

ВЕЩЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЯКУТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ

А.В.Манаков

*Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ
Акционерной компании "АЛРОСА", Республика Саха (Якутия), г.Мирный*

В статье приводятся обобщенные материалы о петрографических, петрохимических и термодинамических характеристиках литосферы по данным изучения глубинных ксенолитов из кимберлитовых трубок. На основе реконструкции разрезов для различных районов кимберлитового магматизма делается вывод о наличии мощного литосферного корня в центральной части Якутской кимберлитовой провинции, который контролирует размещение алмазных месторождений.

Одной из наиболее актуальных остается проблема закономерностей локализации продуктивных и неалмазоносных кимберлитов. Основным способом оценки потенциальной алмазоносности территорий является правило Клиффорда - эмпирически установленная приуроченность продуктивных кимберлитов к древним кратонам. Созданы достаточно непротиворечивые петрологические модели кратонных областей, объясняющие связь с ними месторождений алмазов. Геологическая идентификация кратонов основана на возрастном принципе и страдает существенными ошибками при проведении границ в силу не только малого числа датировок, но и по причине локального омоложения комплексов ранней консолидации. Поэтому принципы тектонического районирования, положенные в основу выделения кратонов, для разных территорий различны. Особенно это касается платформ, перекрытых мощным осадочным чехлом, по которым не имеется достаточного количества определений возраста. В таких случаях структурные схемы базируются на интерпретации каких-либо геофизических полей и отличаются между собой. Изучение глубинных геофизических и вещественных характеристик литосферы на основе комплексной интерпретации является одним из путей решения данной проблемы.

Основным источником сведений о процессах, происходящих на больших глубинах, наряду с геофизическими данными, являются ксенолиты, выносимые на поверхность магмами щелочно-основного и ультраосновного состава. Изучение вещественных характеристик, структурных взаимоотношений глубинных нодулей позволяет судить о составе, термодинамических параметрах и генетических особенностях формирования и эволюции литосферы. Все разнообразие глубинных включений большинством исследователей [1-6] объясняется латеральной и вертикальной неоднородностью верхней мантии.

Кимберлитовые трубки рассматриваются как очень «глубокие скважины», более или менее равномерно опробующие различные горизонты литосферы.

Гетерогенность состава верхней мантии

Наиболее хорошо изучены кимберлитовые трубки Удачная, Сытыканская, расположенные в центральной части провинции, на юге - трубка Мир, а на севере - трубка Обнаженная. Содержание глубинных ксенолитов в них колеблется и обычно составляет 0,07-3,5% [4]. Менее изучены нодули глубинных пород в кимберлитах Верхнемунского поля, Среднеоленьского района (Укуитские поля) и совсем мало сведений имеется по трубкам Прианабарья и Накынского поля. Ксеногенный материал кимберлитов центральной и южной частей провинции более разнообразен по составу чем в других районах. Во всех кимберлитовых телах преобладают ультраосновные и основные парагенезисы с гранатом, шире других представлена лерцолитовая ассоциация, доля которой убывает в ряду от высокоалмазоносных продуктивных кимберлитов к слабоалмазоносным, тогда как доля гранат-клинопироксеновой, наоборот, возрастает [4].

В трубке Мир резко преобладают гранатовые лерцолиты равномернозернистого облика. Содержание шпинелевых и деформированных лерцолитов одинаково и составляет в сумме 14% (табл.1). Очень мало обнаружено эклогитов. Отличительной чертой является наличие порфировидных гранатовых пироксенитов.

В трубках Удачная, Сытыканская и кимберлитах Верхнемунского поля сохраняется высокий процент лерцолитовых ассоциаций, а в трубке Удачная резко увеличивается роль деформированных гранатовых лерцолитов. Повышено, по сравнению с

Таблица 1
Распределение ксенолитов глубинных пород в кимберлитовых трубках и полях (%)

№ п.п.	Наименование породы	Тр."Мир"	Тр."Удачная"	Тр."Сытыканская"	Тр."Обнаженная"	Верхне-Мунское поле	Укукитское поле
		n*=514	n*=311	n*=430	n*=375	n**=874	n**=82
1	Дуниты, оливиниты	2,5	1,1	4,2		16,2	
2	Гранатовые дуниты	3,7	5,4	1,4			
3	Шпинелевые гарцбургиты	1,7	1,6	2,3	0,3		
4	Гранатовые гарцбургиты	1,6	4,3	4,4		57,6	7
5	Шпинелевые лерцолиты	7	9,1	15,3	11,7	7,15	23,5
6	Гранатовые лерцолиты	51,7	21,3	41,9	39,6	8,35	16
7	Гранатовые лерцолиты деформированные	7	39,4	2,8		6,1	
8	Шпинелевые верлиты	0,4		0,5			
9	Гранатовые верлиты	1,2		2,3			
10	Пироксениты	1	1,8	0,5	3,7	0,8	12,5
11	Гранатовые пироксениты	4,5	6,4	1,4	23,6	0,5	
12	Гранатовые пироксениты порфириовидные	6,8					
13	Эклогиты	1,6	4,9	5,8	13,3	1,2	
14	Ильменитовые перидотиты	5,7	2,5	5,6	2,7	1,2	16
15	Флогопит-ильменитовые перидотиты		0,8	4,4		0,9	13,5
16	Гранат-ильменитовые перидотиты	1,9	1,4	6,5	5,1		4
17	Гранат-ильменитовые пироксениты	1,7		0,7			0,5
18	Слюдиты						7

Примечания: n - число ксенолитов, данные взяты из работы *- (Специус, Серенко, 1990); ** - (Уханов и др., 1988)

трубкой Мир, содержание дунит-гарцбургитовых пород, особенно в телах Верхнемунского поля, приуроченного к максимальному прогибу поверхности Мохо. В этом же поле отмечаются самые низкие концентрации ильменитсодержащих и гранат-клинопироксеновых парагенезисов. Высокие содержания включений с ильменитом характерны для трубок Сытыканская и Мир.

