

Периодическое размещение алмазоносных систем и смежные проблемы геологии алмазов

А.Н.БАРЫШЕВ (ЦНИГРИ)

Адвекция как основа периодичности размещения систем. Периодическое чередование в пространстве систем геологических структур, определяемых подъемами глубинного вещества и несущих магматогенное оруденение, было показано ранее в работах [2—4]. Физическая основа такой закономерности — волновая природа зарождения адвекции, т.е. всплывания разуплотненного пластичного вещества с соответствующим пластическим оттеснением и погружением более плотной окружающей среды. Адвекция представляет собой незавершенную по фазе (до 180°) конвекцию. В обстановке гравитационной неустойчивости, т.е. когда слой менее плотного вещества перекрыт более плотным, на границе их соприкосновения возникают волнообразные коробления. При этом в зависимости от разности плотностей, вязкости пород, мощности слоев существует такая длина волны, рост амплитуды которой происходит наиболее быстро [40]. Эта доминирующая длина волны и определяет расстояния между поднятиями. Условия развития конвекции определяются критическими числами Рэлея R [14]:

$$R = \frac{TgH^3}{a} \quad (1),$$

где ρ — плотность; β — коэффициент объемного температурного расширения; T — разность температур внизу и сверху нагретого слоя; g — ускорение, определяющее силу тяжести; H — мощность всплывающего слоя; a — коэффициент температуропроводности; η — динамическая вязкость.

В числителе формулы, характеризующем архимедову силу, содержатся параметры, которые способствуют нарушению устойчивости, а в знаменателе — препятствующие этому. При малой архимедовой силе образуются стоячие волны одного направления, и всплывание среды происходит в виде валов. Во втором случае, при увеличении неустойчивости, образуются волны нескольких направлений, интерференция которых обуславливает всплывание в виде ячеек (колонн). Этим двум случаям соответствуют первое $R_1 = 1,7 \cdot 10^3$ и второе $R_2 = 10^4$ критические числа Рэлея [14]. Суть формулы не изменится, если разуплотнение T будет иметь иную, не обязательно связанную с нагревом, причину, т.е.

$$R = \frac{gH^3}{a} \quad (2).$$

В этом случае коэффициент температуропроводности a , определяющий скорость выравнивания (релаксации) температур, необходимо заменить на коэффициент релаксации напряжений и соответственно изменить значения R . Но т.к. релаксация напряжений происходит медленнее, чем температур, то без большой погрешности в формуле (2) можно пользоваться значениями R и a формулы (1).

Х.Рамберг [40] показал, что равенство или превосходство вязкости перекрывающего слоя по отношению к подстилающему в пределах 1—2 порядков мало влияют на длину адвективной волны, которая в первую очередь зависит от мощности всплывающего слоя. Если мощность перекрывающего слоя существенно меньше длины волны, то это оказывает то же влияние, что и снижение его вязкости.

Периодичность в размещении конвективных ячеек более полувека тому назад отмечалась Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшицем: «Возникающее конвективное движение имеет своеобразный характер. Уже в силу неограниченности пространства в горизонтальном направлении очевидно, что движение должно обладать периодичностью в горизонтальной плоскости. Другими словами, все пространство между граничными плоскостями можно представить себе разделенным на одинаковые призмы, в каждой из которых жидкость движется одинаковым образом. Контуры сечений этих призм образуют в ней некоторую двухмерную решетку. Теоретическое определение симметрии этой решетки весьма затруднительно, экспериментальные же данные свидетельствуют о гексагональной симметрии с ячейками в виде шестигранных призм, в середине которых жидкость движется вверх, а по краям — вниз (или наоборот)» [25, с. 264]. Гексагональная форма бенаровых конвективных ячеек, согласно исследованиям П.М.Горяинова и Г.Ю.Иванюка, энергетически более выгодна, по сравнению с треугольной или квадратной формами. Периодичность в размещении адвективных (конвективных) ячеек подтверждена многими тектонофизическими экспериментами. Один из них, наиболее наглядный для последующего анализа алмазоносных структур, показан на рис. 1, А.

Для адвективных структур Земли характерно то, что увеличению линейного размера структур на один порядок соответствует увеличение их вязкости на три порядка, т.е. в 1000 раз. Это следует из условий подобия конвективных процессов, вытекающих из уравнения (2), т.к. в реальной геологии вариации ρ , g и a малы [2—4]. Такой вывод может быть получен и из анализа соотношения размерностей в уравнении (2).

На основании зависимости длины волны от вязкости была составлена схема иерархии геологических структур, связанных с конвективными ячейками в разных слоях Земли [2—4]. Адвективные ячейки астеносферы при вязкости 10^{20} — 10^{21} П (пуаз, 1 П 0,1 Па с) имеют поперечник 1000—2000 км; ячейки ее верхнего слоя при вязкости 10^{17} — 10^{18} П — 50—150 км; ячейки, определяющие зарождение магматических очагов, при 10^{14} — 10^{15} П (в субсолидусном состоянии) — 10—30 км; разуплотненные выплавки очага при 10^{11} — 10^{12} П образуют ячейки (камеры) с расстояниями 0,5—3,5 км; флюидонасыщенные магмы апикальных частей камер при 10^8 — 10^9 П — ячейки поперечником 0,1—0,3 км. Справедливость заключения об отмечен-

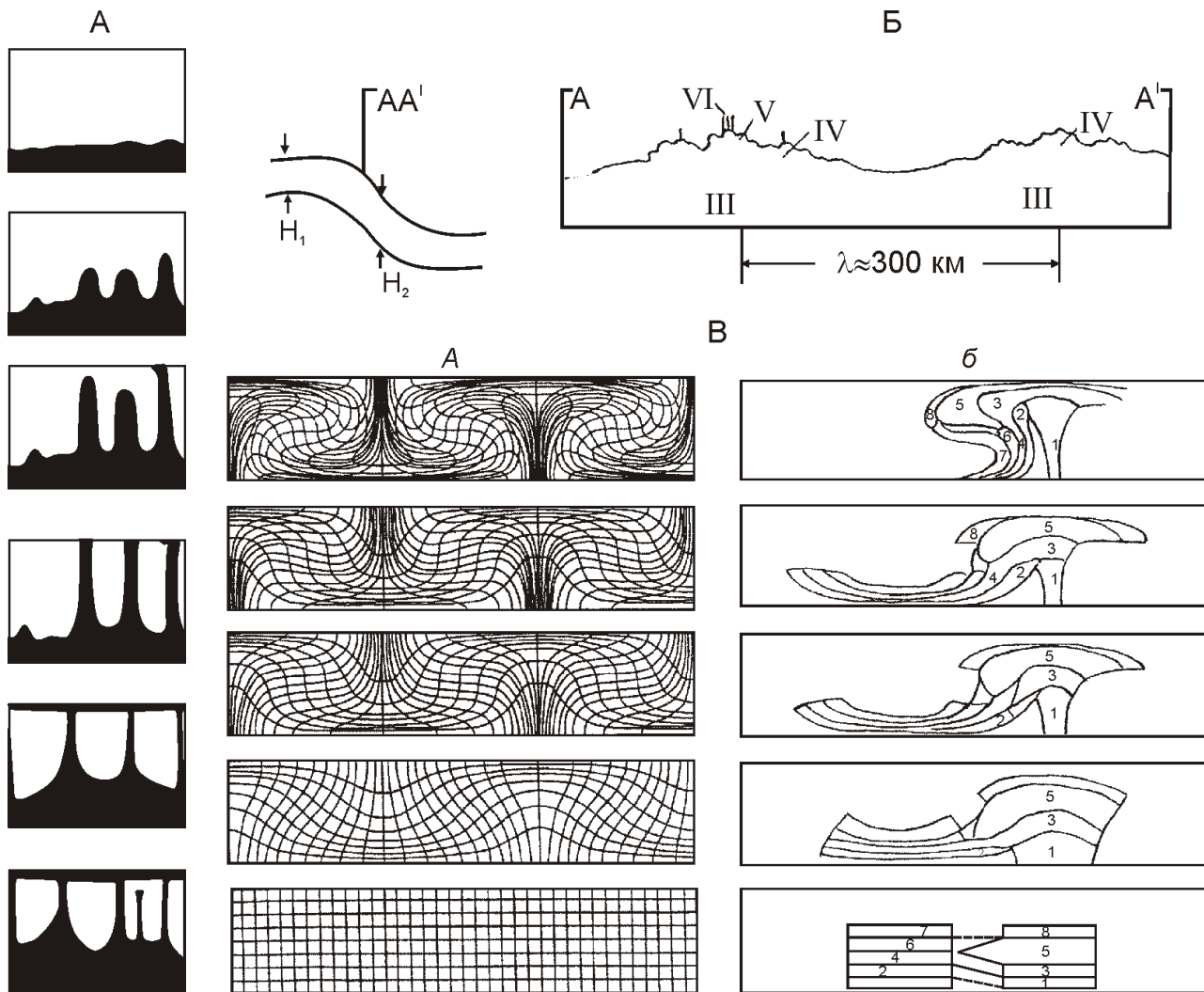


Рис. 1. Закономерности развития адвективных структур (систем):

