейших кимберлитовых провинций мира [4], не объясняют наблюдаемых особенностей изучаемого региона. Тем полезнее и целесообразнее использовать их, наряду с известными прогнозными критериями, для создания модели кимберлитообразования Восточно-Европейской кимберлитовой провинции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алейников А.Л., Немзоров Н.И., Халевин Н.И. Многоволновая сейсмика при изучении недр рудных районов. М.: Наука, 1986. 109 с.

2. Белоусов В.В. Карты районирования Евразии / ГУГК СССР. М., 1987.

3. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 337 с.

4. Милашев В.А. Кимберлитовые провинции. Л.: Недра, 1974. 235 с.

5. Паталаха Е.И., Смирнов А.В. Введение в морфологическую тектонику. М.: Наука, 1986. 204 с.

6. Сейсмотектоническая модель литосферы / А.В.Чекунов, В.Б.Соллогуб, О.Б.Гинтов и др. // Геофизический журнал. 1987. Т.9. № 6. С.9-16.

7. Справочник физических констант горных пород. М.: Мир, 1969. 422 с.

8. Топоркова Н.Г. Комплексирование данных ГСЗ и МОВЗ при объемном моделировании земной коры Онежского прогиба Балтийского щита // Геофизический журнал. 1991. Т.13. № 65. С.67-79.

9. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1980. 163 с.