Трубка Обнаженная на севере провинции резко отличается по набору ксенолитов от тел центральной и южной частей. В ней, наряду с шпинелевыми и гранатовыми лерцолитами, широко распространены пироксенитовые и эклогитовые включения. Дунитовые и гарцбургитовые парагенезисы отсутствуют. Не встречено также деформированных пород.

Пограничное положение между северной и центральной частями провинции занимают Укукитские и Куранахское кимберлитовые поля. Трубки Укукитских полей характеризуются самыми высокими концентрациями пироксенитов, шпинелевых лерцолитов и флогопит-ильменитовых пород. Отмечается отсутствие эклогитовых и дунитовых включений. В Куранахском поле также преобладают безгранатовые перидотиты и пироксениты, на которые приходится 65% от всего числа ксенолитов [5].

Таким образом, распространенность глубинных нодулей различного состава в трубках северной, центральной и южной частей ЯКП имеет индивидуальные особенности. С юга на север увеличивается содержание пироксенитов и шпинелевых ассоциаций. Возрастание роли ксенолитов пироксенито-

вых серий отмечается при снижении алмазоносности кимберлитов.

Латеральная неоднородность верхней мантии подтверждается при изучении химического состава глубинных нодулей [4]. Перидотитовые ассоциации в районе трубки Удачная максимально обеднены коровыми компонентами: CaO, TiO₂, Al₂O₃, FeO, Na₂O, K₂O и обогащены хромом и магнием относительно пиролита Грина и Рингвуда (табл.2), а также по сравнению с мантией под трубками Мир и Обнаженная. Причем в последней содержания титана, глинозема, кальция, щелочей выше чем в пиролите, а магния - понижено. Это согласуется с выводами исследователей [1,2,5,6], отмечавших максимальную истощенность мантийных перидотитов трубки Удачная, хотя и меньшую, чем в алмазоносных телах центральных частей кратона Каапвааль (Южная Африка). Противоположные тенденции наблюдаются в эклогитах, обогащенных легкоплавкими элементами в центре провинции относительно ее южной и особенно северной частей. Это объяснимо, если принять во внимание, что эклогиты являются выплавками, а перидотиты остаточными продуктами первичного мантийного субстрата. Четких закономерностей изменения содержаний петрогенных окислов в ксенолитах пироксенитовых серий не об-

Таблица 2

**Средний химический состав верхней мантии в Якутской кимберлитовой провинции, мас.%.
(По Специус, Серенко, 1990; Грин, Рингвуд, 1968)**

Компонент	Пиролит Грина- Рингвуда	Трубка Мир	Трубка Удачная	Трубка Обнажен- ная
SiO ₂	43,06	43,22	43,61	44,72
TiO ₂	0,58	1,22	0,65	0,86
Al ₂ O ₃	3,99	3,41	3,57	6,14
Cr ₂ O ₃	0,42	0,41	0,38	0,39
Fe ₂ O ₃	1,66	2,12	2,17	2,28
FeO	6,66	7,53	7,25	7,73
MnO	0,13	0,15	0,15	0,16
MgO	39,32	38,17	38,61	31,97
CaO	2,65	2,83	2,73	4,59
Na ₂ O	0,61	0,43	0,36	0,62
K ₂ O	0,22	0,27	0,28	0,35

наруживается. Можно отметить лишь большие вариации составов, что, по-видимому, связано с гетерогенностью и гетерохронностью формирования этих пород. В центре провинции четко разделяются поля перидотитовых, пироксенитовых и эклогитовых серий пород [4]. К югу это обособление становится менее четким и практически отсутствует на севере - в трубке Обнаженная, где составы серий перекрываются, что может быть связано с незначительной дифференциацией пород или с их интенсивным преобразованием в процессе наложенного мантийного метасоматоза.

Средний химический состав верхней мантии, рассчитанный З.В.Специусом и В.П.Серенко [4] также различается в разных районах субпровинции (табл.2). Глиноземистость растет с юга на север, являясь пониженной по отношению к пиролиту в южной и центральной частях и повышенной - на севере Якутии. Ксенолиты трубки Мир обогащены титаном. Низкие содержания железа, кальция, натрия отмечаются в центре провинции и возрастают к ее краям. Ниже чем в пиролите концентрации магния особенно в районе трубки Обнаженной. Нодулы из трубки Мир занимают поля гарцбургит-лерцолит-верлитовых парагенезисов, несколько смещаясь в сторону пироксенитовых серий. Составы перидотит-пироксенитовых ксенолитов из трубки Обнаженная располагаются ближе к верлитовым и пироксенитовым ассоциациям, отличаясь повышенной глиноземистостью, кальциевостью и щелочностью. Преобладание перидотитовых парагенезисов, обогащенных оливином в центральном и южном районах субпровинции, может являться причиной повышения скоростей упругих волн в мантии.

З.В.Бартошинским [17] установлена региональная закономерность в распределении алмазов, выразившаяся в изменении их типоморфизма с юга на север - уменьшается количество октаэдрических индивидов за счет увеличения содержания ромбодекаэдров. В том же направлении возрастает степень целостности кристаллов, количество окрашенных камней с включениями, доля алмазов эклогито-

вого генезиса. Материалы по синтезу алмазов говорят о том, что округлые алмазы с многочисленными включениями графита и других минералов и серые поликристаллические сростки, которых так много на севере провинции, формируются при пониженных Р-Т параметрах алмазообразования и незначительном пересыщении среды углеродом. Об этом же свидетельствует состав включений, в большинстве представленных эклогитовыми ассоциациями. Явления пластической деформации в кристаллах позволяют предполагать увеличение с юга на север направленных стрессовых давлений. Проявление природного травления алмазов, возрастающее от центра провинции к Верхнемунскому полю и далее на север, может свидетельствовать о повышении окислительного потенциала кимберлитовых магм во время ассимиляции и транспортировки кристаллов.