А — модель адвективной природы кимберлитовых трубок и периодичности их размещения, тектонофизическая основа модели — последовательность перемещения двух вязких сред разной плотности под действием силы тяжести: битум под покрывающим слоем патоки, эксперимент из работы [49]; Б — модель периодического размещения адвективных фракталов III, IV, V и VI размерных порядков вдоль простирания флексуры при увеличении вертикальной мощности разуплотненного слоя в ее смыкающем крыле, обеспечивающем достижение критического числа Рэлея (см. формулу 2); фракталы: III — суперрайоны, IV — поля, V — кусты трубок, VI — трубки; В — модель геодинамики образования метаморфических толщ литосферы щитов и фундамента платформ (в системе II размерного порядка); субдукции и метаморфизма пород слоев 2, 4, 6 с последующим их извлечением из глубины, подобно блок-пластине метаморфических пород (типа зерендинской серии Северного Казахстана) в тылу обдущированного слоя 5 (в системе III размерного порядка): а — математическая модель последовательного развития деформаций слоистой среды при конвекции (ячеистой адвекции) по работе [14], б — слои литосферы, нанесенные на математическую модель; слои древнейшей литосферы континентального (1, 3, 5, 8) и океанического (2, 4, 6, 7) типов: 1, 2 — мантийные, 3, 4 — габбро-базальтоидные, 5 — гранит-метаморфический, 6 — эффузивных базальтов, 7, 8 — осадочные

ной зависимости вязкости и размера поперечника структур подтверждается, если вязкость астеносферы 10^{20} П под окраинными морями, имеющими поперечник и шаг 1000—2000 км, экстраполировать в сторону уменьшения размеров структур, вплоть до кремнекислых экструзивов размером 1—3,5 км, вязкость магм которых 10^{11} — 10^{12} П определена экспериментально в лабораториях и при извержении в 1953 г. вулкана Трайдент на Аляске [28].

Адвективная система с изменяющейся снизу вверх вязкостью в целом имеет фрактальную (древовидную) структуру, в которой на крупной ячейке зарождается серия мелких ячеек, а на каждой из них — серия еще более мелких. По причине волновой природы зарождения поднятий, расстоя-

ния (шаги) между фракталами определенного порядка соизмеримы. Так, расстояния между центрами астеносферных поднятий II размерного порядка составляют 1—2 тыс. км; между ячейками III порядка в верхних слоях астеносферы — 200—350 км; между зарождающимися магматическими очагами (IV порядок) — около 30 км; между камерами (V порядок) — 1—3,5 км; между апофизами, отходящими от камер (VI порядок) — около 0,3 км [2—4]. Из-за возможности внедрения магм по разломам шаг в поднятиях V и VI порядка может существенно искажаться. Коробления твердой пластичной среды мало подвержены влиянию разломов, поэтому шаги систем II, III, IV порядков более выдержаны.

Известно, что под континентальной литосферой астеносфера выражена существенно хуже, чем под океанами или под ячеистыми окраинными морями. Например, под Фенноскандией, где вязкость астеносферы определялась по скорости постледникового восстановления изостазии (Н.А.Хаскелл, 1936; Е.В.Артюшков, 1966), сейсмическими методами она не фиксируется (А.С.Алексеев и др., 1977). Причиной, способствующей зарождению адвекции при плохо выраженной астеносфере, может являться увеличение вертикальной мощности разуплотненного слоя в смыкающем крыле флексуры (см. рис. 1, Б). Т.е. фактически под платформами может существовать не астеносфера, а астенозона или ее части — астенолинзы. Инверсия плотности в относительно малых по мощности слоях существует в метастабильном состоянии, но может приводить к адвекции при флексурных изгибах. В данном аспекте флексура предпочтительнее разлома, т.к. он может обеспечить лишь путь транзита флюида или дегазацию. Вверху смыкающего крыла флексуры в астенолинзах должны скапливаться мигрирующие летучие и щелочные компоненты, способствуя разуплотнению и снижению вязкости. В результате изменения всех трех параметров — разуплотнения, вязкости, а самое главное, мощности, увеличивается число Рэлея, согласно формуле (2), и становится реальным подъем глубинных масс в виде вала, а от него в виде колонн и, в частности, трубок. По мнению А.А.Маракушева, именно флюиды и щелочи способствуют преобразованию перидотитов и эклогитов в кимберлиты [30].

Роль флексур в качестве структурного контроля размещения кимберлитовых трубок ранее отмечалась В.С.Трофимовым, но рассматривалась с позиций образования сопутствующих трещин, благоприятствующих внедрению кимберлитов в Далдынском и Оленёкском алмазоносных районах Якутии [51]. По мнению автора, как важную роль флексур можно проинтерпретировать и замечание В.С.Трофимова о том, что кимберлиты Мало-Ботуобинского района Якутии, трубка Южная в Саянском районе тяготеют к глубинным разломам, но находятся не в самих разломах, а в оперяющих трещинах, в стороне от разлома [51]. Так называемые глубинные разломы обычно выделяются по высокоградиентным зонам батиметрии глубинных слоев Земли, что может отражать не разрыв сплошности среды (разлом) а флексуру.

В отличие от областей Земли с хорошо выраженной астеносферой, где магматические очаги (системы IV порядка) образуют практически непрерывные цепочки, (например, под срединно-океаническими хребтами, островными дугами), в платформенных условиях тектоно-магматическая активизация происходит чаще прерывисто, вероятнее всего, только над положительными фазами волн геодинамических систем III размерного порядка. В этом случае магматические очаги будут занимать лишь отдельные интервалы вдоль поясов флексур или бортов рифтогенов (авлакогенов), подобно тому, как по простиранию Урала существуют интервалы с максимальным проявлением магматической активности и рудообразования с расстоянием между их центрами около 300 км. Такие отрезки длиной до 150 км автор предложил называть суперрайонами [3, 4], в которых сосредоточены максимальные по объему проявления различных разновозрастных магматических и рудных формаций. Аналогично на щитах и платформенных территориях с подобными размерными параметрами присутствуют наряду с кимберлитами разные магматические формации щелочной серии.

Трубки кимберлитовых брекчий весьма часто именуют трубками взрыва. Вместе с тем, геологической структурой, согласующейся с взрывом, является только верхняя часть тела в виде раструба (кратер, маар), а нижняя, трубообразная часть (диатрема) формируется до взрыва. Дело в том, что взрыв — весьма быстрое высвобождение свободной энергии с увеличением объема, образует сферическую волну детонации [38]. Трубка не согласуется с этой волной. Кроме того, на морфологию трубок большое влияние могут оказывать разломы, особенно в нижних частях, где трубки расщепляются на дайки [32]. С волной детонации согласуются круглые и овальные в плане кратеры, где контакты кимберлитов имеют относительно пологие падения [55]. Больше всего морфология трубки отвечает адвекции, что подтверждено тектонофизическими экспериментами (см. рис. 1, А). Адвектирующий насыщенный флюидами материал может быстро выбрасываться из трубки при взрыве в области маара, а потом даже частично осыпаться вниз. Известны случаи наличия обломков пород ниже того стратиграфического уровня, откуда они откололись. Отсутствие взрыва при первоначальном продвижении кимберлитов в трубке признается многими исследователями [9].

Адвекции, которая осуществляется путем пластической деформации с элементами гидроразрыва, способствует ряду обстоятельств. Это, прежде всего, насыщенность среды флюидами, что, согласно эффекту Ребиндера, снижает и без того низкий предел ползучести и прочности горных пород, который, по оценкам М.В.Гзовского [13], составляет около 10 кг/см², а М.А.Гончарова [15], — еще меньше. Как известно [13], в пластической деформации участвуют разные механизмы: перекристаллизация, двойникование, трансляция. Карбонаты, играющие существенную роль в кимберлитах, легко подвержены перекристаллизации и двойникованию. Редко в карбонате сохраняются следы трансляции, создающие картину, подобную флюидальности [21, с. 116]. Наличие серпентина в кимберлитах и вмещающих их породах может существенно снизить эффективную вязкость. Кроме перечисленного, адвекции способствует существенно меньшая плотность кимберлитов (2,68 г/см³ и менее), по сравнению с глубинными вмещающими породами [55]. Именно адвекция, а не взрывная природа трубок, заставляет искать волновые закономерности зарождения и размещения тех магматических камер, от которых поднимаются трубообразные тела брекчий. При наличии разломов над магматическими очагами или камерами может образоваться крупная дайка с отходящими от нее трубками. Из-за меньшей глубины дайки, чем камеры, и меньшей вязкости магм следует ожидать меньшую длину волны — расстояния между трубками.

Кимберлитовые трубки по своим размерным характеристикам и формированию флюидонасыщенными магмами и брекчиями соответствуют адвективным системам VI порядка приведенной уже указанной иерархической схемы. Размеры раструбов естественно превышают обычные усредненные параметры трубок. Ранее трубки были неправильно отнесены автором статьи к системам V порядка [3].