В распределении характеристик глубинных образований можно выделить две тенденции. Первая - заключается в изменении с юга на север доли основных ассоциаций, соответствует распространности нодулей глубинных пород, их химизму, типоморфизму алмазов и может свидетельствовать о меньших глубинах литосферы, «опробованных» кимберлитовой магмой. Вторая тенденция заключается в существовании круговой симметрии с центром в районе трубки Удачная. Она выражается, преимущественно, в преобладании здесь железисто-магнезиальных парагенезисов, которые постепенно к краям сменяются магнезиальными. Можно полагать, что центр провинции является наиболее стабильной, мощной частью кратона.

Термодинамика глубинных ксенолитов и реконструкция мантийных разрезов

Распространенность и химизм различных типов глубинных нодулей свидетельствуют о составе верхней мантии, но мало говорят о ее строении. Чтобы понять характер неоднородности мантийного субстрата необходимо оценить глубину залегания обломков пород, вынесенных на поверхность кимберлитами. При этом допускается, что большинство ксеногенного материала доставлено магмой с уровней, соответствующих их образованию. В процессе быстрого продвижения кимберлитовых расплавов крупные ксеногенные осколки немного истираются, но не успевают прогреться [5], поэтому несут почти неискаженную информацию о состоянии глубинных недр. Принято считать, что оценки давления соответствуют глубине образования пород. Сложнее обстоит дело с интерпретацией температуры. В основе расчетов Р-Т параметров большинством геотермобарометров лежит принцип сравнения реальных составов сосуществующих минералов с равновесными. Мантийный субстрат, находившийся в условиях высоких давлений и температур, достигал равновесного состояния в течение длительного времени, поэтому нужно говорить не о температуре

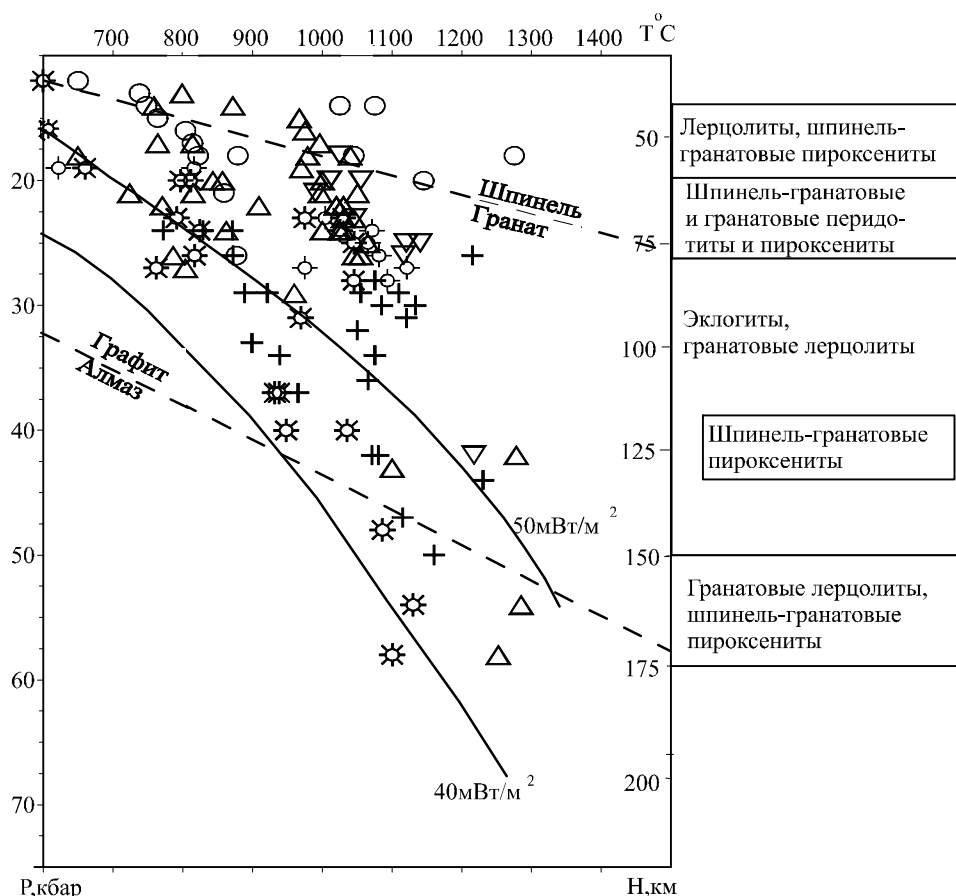


Рис.1. Разрез мантии в районе трубки Обнаженная, реконструированный на основе Р-Т параметров глубинных ксенолитов. Условные обозначения см. на рис.2.

кристаллизации вещества, а о температуре установления равновесия - прекращения катионного обмена между рассматриваемыми фазами, которая всегда будет ниже температуры кристаллизации. Причем каждый геотермометр будет фиксировать условия стабилизации тех минералов, на которых он отградуирован. Дополнительные погрешности вносятся несовершенством принятых термодинамических моделей и ошибками аналитических методов. Отклонения от типовых геотерм также обуславливаются локальной метасоматической переработкой исходных пород, термальной магматической активизацией [5]. Все эти факторы могут создавать сложную картину, отражающую временные вариации Р-Т параметров в подкоровых зонах Земли.

Для реконструкции мантийных разрезов различных частей ЯКП автором были привлечены аналитические и расчетные данные из работ: [1-7]. В качестве базового метода определения термодинамических характеристик был выбран двухпироксеновый геотермобарометр Финнерти и Бойда [8]. В случае отсутствия ортопироксена в образце для расчетов использовался гранат-клинопироксеновый термометр Эллиса и Грина [9]. На основании расчетных данных построены графики Р-Т параметров и реконструированы мантийные разрезы для различных районов Якутской провинции (рис.1-3).

Верхняя часть мантийных разрезов до глубины 80 км на всей территории представлена безгранатовыми и гранатовыми (часто с шпинелью) перидотитами и пироксенитами. Наиболее ярко этот слой выражен на севере провинции, в районе трубки Обнаженная, где шпинелевые и шпинель-гранатовые разности с глубиной сменяются гранатовыми ассоциациями (рис.1). Интервал температур, при которых формировались породы, достаточно широк по всем трубкам и составляет $650-1150^{\circ}\text{C}$.

Глубже 80 км разрезы в разных блоках начинают различаться. В интервале от 80 до 150 км под трубкой Обнаженная распространены гранатовые лерцолиты и эклогиты, причем последние среди ксенолитов преобладают. На глубине 125 км отчетливо выделяется маломощный прослой шпинель-гранатовых пироксенитов с температурами равновесия $1100-1250^{\circ}\text{C}$. Завершается разрез гранатовыми лерцолитами и шпинель-гранатовыми пироксенитами, залегающими на глубине 150-175 км. Из рис.1 видно, что северная часть ЯКП сложена шпинель-гранат-лерцолитовыми и клинопироксен-гранатовыми парагенезисами, максимальная глубина формирования которых ограничивается 175 км. Подкоровые ассоциации являются высокотемпературными и располагаются выше геотермы 50 мВт/м^2 . Нодулы нижних частей разреза (100-175 км) группируются

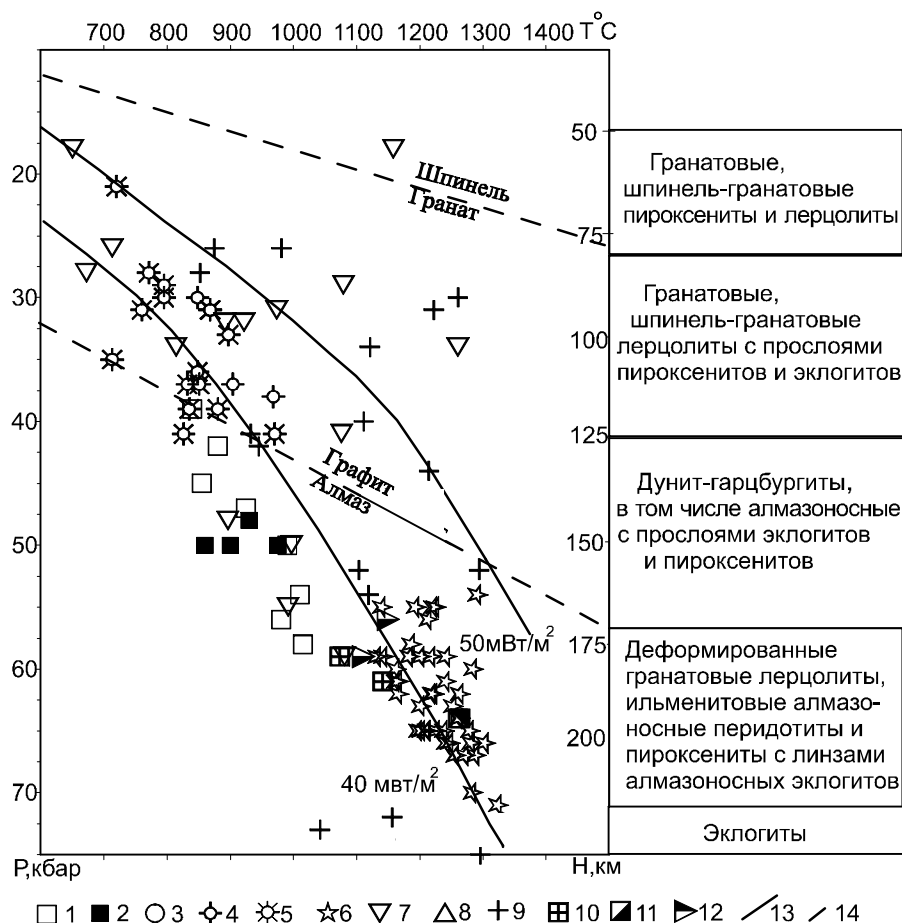


Рис.2. Разрез мантии в районе трубки Удачная, реконструированный на основе Р-Т параметров глубинных ксенолитов: 1 - дунит-гарцбургиты, 2 - дунит-гарцбургиты алмазоносные, 3 - лерцолиты, 4 - шпинель-гранатовые лерцолиты, 5 - гранатовые лерцолиты, 6 - деформированные гранатовые лерцолиты, 7 - шпинель-гранатовые пироксениты, 8 - гранатовые пироксениты, 9 - эклогиты, 10 - алмазоносные эклогиты, 11 - ильменит-гранатовые перидотиты алмазоносные, 12 - ильменит-гранатовые пироксениты, 13 - расчетные геотермы с величиной теплового потока 40 и 50 мВт/м [18], 14 - линии перехода шпинелевого и гранатового пиролита [19] и графит-алмаз [20].