Соотношение адвективных геологических структур (систем) и алмазоносных минерагенических таксонов. В геологии алмазных месторождений используется специфическая схема минерагенической таксономии, имеющая отличия от общепринятой металлогенической, вошедшей в словарь [34]. Сближенная серия трубок рассматривается в качестве куста [9]. Трубки в кусте обладают спецификой

состава, отличающегося от состава трубок другого куста, что дало основание рассматривать их в качестве дериватов одного локального промежуточного магматического очага площадью до первых десятков квадратных километров [22]. Этот очаг, в понимании автора, соответствует камере первичного очага и относится к системам V порядка. По В.И.Ваганову, алмазоносное поле — естественная группировка пространственно сближенных кимберлитовых тел, связанных происхождением с единой вертикальной «стволовой» зоной повышенной проницаемости (флюидно-магматическая колонна). Алмазоносный район — естественная группировка пространственно сближенных кимберлитовых полей, приуроченная к пересечению минерагенической зоны с крупными поперечными поднятыми блоками или зонами глубинных разломов. Алмазоносная минерагеническая зона — линейная структура длиной до 500—600 км и шириной порядка 50 км, активизирующая процессы коро-мантийного энергомассопереноса [9].

Принимая качественную сторону данных определений, можно вместе с тем отметить дискуссионность в их конкретном использовании разными исследователями геологии алмазных месторождений, а также с точки зрения общепринятой металлогенической иерархии. Так, например, одной крупной алмазоносной территорией Зимнего Берега в Архангельской области рассматривается в ранге кимберлитового поля, а ее Золотицкая группа трубок общей протяженностью около 14 км — как куст [9, 45, 39]. Другие исследователи ту же Золотицкую группу рассматривают как кимберлитовое поле в Зимнебережном кимберлитовом районе [44, 55, 26]. В Якутии в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе выделяются два поля — Алакит-Мархинское и Далдынское [55]. Алакит-Мархинское имеет протяженность около 80 км (расстояние между крайними выявленными трубками около 70 км). В.И.Ваганов [9] так же допускает подобные размеры для кимберлитового поля. Вместе с тем он отмечает, что для единой «стволовой» вертикальной зоны, определяющей образование кимберлитового поля размером около 60 км, характерны более низкотемпературные образования в центре территории. Подобное распределение температур с точки зрения поднятия глубинного вещества в виде купола или колонны является противестественным. Кроме того, принятые размеры кимберлитового поля в 2—3 раза превышают обычные размеры магматических очагов, зарождающихся в разных геодинамических обстановках [3, 4]. Это позволяет предполагать, что под таким крупным (до 60 км) алмазоносным полем находится магматическое тело, имеющее несколько (не менее двух) корней, аналогично тому, как под некоторыми лакколитами дунит-клинопироксенит-габбровой формации Платиноносного пояса Урала имеется до трех гипербазитовых ножек (например, под Нижнетагильским массивом). Иначе говоря, верхние части лакколитов при адвекции магм могут сливаться на верхних гипсометрических уровнях, образуя единый плутон, соответствующий рудному району, объединяющему серию узлов (полей). Если рудоносные магматический очаг и надочаговое пространство, представляющие магматогенно-рудный узел, не расчленяются наложенной тектоникой на частные, в т.ч. нерудоносные блоки, то рудный узел обычно рассматривается как крупное рудное поле [24, 3].

Следовательно, минерагеническая иерархия и таксономия, которой придерживался ранее С.М.Саблуков и его единомышленники [44, 55], представляется более пред-

почтительной с двух точек зрения: 1) идентичности общей металлогенической таксономии; 2) с позиций адвективной геодинамики, при которой подъем твердых глубинных масс приводит к обстановке декомпрессии, а далее и к зарождению магматических очагов с поперечником обычно не более 30 км [3]. В том случае, когда районы включают большое количество полей (узлов), притом весьма продуктивных, их правомерно рассматривать в ранге суперрайонов. В дальнейшем Далдыно-Алакитскую, Зимнебережную группу кимберлитовых и родственных им тел мы будем называть суперрайонами. Дискуссия в наименовании алмазоносных таксонов может быть частично преодолена, если, как и в металлогенической таксономии [34], провести разделение таксонов, имеющих изометричную и существенно вытянутую форму. Например, в отличие от кустов изометричной конфигурации, Золотицкую группу можно называть зоной или грядой трубок. Им соответствует выделенное месторождение им.Ломоносова.

Периодическое размещение кустов кимберлитовых тел (трубок). Выявление периодичности размещения и закономерного расстояния между адвективными системами сталкивается с проблемой определения позиции центра системы, т.е. критерия, по которому он может быть определен. На примере магматогенно-рудных узлов опыт показал, что простое нахождение центра по статистическому барицентрическому принципу распределения месторождений дает лишь приблизительную позицию, а отсюда и весьма большую дисперсию величины шага. Уточнение позиции центра по максимальному проявлению наиболее основных по составу магматических тел в вулcano-интрузивной ассоциации значительно уменьшает дисперсию величины шага [3].

На данном этапе исследований применительно к алмазной минерагении мы не имеем четко выраженного критерия для определения точной позиции центра системы, объединяющей либо серию трубок (куст), либо серию кустов (поле, узел), либо серию полей или узлов (суперрайон). По этой причине центр в данной работе намечается визуально по центру группы (серии) образований с учетом того, что такие группы, по-видимому, обусловлены положительными фазами адвективных волн. Там, где имеется лишь одна кимберлитовая трубка, но может располагаться куст, за центр условно принимается позиция этой трубки. Более того, сами трубки бывают вытянутыми, а геометрический центр раструба нередко находится не над питающим корнем. Хотя измерения расстояний между кажущимися центрами кустов мы проводили на картах с точностью 0,1—0,3 км, реальная точность может составлять около 1 км. Однако среднестатистический шаг между центрами кустов, вероятно, дает представление о длине адвективной волны, определяющей расстояния между камерами в магматическом очаге. Такое определение шага показано для кустов трубок в Далдыно-Алакитском суперрайоне, где шаг составляет в среднем немногим более 3 км (рис. 2).

Гораздо сложнее наметить позицию камер магматических очагов и соответствующих им кустов трубок в Зимнебережном суперрайоне (рис. 3). Здесь четко проявлен контроль ряда групп трубок разломами, особенно близмеридионального простирания. Так, в Золотицкой группе трубки имеют общую вытянутость в этом направлении (трубки Пионерская, Кольцовская, Белая, Поморская) и, кроме того, от некоторых трубок отходят апофизы вдоль контролирующего разлома (трубки Снегурочка, Архангельская, Карпинского I,

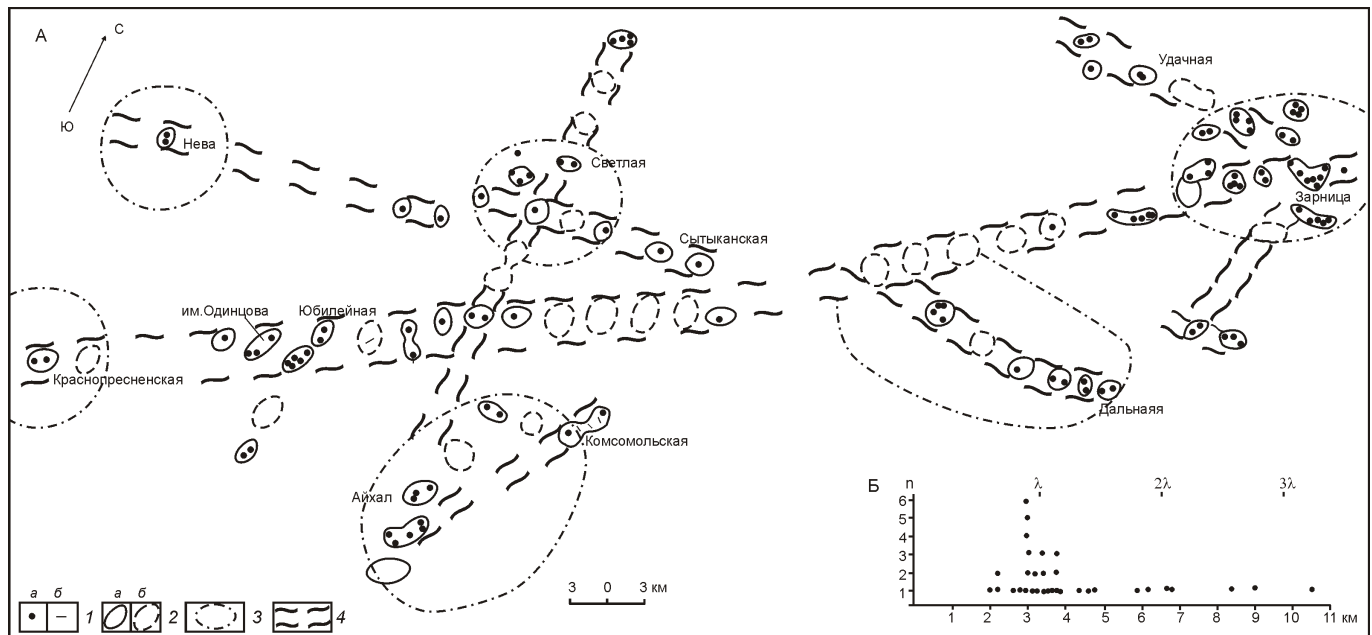


Рис. 2. Размещение кустов кимберлитовых трубок в Далдыно-Алаakitском суперрайоне Якутии (А); периодичность кустов, число наблюдений расстояний между их центрами (Б). Схема составлена с использованием материалов [22, 55]:

1 — кимберлитовые трубки (а) и дайки (б); 2 — кусты кимберлитовых трубок и предполагаемые проекции камер кимберлитового очага (а), прогнозируемые кусты (б); 3 — предполагаемая проекция центральной области кимберлитового очага; 4 — линейные зоны пластических и разрывных деформаций, благоприятные для подъема кимберлитовых масс; — размер шага (длина адвективной волны)

Карпинского II, Первомайская) [1]. Можно предполагать, что в верхней части магматического очага существовало близмеридиональное валообразное поднятие с кимберлитами или крупная дайка, т.к. в Золотицкой группе (зоне, гряде) фиксируется периодическое чередование трубок через расстояние около 2 км. Расстояния (шаги) в одном ряду между центрами трубок составляют: Снегурочка — 1,85 км — Архангельская — 1,5 км — Карпинского I и II — 2,7 км — Пионерская — 2,6 км — Поморская.

Сходный шаг или кратное ему расстояние наблюдаются в Кепинской группе трубок в близмеридиональном направлении: трубка 840 — 2 км — трубка 697 — 4,2 км — трубка 688 (Степная). По аналогии со сближенными трубками Карпинского I и II (малым кустом, или кластером), в промежутке между трубками №697 и №688, на соединяющей их линии на расстоянии 2—2,2 км к юго-юго-западу от №688 можно ожидать присутствие малого куста (включающего и трубку №695). Далее в направлении трубки Горелая можно ожидать серию кустов через характерный шаг около 2 км. В другой линейной близмеридиональной группе трубок расстояния между ними или их очень сближенными кластерами (малыми кустами) составляют: Ключевая — 4 км — кластер трубок (трубка 494а Звездочка) — 8,5 км — Русалка; Осетинская — 2,6 — Волчья. Интервалы между трубками в 4 и 8,5 км могут отражать 2 и 4 шага.

К иному типу относится гряда трубок близширотного простирания к востоку от трубки Поморская. Среди всех трубок лишь Октябрьская имеет слабо выраженное удлинение в данном направлении, а остальные изометричны (Шочинские, Русалка, Победа) [1]. Данная особенность трубок не дает основания для выделения разлома, но может указывать на адвекцию от близширотного адвективного вала в верхней части магматического очага. Расстояния

между трубками в Золотицком узле: Поморская — 6 км — Шочинские трубки; в Кепинском узле: Октябрьская — 7 км — Русалка — 4,3 км — Победа — 3,6 км — Горелая; в узле им.Гриба: трубка им.Гриба — 6 км — Осетинская. Если расстояния в 6 и 7 км составляют по 2 шага, то, с учетом дисперсии, шаги составляют 3—4 км и сопоставимы с расстояниями между кустами трубок в Далдыно-Алаakitском районе (см. рис. 2).

Расстояния между трубками в 2 шага и более могут иметь разные причины. Над магматической камерой может образоваться лишь одна трубка, или вообще ни одной. Наблюдаемое явление может быть связано и с недостаточной опискованностью территории, на основании чего намечены теоретически возможные позиции невыявленных кустов или трубок, исходя из представления о волновой периодичности появления магматических камер в апикальной части очага или над линейной зоной (флексурой), благоприятных для ячеистой адвекции. Такие позиции показаны даже там (например, на юго-западной периферии Далдынского района), где, судя по отсутствию траппов, перекрывающих трубки, и относительно хорошей опискованности (устное сообщение В.И.Ваганова) весьма мала вероятность обнаружения новых трубок. Однако здесь нельзя исключить присутствие трубок типа трубки им. Одинцова в Алаakit-Мархинском районе, которая не выходила на поверхность.

Фактор периодического размещения кустов кимберлитовых трубок, как отражения волновой закономерности появления камер в питающем магматическом очаге, может представлять одну из важных характеристик прогнозно-поисковой модели куста, разработке которой, как отмечает В.И.Ваганов, «уделялось явно недостаточно внимания» [9].

На схемах Далдыно-Алаakitского и Зимнебережного суперрайонов нами намечены возможные позиции центров или контуров магматогенных узлов (надочаговых областей), отражающих адвективные системы IV порядка (см. рисунки 2, 3, 4). Основанием к их выделению служили 3 нечетко проявленных фактора: 1) сгущения трубок и кустов; 2) сочетание различных относительно мелких линейных элементов, которые могут проявляться как радиальные системы разрывов над очагами; 3) общая для многих магматогенных систем длина адвективной волны (около 30 км), определяющая зарождение очагов [2, 3]. Намеченные таким образом узлы на терри-

тории Зимнебережного суперрайона оказались сгруппированными в полосах трех направлений, образующих правильную гексагональную решетку. Возможно, что эта решетка соответствует той, которая упоминалась в цитате из работы [25]. Она может отражать три направления линейных волн, интерференция которых приводит к развитию ячеистых магматических очагов. Узлы 12—17, без наличия выявленных в них трубок, на схеме (см. рис. 4) намечены как прогнозные, исходя из волновой концепции. Учитывая наличие Керещкого грабена северо-западного простирания с повышенной мощностью толщ платформенного чехла [1, 11] и их

погружением к востоку-юго-востоку, а также общую зональность состава магматитов в суперрайоне, узлы 16 и 17 представляются наименее перспективными. Погружение толщ к востоку частично может быть связано с флексурой, занимающей позицию, аналогичную выделенной в работе [11] Мегра-Кеппинской зоны глубинных разломов меридионального простирания. Эта зона или флексура могут отражать западный борт грабена, определяющего развитие кимберлитов в его плече, и опущенной (собственно рифтогенной) его части с базальтами, где размещены узлы 6, 7, 8, 10, 11.

Периодическое размещение суперрайонов с алмазными и иными проявлениями щелочного магматизма в минерогенических поясах. Ранее было показано, что развитие магматизма в суперрайонах охватывает весьма большой интервал времени и приводит к образованию разных магматических формаций [4]. Это в значительной степени определяется тем, что длительность одинаковых фаз адвекции увеличивается на два порядка, т.е. в 100 раз, при увеличении размера системы на один порядок [3, 4]. Поэтому в суперрайоны могут попадать магматические ассоциации и месторождения разных формаций, что, разумеется, не исключает возможности анализа периодических «вспышек» проявления какого-либо одного полезного ископаемого, связанного с магматизмом или иным проявлением адвекции. Подобное же