между геотермами 40 и 50 мВт/м². Необходимо отметить, что в трубке Обнаженная также присутствуют ксенолиты, сформировавшиеся в поле стабильности алмаза, но при давлениях уступающих давлениям формирования алмазоносных нодулей центральных частей провинции. Н.П.Похиленко и Н.В.Соболев [10] также отмечают наличие в трубке Ивушка, расположенной в 50 км к юго-востоку от Обнаженной, гранатов дезинтегрированных из алмазоносных дунит-гарцбургитов и считают, что деструкция алмазоносной мантии могла произойти во время мезозойской тектонической активизации. Необходимо при этом отметить, что данное тело (Ивушка) приурочено к Далдыно-Оленекской зоне глубинных разломов, характеризующейся геолого-геофизическими параметрами более близкими к алмазоносной мантии.

Подтверждаются выводы А.В.Уханова и др. [5] об отсутствии единой геотермы. Данные автора фиксируют наличие широкого поля рассеяния значений Р-Т параметров ксенолитов в подкоровой части разреза, смещенного в область высоких температур (см. рис.1). Высокотемпературные значения, по-

видимому, принадлежат нодулям пород, связанных с внедрением горячего магматического материала, образовавшего расслоенную интрузию в районе трубок Обнаженная и Слюдянка. Об этом свидетельствуют магматические текстуры обломков и одновременная кристаллизация ортопироксена, хромшпинелида и плагиоклаза [5]. Выделяющееся в районе трубки Обнаженной на глубинах 40-80 км высокотемпературное поле ($T=1000-1100^{\circ}$) преимущественно шпинель-гранатовых пород (рис.1), совпадает с значениями Р,Т шпинелевых и шпинель-гранатовых нодулей из вулканитов Восточного Китая, формирование которых связывают с аномальным разогревом и частичным плавлением верхней мантии при образовании промежуточных очагов, питавших вулканические аппараты [11]. Таким образом, можно предполагать, что мантия Анабаро-Оленекского блока была активизирована и переработана в процессе эволюционирования фанерозойских магматических очагов.

Мантийный разрез, реконструированный по ксенолитам из трубок Мир и Удачная и характеризующий центральную и южную части провинции,

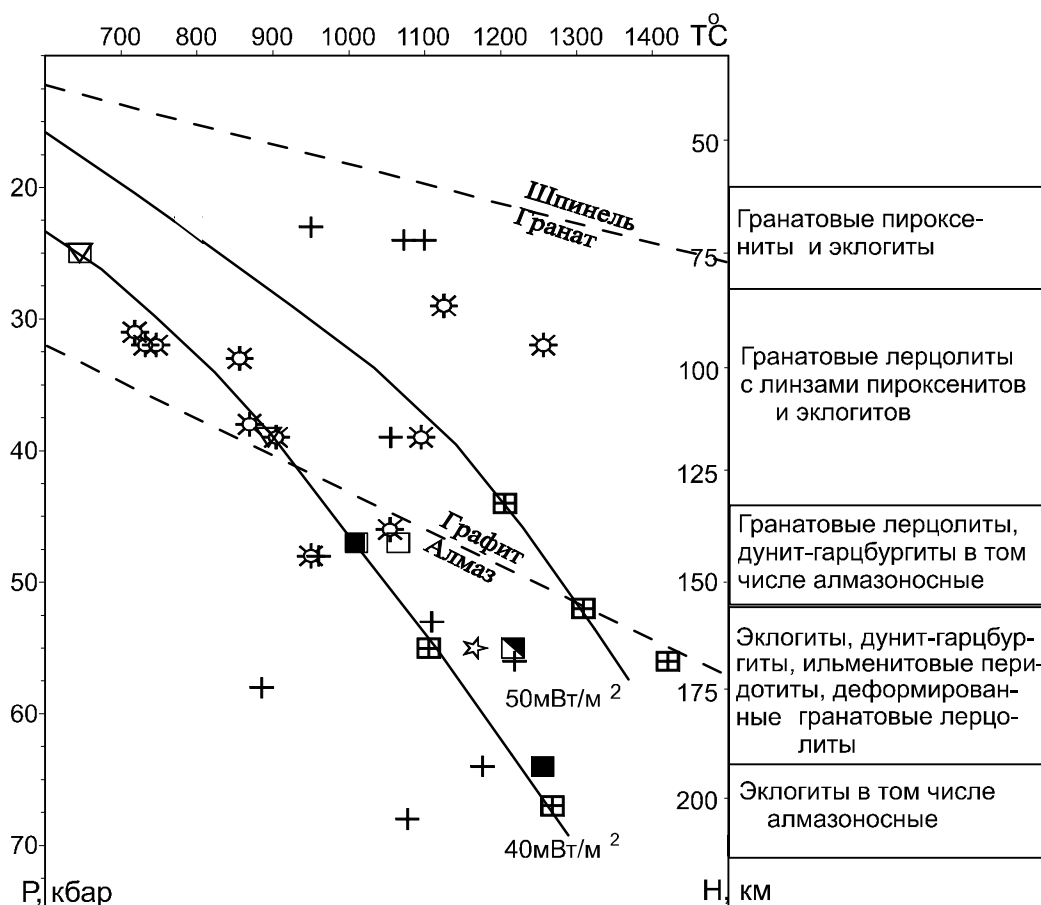


Рис.3. Разрез мантии в районе трубки Мир, реконструированный на основе Р-Т параметров глубинных ксенолитов. Условные обозначения см. на рис.2.