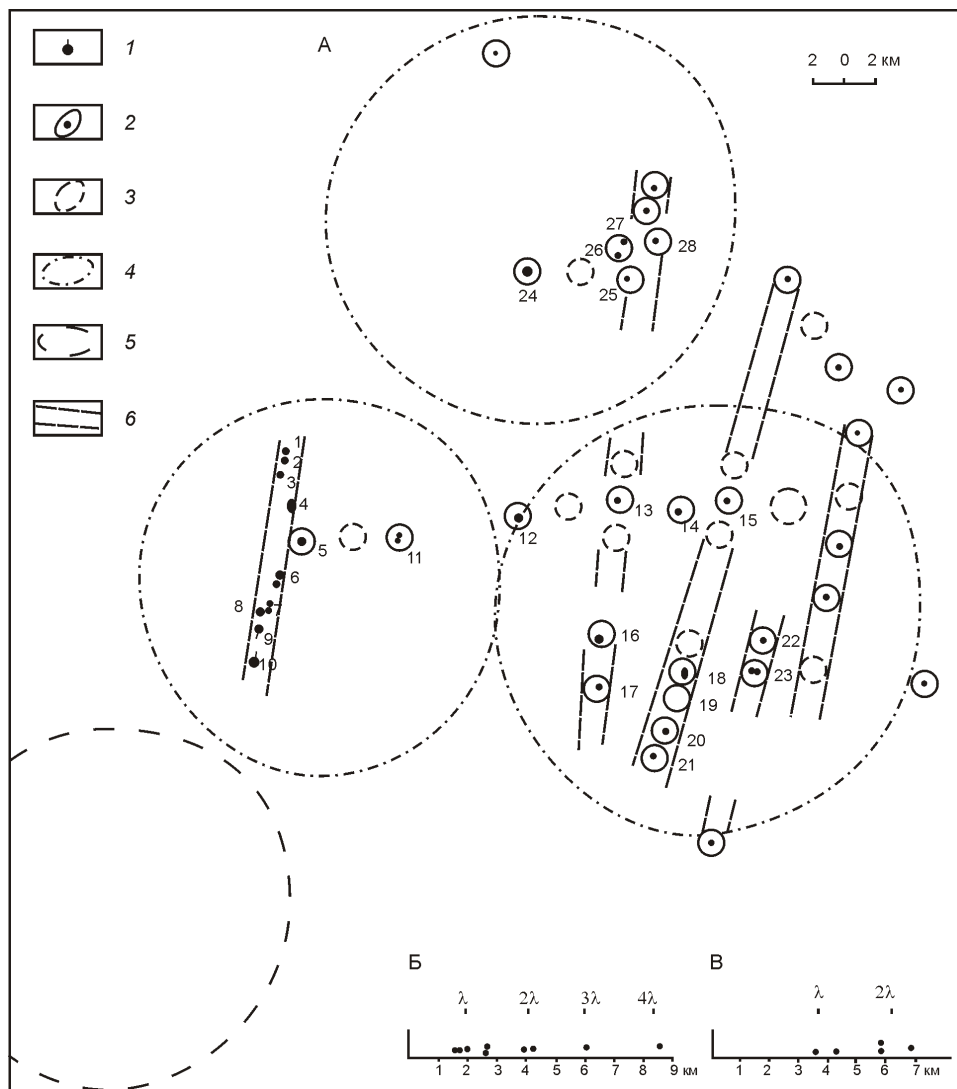


Рис. 3. Размещение кустов и трубок кимберлитов в Зимнебережном алмазоносном районе (А); периодичность кустов, число наблюдений расстояний между их центрами в зонах близмеридионального (Б) и близширотного (В) простирания. Схема составлена с использованием материалов [1, 26]:

1 — трубки кимберлитов и родственных им пород; 2 — кусты трубок и предполагаемые проекции камер магматического очага; 3 — прогнозируемые кусты; 4 — предполагаемые контуры магматогенных узлов и контролирующих их очагов с выявленными трубками; 5 — контур прогнозируемого узла; 6 — разломные и флексурные зоны, влияющие на адвекцию кимберлитов в виде трубок и даек; — размер шага (длина адвективной волны); трубки, их номера: 1 — Первомайская, 2 — Белая, 3 — Кольцовская, 4 — Ломоносовская, 5 — Поморская, 6 — Пионерская, 7 — Карпинского I, 8 — Карпинского II, 9 — Архангельская, 10 — Снегурочка, 11 — Шочинские, 12 — Октябрьская, 13 — Русалка (495), 14 — Победа (406), 15 — Горелая, 16 — Юраская (494 Звездочка), 17 — Ключевая, 18 — Степная (688), 19 — 693, 20 — 697, 21 — 840, 22 — 695, 23 — 687, 24 — им.Гриба, 25 — Осетинская, 26 — Майская, 27 — Волчья, 28 — Верхотина

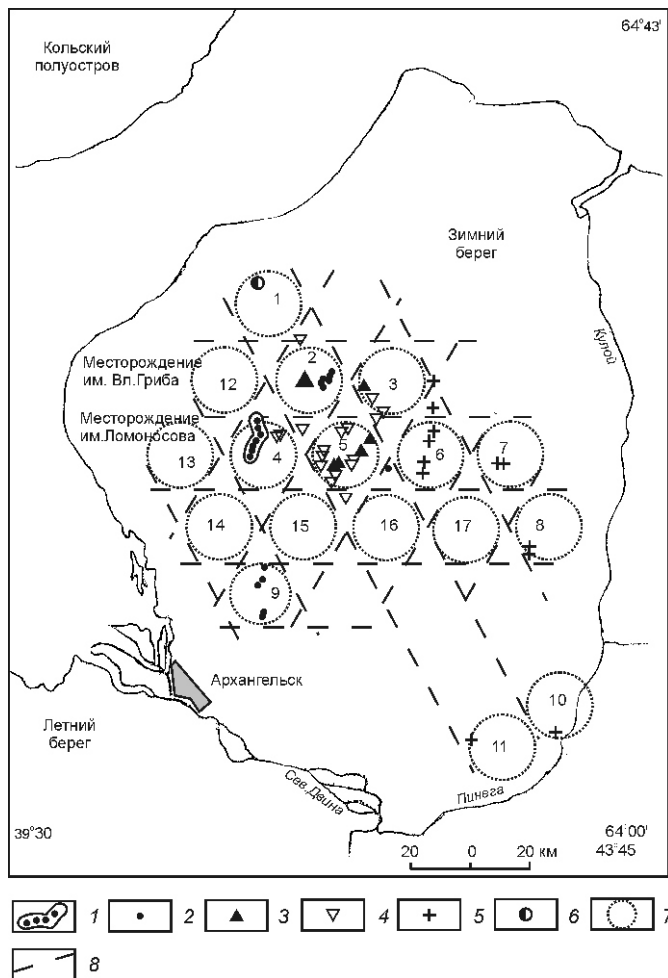


Рис. 4. Магматические проявления и их узлы на территории Зимнего Берега. Схема составлена с использованием материалов [1, 45]:

магматические проявления: глиноземистой серии: 1 — кимберлиты, 2 — киммелилититы и мелилититы; железо-тинанистой серии: 3 — кимберлиты, 4 — кимпикриты и пикриты; 5 — базальты; 6 — карбонатиты и кимберлиты; 7 — предполагаемые контуры магматических узлов (проекций магматических очагов), в т. ч.: 1 — Мельский, 2 — им.Гриба, 4 — Золотицкий, 5 — Кепинский, 9 — Ижможерский; 8 — предполагаемые проекции отрицательных фаз глубинных волн в гравитационно неустойчивой среде

касается и анализа разной продуктивности минерагенической зоны или пояса по простиранию. Как уже упоминалось, В.И.Ваганов отмечает приуроченность алмазоносных районов к крупным поперечным поднятиям в пределах минерагенических зон, которые, по мнению автора, могут совпадать с положительными фазами адвективных волн III порядка.

Приуроченность алмазоносных полей и районов к вытянутым полосам, рассматриваемым в ранге минерагенических зон, отмечалась многими. Природа таких полос трактуется по-разному. Определяют данные полосы как рифтогены, или используют для их обозначения термин авлакоген как особую разновидность узких платформенных впадин с повышенной тектонической активностью. Ю.А.Дукардтом и Е.И.Борисом «на основе изучения тектонических закономерностей размещения кимберлитов всех из-

вестных геологических возрастов на всех платформах мира... было установлено общее эмпирическое правило: алмазоносные кимберлиты внутри авлакогенов не встречаются, но располагаются по их перифериям» [18, с. 30]. Эти «периферии» вслед за Б.Р.Шпунтом [57] именуется областями динамического влияния авлакогенов.

Вывод: «в пределах авлакогенов над сводом мантийного выступа... нет места для кимберлитовых магм» [17, с. 33] может указывать на то, что зарождение кимберлитового магматизма (а точнее вулканизма) не связано напрямую с повышенным тепловым потоком над мантийным валом, как это происходит в срединно-океанических хребтах. Иначе говоря, периферические части авлакогенов не связаны прямо с напорным воздействием мантийных нагретых масс снизу по механизму активного рифтогенеза, а имеют, вероятнее всего, иную природу. Об этом свидетельствуют и особенности кимберлитового магматизма, не обладающего значительной тепловой энергией. На это может указывать отсутствие сопутствующих кремнекислых магм, которые могли бы выплавляться из сиэля литосферы, и обилие неоплавленных обломков чуждых пород, вопреки тем, которые наблюдаются в палящих тучах вулканов. Поэтому относительно «холодный» кимберлитовый магматизм сохраняет алмазы вне зависимости от скорости подъема кимберлитов. Выражаясь фигурально, кимберлитовый процесс имеет промежуточную сущность между магматогенным и глубинным «грязевым» вулканизмом. Таким образом, существующая точка зрения о главной транспортирующей, а не алмазообразующей, роли кимберлитов, представляется с общих позиций наиболее предпочтительной, Однако это не исключает необходимости петрологического анализа всех составляющих кимберлитов как свидетелей условий образования и преобразования протолита и алмаза, определения глубинных уровней, откуда поступает главная их масса.

Ю.А.Дукардт и Е.И.Борис [17] предполагают, что благоприятные условия для кимберлитовых магм могут быть над склонами мантийного выступа по периферии авлакогенов. Суть этих условий дискуссионна. Одни исследователи рассматривают эти условия как благоприятные для формирования разломов — путей движения магмы в обстановке растяжения [18] или сжатия [17]. Несколько сходную концепцию предлагает А.С.Барышев [6], но с позиций размещения блоков, обладающих пониженной условной свободной поверхностью мантии, считая, что в этих блоках существует обстановка сжатия литосферы. В.И.Ваганов, считая Виллойско-Мархинскую систему разломов главной структурой, контролирующей размещение Мирнинского и Накынского полей, отмечает здесь же наличие флексуры шириной от 18 до 26 км и узких грабенов в борту Виллойско-Патомского авлакогена. Вместе с тем он пишет, что залегание даек долеритов не согласуется с общим простиранием как Виллойско-Мархинской, так и Алакит-Оленёкской зон [10]. Иначе говоря, нет достаточных оснований для того, чтобы считать данные крупные разломы контролирующими магматизм в целом, а не частные трубки.

Все упомянутые концепции не противоречат, с точки зрения автора, главному фактору: наклону (флекуре?) глубинных толщ, увеличивающему их вертикальную мощность. Если в такую обстановку попадут разуплотненные, например, ранее субдуцированные осадочные толщи или серпентинизированные гипербазиты, (даже с включения-

ми плотных эклогитов), то увеличение их вертикальной мощности в смыкающем крыле флексуры (см. рис. 1, Б) может обеспечить достижение критического числа Рэлея согласно формуле (2). Конкретное изменение мощности остается неизвестным. На то, что такие изменения могут быть, указывает рельеф поверхности Мохоровичича, минимальные мощности консолидированной коры в полосах вдоль линий Накынско-Мирнинской, Чадобецко-Далдынско-Оленёкской и к северо-западу от них [18].

Рассмотрим более узкие зоны, вдоль которых установлены или могут прогнозироваться кимберлитовые и родственные им районы и поля. В связи со сложностью точной характеристики тектонической структуры зон будем именовать их линеаменами, т.е. относительно узкими зонами проявления тех или иных структур. Они же соответствуют минерагеническим зонам или поясам.

На Сибирской платформе среди прочих выделена весьма крупная Далдыно-Оленёкская зона с кимберлитами палеозойского и мезозойского возрастов [55]. При этом ее

северо-восточная часть отнесена к Анабаро-Оленёкской, а юго-западная — к Вилюйской кимберлитовым областям (субпровинциям). Расположение кимберлитовых полей в них показано на рис. 5. Объединение алмазоносных полей и районов в более крупные таксоны — суперрайоны (минерагенические области) как системы III порядка не имеет строго определенного критерия. Оно преимущественно опирается на волновые закономерности проявления адвекции с характерной для систем III порядка длиной адвективной волны около 300 км, если системы имеют мантийное заложение [3, 4]. Хотя Мирнинская и Накынская группы кимберлитов относятся к полям, а не суперрайонам, но расстояние между ними составляет приблизительно 300 км, и это дает право пока условно считать их возможными центрами суперрайонов (областей). Попробуем, используя такое расстояние (шаг), наметить центры суперрайонов в Далдыно-Оленёкском и Накынско-Мирнинском линеаменатах, и так же на их продолжении, где среднепалеозойские кимберлиты, если они прису-

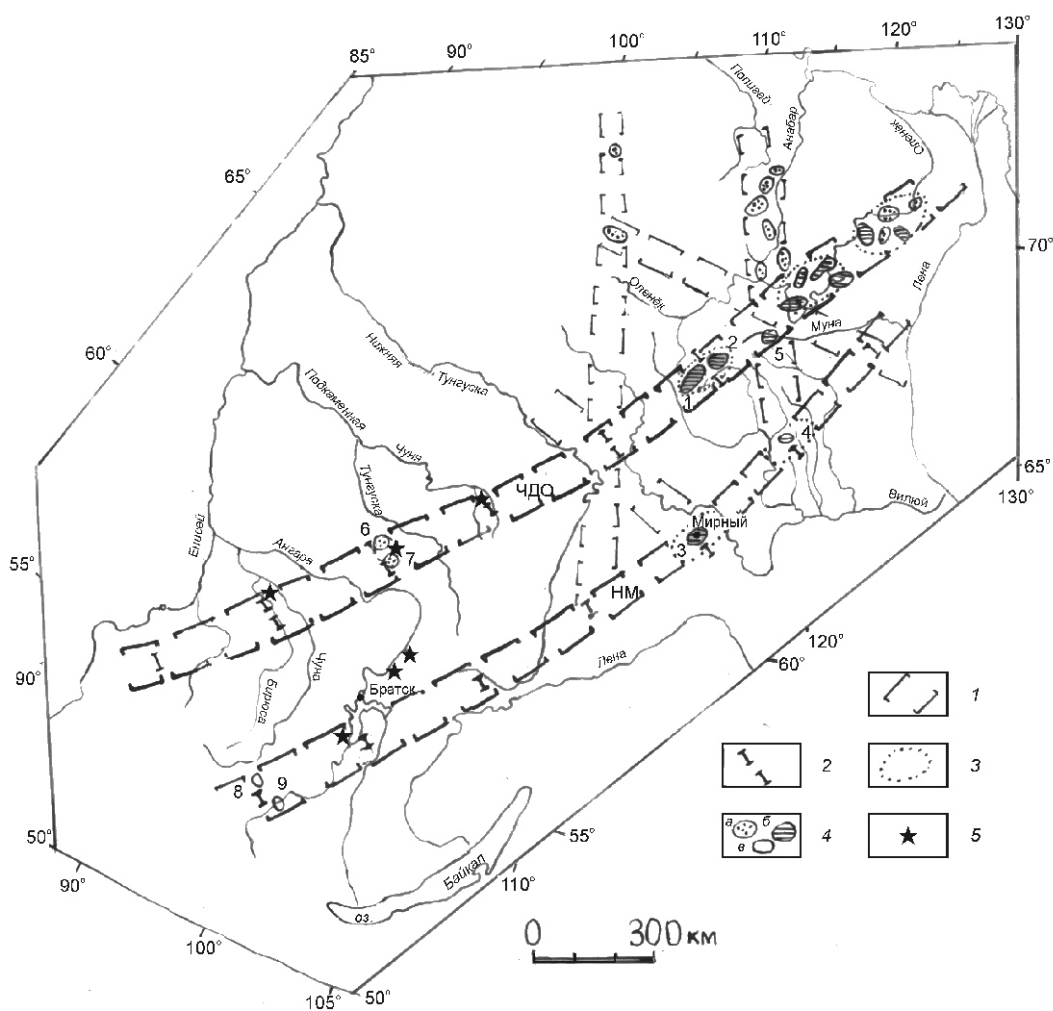


Рис. 5. Позиция алмазоносных суперрайонов в линеаменатах Восточно-Сибирской провинции и предпосылки к локализации иных районов с алмазоносными структурами и магматизмом. Схема составлена с использованием материалов [6, 46, 55]:

1 — контуры линеаментов, определяющих минерагенические зоны (пояса): ЧДО — Чадобецко-Далдыно-Оленекского, НМ — Накынско-Мирнинского; 2 — ожидаемые максимумы положительных фаз волновых короблений литосферы вдоль линеамента, обеспечивающих максимальную возможность развития магматизма в минерагенических областях (суперрайонах) при длине волны 300 км; 3 — приблизительные контуры суперрайонов; 4 — контуры алмазоносных районов и полей с кимберлитами и родственными породами: а — мезозойского, б — палеозойского, в — допалеозойского возрастов: 1 — Алакит-Мархинского, 2 — Далдынского, 3 — Мирнинского, 4 — Накынского, 5 — Мунского, 6 — Тайчикуно-Нембинского, 7 — Чадобецкого, 8 — Белозиминского, 9 — Окинско-го; 5 — присутствие алмазов в аллювии

тствуют, будут перекрыты молодыми толщами, и где можно встретить мезозойские проявления.

На втором и четвертом шагах к юго-западу от Далдыно-Алакитского суперрайона расположены площади, где по данным работы [46] имеются алмазы в аллювии (соответственно район верховьев рек Северная и Южная Чуны, Северная и Южная Таймура; район рек Чуна, Бирюса). На третий шаг попадает район с полями Тайчикуно-Нембинским и Чадобецким, где выявлены трубки мезозойских кимберлитов [55]. Это позволяет прогнозировать алмазные минерагенические области к юго-западу от Далдыно-Алакитского суперрайона.

Таким же образом, трассируя Накынско-Мирнинский линеамент на юго-запад, параллельно «байкальскому» направлению, через четыре шага окажемся в группе, объединяющей Белозиминское и Окинское поля. На расстоянии в 3 шага от Мирнинского поля, к югу от Братского водохранилища присутствуют алмазы в аллювии [46]. Судя по тому, что расстояние между Чадобецко-Далдыно-Оленёвским и Накынско-Мирнинским линеаментами сходно с расстояниями между суперрайонами, можно ожидать, что в глубинах литосферы Якутской провинции существуют линейные волновые осложнения, определяющие позицию линеаментов, в т.ч. и иных направлений, чем уже рассмотрено.