существенно отличается от севера. Глубже 80 км преобладают гранатовые перцолиты с подчиненными прослоями эклогитов и пироксенитов (рис.2,3). Ксенолиты перцолитового состава группируются вблизи геотермы 40 мВт/м^2 , что отличает их от аналогичных пород из трубки Обнаженной. Гранат-клинопироксеновые парагенезисы являются более высокотемпературными и располагаются, как и в трубке Обнаженной, выше геотермы 50 мВт/м^2 . Интервал от 125 до 170 км в центре провинции занимают дунит-гарцбургиты, в том числе и алмазоносные. Температура их становления лежит ниже геотермы 40 мВт/м^2 . Более высокотемпературные эклогиты находятся в подчиненном положении. В районе трубки Мир этот слой менее выражен, он включает гранатовые перцолиты в интервале 130-160 км. Температуры стабилизации ксенолитов данного уровня, по сравнению с Далдыньским кимберлитовым полем, чуть выше и лежат на геотерме 40 мВт/м^2 . Еще ниже, с 175 км под трубкой Удачной и с 160 км под трубкой Мир, залегает слой, представленный деформированными гранатовыми перцолитами, ильменитсодержащими породами и эклогитами с включениями алмазов. В центре провинции он прослеживается до глубины 220 км, а на юге - до 190 км. Температурная кривая на этих глубинах проходит по геотерме 40 мВт/м^2 .

Впервые геотерму по трубке Удачная построили F.R.Boyd [6] и Н.В.Соболев [3], которые показали, что катаклазированные перцолиты аналогичны рассланцованной разновидности ксенолитов из трубок Южной Африки и залегают глубже равномернозернистых гранатовых перидотитов. Геотермы из более поздних работ [2,5,10] подтвердили вывод об отличии мантии под северной и центральной частями Сибирской платформы. А.В.Уханов [5] отметил для последней уменьшение истощенности и увеличение железистости с глубиной от безгранатовых дунит-гарцбургитов к равномернозернистым, а затем к деформированным гранатовым перцолитам, но псевдослоистую структуру мантии ему не удалось проследить. Л.В.Соловьева с соавт. [2] обратили внимание на приуроченность пироксенитов к определенным уровням глубинности и, сопоставив их с слоями пониженных скоростей сейсмических волн, выделенных А.В.Егоркиным [12] на геотраверсе Березово-Усть-Мая, сделали вывод о псевдостратифицированном строении мантии за счет чередования горизонтов преимущественно сложенных гарцбургитами и перцолитами с одной стороны и пироксенитами, вебстеритами - с другой.

Фигуративные точки, отражающие Р-Т параметры глубинных ксенолитов из центральной части, сдвинуты в область высоких давлений относительно

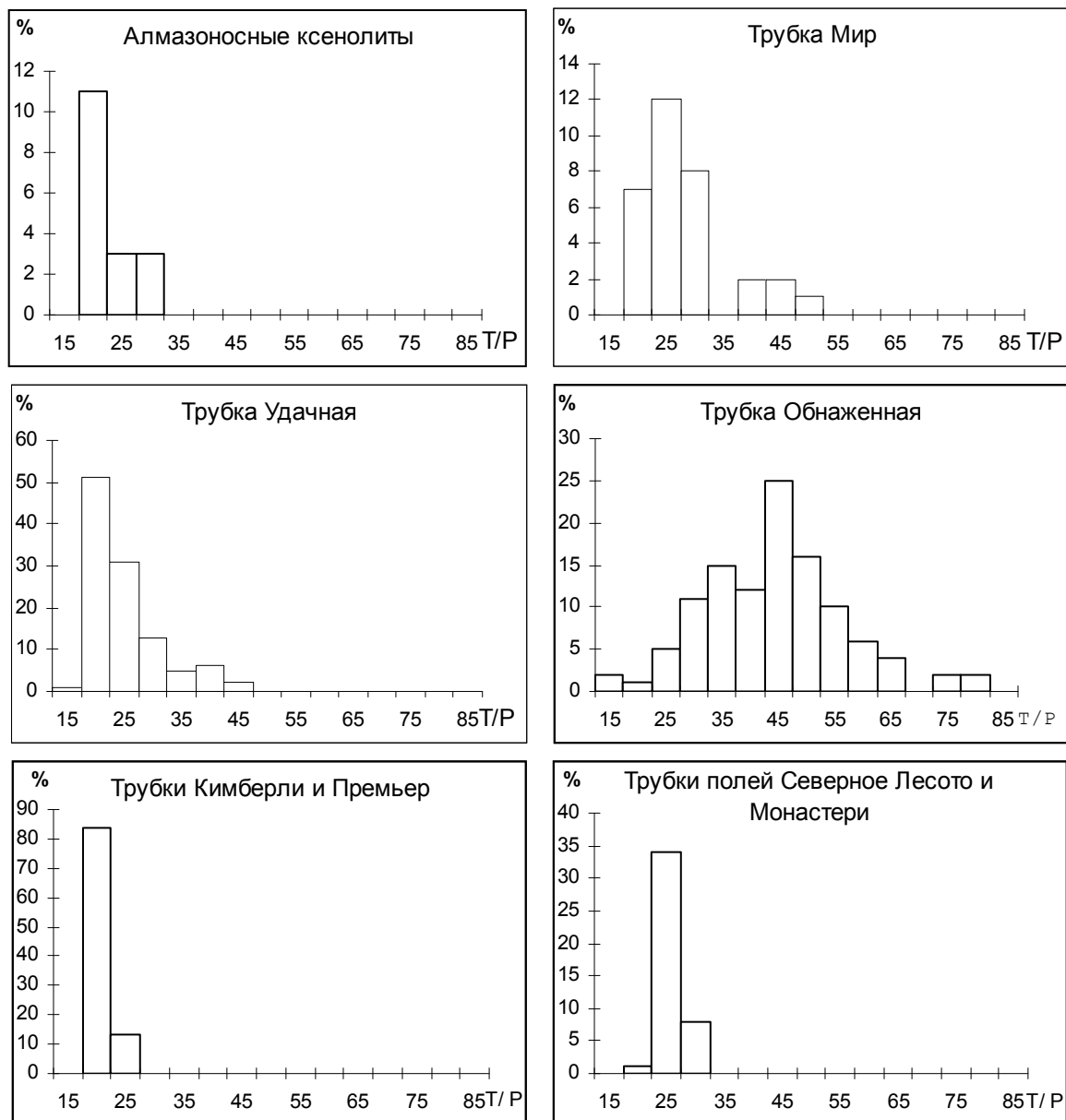


Рис.4. Гистограммы значений термодинамических градиентов, рассчитанные по Р-Т параметрам глубинных ксенолитов из кимберлитовых трубок Якутии и Южной Африки.