Проведем подобные экстраполяции от суперрайона Зимнего Берега сначала вдоль известного Кандалакшско-Двинского авлакогена и далее за его пределы. Упомянутый авлакоген фиксируется по рифейским толщам и претерпел активизацию в среднем палеозое [39]. В 300 км к северо-западу от суперрайона Зимнего Берега расположен район Терского Берега с кимберлитами и родственными им щелочными и щелочно-ультраосновными породами, залегающими в частности в виде трубок [43, 29]. Трассирование Кандалакшско-Двинского авлакогена (или соответствующего ему линеамента проблематичной природы) к юго-востоку встречает трудности. Структурная унаследованность авлакогена в более молодых толщах отражается к юго-востоку от Зимнего Берега простираемостью долин низких порядков крупных рек Северная Двина, Вашка. Долины высоких порядков, которые согласно принципам морфоструктурного анализа отражают молодые тектонические структуры, в верхнем течении указанных рек не подчиняются юго-восточному направлению, т.е. прямые факты продолжения Кандалакшско-Двинского авлакогена к юго-востоку отсутствуют. Есть ли косвенные факты тектонической или магматической активизации на территории, если протрассировать линеамент к юго-востоку? Искать следы линеамента логичнее всего на возможных глубинных волновых всплесках с шагом около 300 км. Наметив максимумы положительных фаз волн, где наиболее вероятно адвекция глубинного вещества и связанный с ней магматизм, следует искать признаки их проявления (рис. 6). Такие признаки в виде минералов-спутников алмазов (пиропы, хромшпинелиды, пикроильменит, перовскит) отмечены вблизи максимумов волн в районе Котласа в отложениях нижнего триаса, бассейне р.Сысола и ее притоков в основании среднеюрской толщи песчаников и в аллювии, в верховьях Верхней Камы и ее притоков [48, 50]. Максимум пятой (от Зимнего Берега) волны попал на Зауралье, где признаки пород, образовавшихся на большой глубине, отсутствуют. Однако следует иметь в виду, что все структуры Урала смещены к западу по шарьяжной по-

верхности Главного Уральского разлома [3]. С учетом этого может найти объяснение одна из загадочных особенностей Урала — присутствие в Вишневых и Ильменских горах миаскит-карбонатитовой формации [27], не свойственной остальной части территории Урала. Данный «неуральский» магматизм может быть связан с развитием юго-восточного продолжения Кандалакшско-Двинского или Тиманского линеаментов. Характерно, что именно на географической широте этого сочетания извлечены из глубин наиболее древние на Урале толщи гранулитов, залегающие сейчас в Тараташском аллохтоне. Далее к юго-востоку еще через одну волну мы попадаем в район Кокчетавского блока с древними метаморфическими толщами, вмещающими Кумдыкольское месторождение алмазов.

Рассмотрение в единой линеаментной системе таких разнородных структур, как алмазоносные образования Зимнего Берега и Кокчетавского массива, может показаться абсурдной затеей. С одной стороны, что может быть общего между платформенным магматизмом позднего девона района Зимнего Берега, а с другой, — метаморфическими толщами кембрия—ордовика и более молодого возраста в покровно-складчатой структуре, дугообразно обрамляющей с севера ячеистую Тенгизскую депрессию? Тем более что в ордовике—раннем силуре эти территории были разобщены спрединговым Уральским бассейном, закрывшимся в позднем палеозое! Однако несколько похожая ситуация имеет место, если трассировать Накынско-Мирнинский линеамент, контролирующий платформенный кимберлитовый магматизм D_3-C_1 , далее к юго-западу. В результате попадем в алмазоносные протерозойские толщи, входящие в покровно-складчатую структуру Алтае-Саянской дугообразной складчатой зоны, обрамляющей крупную задуговую ячеистую депрессию.

Это и многое другое заставляет обратиться к системному рассмотрению ряда смежных проблем геологии алмазов, обсуждение которых может пролить свет на возникшие неясные вопросы и способствовать совершенствованию прогнозно-поисковых и иных моделей алмазоносных систем. Рассмотрение может снять остроту противоречий в дискуссионных положениях, выдвигаемых разными исследователями. К наиболее общим проблемам относятся: природа глубинных алмазоносных толщ Земли; фактор времени в образовании и транспорте алмазоносной среды; типы геолого-структурных форм, в которых транспортируется алмазоносная среда в зависимости от размеров среды и глубины транспорта. Данные проблемы, в целом определяющие геодинамический аспект геологии алмазов, содержат более частные, но не менее важные и весьма дискуссионные проблемы, касающиеся собственно месторождений. Комплексно рассмотреть упомянутые проблемы побуждает и оправдавшая себя на практике концепция Ф.В.Каминского о связи месторождений алмазов с различными геологическими образованиями.

Геодинамическая сущность структуры фундамента древних платформ, щитов и природы алмазоносного протолита. Один из главных мотивов рассмотрения данной проблемы — эмпирическое правило Клиффорда [58] о приуроченности алмазоносных кимберлитов только к кратонам с возрастом консолидации 1,5 млрд.лет. Правило таит в себе глубокое тектоно-временное содержание и может быть выражено как одно из обязательных условий образования алмазоносного протолита — весьма длительное (!) пребывание метаморфических толщ на большой глуби-

не в относительно стабильных (платформенных) условиях. В фанерозое этот протолит мог попадать в различные геодинамические обстановки, обеспечивающие его извлечение из глубины в разных геолого-структурных формах. При этом, как отмечает Д. Даусон, важным фактором локализации кимберлитов является их приуроченность к линейным зонам тектонической активизации, наложенной на древнее основание [59].

Формирование литосферы щитов и фундамента древних платформ в современных геодинамических концепциях связывают с аккрецией из микроконтинентов. Такой моделью представляется земная кора Якутской алмазонасной провинции как мозаики палеопротерозойских гранулит-гнейсовых и гранит-зеленокаменных террейнов, на которых залегают складчатые пояса вулканогенно-осадочных толщ [42].

Возраст наиболее древних микроконтинентов оценивается в 3,4—3,1 млрд. лет, гранитообразование 2,8—2,9, эклогиты 2,0, гранулитовый метаморфизм, мигматиты 1,8—1,9 млрд. лет. Считается, что кристаллизация перидотитов и алмазов в мантии происходила 3,5—3,1 млрд. лет назад. Метаморфизм связывается с коллизией [42].

В отношении древнего, в частности архейского, метаморфизма В.В. Ревердатто и В.С. Шеплев отмечают: «Тектонические и геодинамические причины метаморфизма пород, слагающих древние щиты, неясны и дискуссионны; также неясны способы образования самой архейско-протерозойской коры континентов. Однако представляется возможным утверждать, что тектоническая и магматическая активность в архее и раннем протерозое существенно отличалась от фанерозойской. Прежде всего, нереальной кажется субдукция при столкновении плит на этом раннем этапе эволюции Земли...» [41, с. 1684—1685]. Вместе с тем постархейские глаукофановые сланцы и эклогиты упомянутыми исследователями считаются свидетелями древних зон субдукции. Гранулитовые и мигматит-гнейсовые образования щитов рассматриваются как результат докембрийского полиметаморфизма [41]. Не вдаваясь в обзор обширной литературы по затронутой проблеме, важно подчеркнуть главное — очень древний и неоднократный метаморфизм пород фундамента платформ и роль при этом субдукции и коллизии. Однако субдукцию и коллизии, по мнению автора, следует рассматривать не по модели тектоники плит, а как краевые эффекты глубинного ячеистого диапиризма, который происходил и в докембрии, и в фанерозое [3, 5]. В частности, В.Е. Хаин и Н.А. Божко отмечали наличие в раннем протерозое гексагональных ячеек поперечником порядка 1 000 км, характеризующихся тектоно-термальной переработкой толщ и обрамляемых зеленокаменными энсиалически-

континентами. Однако субдукцию и коллизии, по мнению автора, следует рассматривать не по модели тектоники плит, а как краевые эффекты глубинного ячеистого диапиризма, который происходил и в докембрии, и в фанерозое [3, 5]. В частности, В.Е. Хаин и Н.А. Божко отмечали наличие в раннем протерозое гексагональных ячеек поперечником порядка 1 000 км, характеризующихся тектоно-термальной переработкой толщ и обрамляемых зеленокаменными энсиалически-