южной и особенно северной частей провинции (рис.1,2,3). Если кимберлитовая магма опробует весь разрез литосферы, а максимальные давления, установленные по глубинным нодулям, характеризуют ее мощность, то можно предполагать наибольшую глубину залегания астеносферы в центре провинции, меньшую на юге и совсем небольшую на севере. Сравнение Р-Т параметров ксенолитов из южноафриканских трубок показало, что наиболее низкобарные ассоциации распространены в слабоалмазоносных кимберлитах Монастери и Северное Лесото, приуроченных к краевой части архейского кратона Каапвааль, на границе его с верхнепротерозойским подвижным поясом Намаква-Натали, неоднократно активизированным в фанерозое. Трубки расположенные ближе к центральным частям кратона (Кимберли, Премьер) отличаются более высокобарной минерализацией. Значения Р-Т параметров

локализуются вблизи геотермы 40 мВт/м^2 , что сближает их с трубками Мир и Удачная. Такая зависимость выявлена Л.П.Никитиной [13] для ксенолитов из трубок центральной части Каапваальского кратона (Кимберли, Финш, Франк Смиз, Премьер) по сравнению с трубкой Лесото-200, расположенной в краевой части кратона.

Отличие термальных режимов различных блоков ЯКП в предкимберлитовый этап характеризуют гистограммы значений термодинамических градиентов (рис.4). Большинство значений $T^0/P_{\text{кбар}}$, рассчитанные по нодулям с включениями алмазов из якутских трубок, лежат в диапазоне 15-20 единиц (табл.3). Близкое распределение наблюдается для ксенолитов из алмазоносных трубок Удачная, Кимберли и Премьер. В телах Монастери и Северное Лесото, несколько удаленных от центральных частей кратона Каапвааль, термодинамические гради-

Таблица 3
Средние значения термодинамических
градиентов, рассчитанные по ксенолитам из
кимберлитовых трубок

	Удачная	Мир	Обнаженная	Кимберли	Премьер	Монасте-Ри, Лесото
Перидотиты	23,21	25,08	43,14	19,8	20,43	25,19
Перидотиты деформированные	19,77	21,18		19,08	19,9	23,4
Пироксениты	27,31		44,67			
Эклогиты	27,7	27,69	33,12			
Эклогиты алмаз.	21,97					

енты смещаются в сторону больших значений 20-30 единиц [13]. Таким же распределением характеризуется трубка Мир, на основании чего можно предположить, что она расположена также не в центральной части кратона. Максимальные значения Т/Р отмечаются на севере ЯКП, они составляют 30-50 единиц, что отражает значительный прогрев мантии не характерный для холодных стабильных кратонных оснований.

Если рассматривать термодинамические градиенты разных пород, то оказывается, что минимальными значениями (19-20 ед.) характеризуются ксенолиты, присущие алмазоносным кимберлитовым трубкам: деформированные гранатовые лерцолиты, дискретные нодулы энстатита, перидотиты, пироксениты и эклогиты с включениями алмазов (табл.3). На несколько единиц возрастают значения у перидотитов и еще больше у пироксенитов и эклогитов. Данная закономерность сохраняется во всех трубках, в том числе расположенных в блоках, различающихся термальным режимом. Последний фактор оказывает большее влияние на Т/Р, чем тип включений.

Анализ термодинамических параметров подтверждает ранее сделанные выводы о большей мощности литосферы в центре провинции, которая уменьшается к северу и югу. Северная часть интенсивно преобразована высокотемпературными наложенными процессами, вероятно, фанерозойскими. Продуктивные кимберлиты отличаются от слабоалмазоносных низкими значениями термодинамических градиентов, рассчитанными по глубинным ксенолитам.

Заключение

Эмпирически установленным фактом является приуроченность алмазоносных кимберлитов к корневым частям древних кратонов, где подошва литосферы располагается значительно глубже чем в подвижных областях, в которых разогретый астеносферный слой проникает выше уровня стабильности алмаза. Сейсмическая томография подтвердила существование мантийных корней. Попытка выделе-

ния глубинных объектов такого ранга с применением широкого комплекса геолого-геофизических методов, включающих глубинные сейсмические и магнитотеллурические зондирования, гравиразведку, магниторазведку, изучение высокобарной минерализации из кимберлитов, выполнена в Якутской кимберлитовой провинции. Проведенные исследования [14] позволили выявить в ее центральной части область, характеризующуюся определенными структурными и геофизическими параметрами: погружением поверхности Мохоровичича до глубин 46-58 км на фоне 40 км; увеличением мощности кристаллической коры до 42-54 км; поднятием внутрикоровых границ, уменьшением мощности верхней коры до 10-12 км на фоне 15-20 км; повышением средней граничной скорости продольных волн по границе Мохо до 8,4-8,6 км/с относительно 8,2 км/с, повышением средней скорости продольных волн в кристаллической коре до 6,65 км/с относительно 6,40 км/с, увеличением плотности и интенсивности остаточных гравитационных аномалий от кристаллической коры, увеличением глубины залегания «поверхности свободной мантии» до 6,5 км на фоне 5 км, погружением проводящих литосферных слоев на глубины 90 км (на фоне 60 км) и 280 км (на фоне 200 км). На основании обобщения материалов по изучению ксенолитов глубинных пород, алмазов и минералов индикаторов кимберлитов установлено, что данная область выделяется уменьшением в ее пределах содержаний пироксенитовых и шпинелевых ассоциаций, перидотитовых парагенезисы в центре области максимально обеднены коровыми окислами: CaO, TiO₂, Al₂O₃, FeO, Na₂O, K₂O и обогащены хромом и магнием относительно периферических частей. Эклогиты, наоборот, обогащены легкоплавкими элементами в центре области по сравнению с краями. Р-Т параметры мантийных ксенолитов сдвинуты в центре области в сторону высоких давлений, что свидетельствует об увеличении мощности литосферы. Термодинамические градиенты глубинных нодул характеризуются значениями 15-20, увеличиваясь к периферии до 30-50, что отражает значительный прогрев мантии, не свойственный холодным стабильным блокам. Снижается алмазоносность, морфологические особенности алмазов изменяются с юга на север: октаэдрический габитус алмазов замещается за пределами области ромбододекаэдрическим. Железисто-магнезиальные парагенезисы минералов - спутников алмазов в центральной части области сменяются на магнезиальные - к ее периферии.

Вышеперечисленные глубинные критерии в совокупности позволяют выделить структуру сложной формы, площадью около 300000 кв. км и сделать заключение о наличии здесь литосферы с увеличенной мощностью - литосферного мантийного корня. По аналогии с модельными мантийными корнями, описанными Хэлмстедом [15] и Митчелом [16], выделенная структура может рассматриваться как область алмазоносной мантии. В

геотектоническом отношении она приурочена к наиболее стабильной части Сибирской платформы и лежит в пределах Анабарской и Непско-Ботуобинской антеклиз. Со всех сторон ее окружают структуры, претерпевшие в фанерозое неоднократную тектоно-магматическую активизацию. К ним относятся Лено-Анабарский прогиб, Вилюйская и Тунгусская синеклизы, характеризующиеся интенсивной деструкцией коры, нисходящими движениями земной поверхности, кровли фундамента и поднятиями границы Мохо. Мантия преобразована под воздействием повышенного теплового потока, вызванного активизацией астеносферы.

Таким образом, по геофизическим и петрологическим данным в центре Якутской кимберлитовой провинции выделяется литосферный мантийный корень. В пределах литосферного корня высокопродуктивные среднепалеозойские алмазоносные кимберлиты контролируются глубинными зонами и тяготеют к средней части, а слабоалмазоносные - к краевым частям. В распределении мезозойских кимберлитов наблюдается тенденция в их приуроченности к периферийным частям выделенной области, подвергшимся большей активизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Бойд Ф.Р. и др. Мегакристаллические пироповые перидотиты в литосфере Сибирской платформы: минералогия, геохимические особенности и проблема происхождения // Геология и геофизика. -1993. -№1. -С.71-84.
2. Соловьева Л.В., Владимиров Б.М., Днепровская Л.В. и др. Вещество верхней мантии под древними платформами. -Новосибирск, 1994. -256 с.
3. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. -Новосибирск, 1974. -265 с.
4. Специс З.В., Серенко В.П. Состав континентальной верхней мантии и низов коры под Сибирской платформой. -М., 1990. -272 с.
5. Уханов А.В., Рябчиков И.Д. и др. Литосферная мантия Якутской кимберлитовой провинции. -М., 1988. -286с.
6. Boyd F.R. Siberian geotherm based on lherzolite xenoliths from Udachnaya kimberlite, USSR // Geology. -1984. -P.528-530.
7. Владимиров Б.М., Волянюк Н.Я. и др. Глубинные включения из кимберлитов, базальтов и кимберлитоподобных пород. -М., 1976. -284 с.
8. Finnerty A.A., Boyd F.R. Evaluation of thermobarometers for garnet peridotites // Geochim. Cosmochim. Acta. -1984. -V.48. -P. 15-27.
9. Ellis D.I., Green D.N. An experimental study of the effect of Ca upon garnet - clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria // Contrib. Mineral. Petrol. -1979. -V.71. -P.13-22.
10. Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Некоторые аспекты эволюции литосферной мантии северо-восточной части Сибирской платформы в связи с проблемой алмазоносности разновозрастных кимберлитов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. -Мирный, 1998. -С.65-67.
11. Ли Чжу. Глубинные ксенолиты и кайнозойские пироксеновые геотермы Восточного Китая // Геология и геофизика. -1998. -Т.39, №3. -С.343-349.
12. Егоркин А.В., Зюганов С.К. и др. Верхняя мантия Сибири. 27 МГК: Геохимия и космохимия. Т.8. -М., 1984. -С.27-42.
13. Никитина Л.П. Реконструкция термальных режимов в мантии по ксенолитам в кимберлитах и оценка алмазоносности кимберлитов // Докл. РАН. -1994. -Т.336, №2. -С. 254-259.
14. Манаков А.В. Особенности строения литосферы Якутской кимберлитовой провинции. -Воронеж, 1999. -58 с.
15. Helmstaedt H.H. Natural diamond occurrences and tectonic setting of "primary" diamond deposits // Prospectors and developers association of Canada. -1993. -P. 3-72.
16. Mitchel R.H. Kimberlites and lamproites primary sources of diamond // Geoscience Canada. -1991. -V.18. -№1. -P.1-16.
17. Бартошинский З.В., Квасница В.Н. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов. -Киев, 1991. -172 с.
18. Pollack H.N., Chapman D.A. On the regional variation of heat flow geotherms and lithospheric thickness // Tectonophysics. -1977. -V.38. -P. 279-296.
19. Green D.H., Hibberson. Lithos. -1970. -V.3. -P.209.
20. Соболев В.С., Добрецов Н.Л., Соболев Н.В. Классификация глубинных ксенолитов и типы верхней мантии // Геология и геофизика. -1972. -№12. -С.37-42.