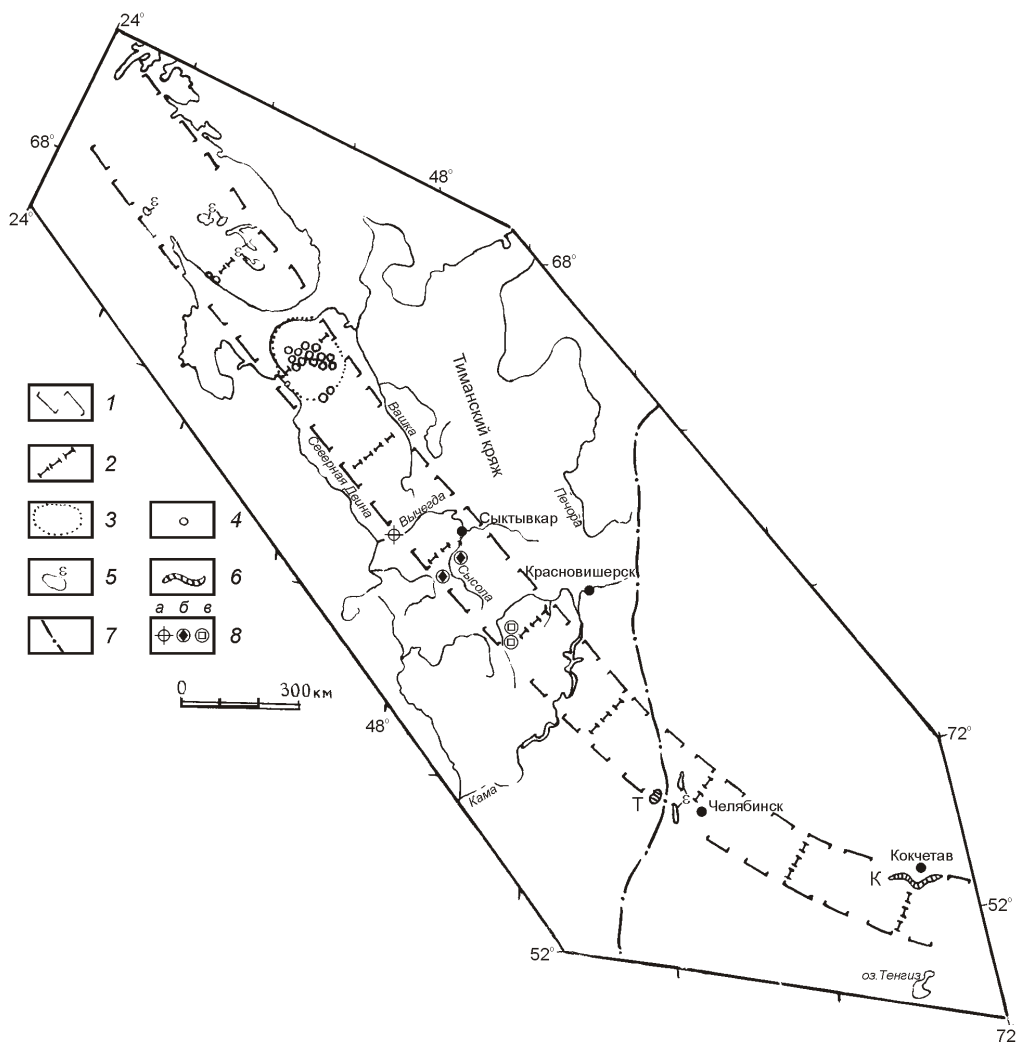


Рис. 6. Позиция алмазонасного суперрайона Зимнего Берега в Кандалакша-Кокчетавском линейменте и предпосылки к локализации иных районов с алмазонасными структурами и ультращелочным магматизмом. Схема составлена с использованием материалов [1, 16, 26]:

1 — контуры Кандалакша-Кокчетавского линеймента; 2 — ожидаемые максимумы положительных фаз волновых короблений литосферы вдоль линеймента, обеспечивающие максимальную возможность развития магматизма в минерагенических областях (суперрайонах) при длине волны 300 км; 3 — приблизительные контуры суперрайона Зимнего Берега; 4 — узлы (надочаговые структуры) кимберлитового и родственного ему магматизма; 5 — массивы сиенитовой и карбонатит-миаскитовой формаций; 6 — блоки древнейших метаморфических пород (К — Кумдыкольский, Т — Тараташский); 7 — Главный Уральский разлом; 8 — находки минералов-спутников алмазов в отложениях: а — нижнего триаса, б — средней юры, в — четвертичного аллювия

ми и энсиматическими поясами [54].

Геодинамическая сущность краевого эффекта при ячеистом глубинном диапиризме (адвекции) состоит в формировании S-образной (в вертикальном сечении) зоны, нижняя часть которой отвечает центростремительной субдукции, а верхняя — центробежной обдукции (см. рис. 1, В) [3, 5]. Наглядная модель ячеистой адвекции — грибообразное облако при атомном взрыве с затягиванием, подведенных (субдукцией) масс от периферии к центру под растапливающимся «грибом». При геологическом процессе подъеме глубинных масс в центре ячеи приводит к деструкции расположенной выше земной коры, оттоку сиала к периферии, подобно глубинному покрову пеннинского типа, что соответствует модели образования «срединных массивов» по А.В.Пейве [36], а в тектонике плит рассматривается как коллизия. Одновременно с этим процессом внизу возникает подток глубинных масс к центру ячеи, под обдукционную часть S-образной зоны. Это соответствует модели субдукции по А.Амштутцу, предложившему данный термин применительно к геологии Альп. Субдукция осуществляется в виде лежащей сжатой (вплоть до изоклиальной) синклинали, а не плиты. В смыкающем крыле S-образной зоны толщи находятся в перевернутом виде.

Признавая специфичность метаморфизма пород отдельных блоков докембрийских толщ, вместе с тем нет достаточных оснований к противопоставлению геодинамического (не временного!) аспекта метаморфизма древнейших, в том числе архейских толщ фанерозойским условиям. Основанием к такому заключению служит отсутствие принципиальных отличий в главных факторах тектогенеза — гравитационных, ротационных силах и в вязкости верхних слоев Земли в геологической истории. Подтверждением того же служит тезис В.И.Смирнова о принципиальном консерватизме эндогенной металлогении, в частности образования колчеданных месторождений.

Основным процессом, приводящим к региональному динамотермальному метаморфизму пород с развитием кристаллизационной сланцеватости, является пластическое течение вещества в обдукционной антиклинали и субдукционной синклинали [5]. При дальнейшем развитии процесса поднимающиеся массы центральной части ячеи, очевидно, блокируют зону субдукции, часть которой извлекается из глубины (см. рис. 1, В), формируя зоны зеленосланцевых и амфиболитовых толщ. Такие зоны сопровождаются гранитоидами натровой серии, или соответствующими им чарнокитами и эндербитами. В неизвлеченной части зоны субдукции, оставшейся на длительное время в области повышенных температур, возможен метаморфизм, отвечающий гранулитовой и иным фациям. Данное объяснение опирается в частности на то, что среди фанерозойских колчеданных месторождений есть метаморфизованные в зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фациях, но нет подвергшихся метаморфизму гранулитовой фации, встречающиеся только в докембрийских толщах на щитах, т.е. извлеченные к поверхности после длительного пребывания на глубине.

S-образная модель сочетания субдукции и обдукции, нашедшая подтверждение в структуре покровно-складчатых поясов (Кубинский, Уральский), обрамляющих ячеи деструкции (Карибская, Западно-Сибирская) [3], логично объясняет одновременное наращивание сиалической и симатической частей континентальной литосферы, в частности фундамента древних платформ. При этом область

наибольшего развития сиала будет соответствовать щитам, а более симатическая в центре ячеи или в преддуговой обстановке будет отвечать фундаменту собственно платформенных структур, если позже наступят относительно стабильные тектонические условия.

Такое вертикальное и горизонтальное размещение сиалических и симатических масс в фундаменте древней платформы (система II размерного порядка с поперечником около 2 тыс.км) определяет различие состава извлеченных из глубины алмазоносных толщ или развития последующего алмазоносного магматизма. Все это соответствует наблюдаемым особенностям геологии алмазов при развитии структур более высокого (III и выше) размерного порядка, связанных с процессами тектоно-магматической активизации. Активизация приводит к адвекции глубинного вещества как не преобразованного, так и преобразованного в магмы. Для удаленных от щитов областей более характерны кимберлиты. По мере приближения к щитам наблюдается тенденция к появлению черт, сближающих кимберлиты с лампроитами, и наличие собственно щелочных пород и карбонатитов.

Общая тенденция пространственной зональности магматизма в ячеистых структурах II размерного порядка проявлена на юго-востоке Африки. Здесь выделяются ячеи Калахари и Танганьика-Виктория с более деструктурированной корой в центре и повышенной сиаличностью по периферии [3]. Такие ячеи развиты на месте Родезийско-Трансваальского и Танзанийского кратонов архейской консолидации, в центре которых присутствуют кимберлиты, а по периферии в частных рифтах (Ньяса, оз.Танганьика, Западном, Грегори) — карбонатиты [53].

Подобную тенденцию можно наметить, переходя от Зимнего Берега к северо-западу в пределы собственно Балтийского щита, где большую роль начинает играть собственно щелочные породы. Тип магматизма и его петрохимический профиль может изменяться по простиранию минерагенических поясов и в пределах суперрайона. Так, в суперрайоне Зимнего Берега с запад-северо-запада на восток-юго-восток происходит смена карбонатит-кимберлитового магматизма (Мельское поле) [1] на кимберлиты, киммелилиты, мелилититы глиноземистой серии, затем на кимберлиты, кимпикриты и пикриты железо-титанистой серии и далее на базальты [45] (см. рис. 4).

На основе большого числа признаков, характеризующих сходную тенденцию, А.Д.Харьков с соавторами [55] делит Далдыно-Оленёкскую зону Якутии на части, принадлежащие двум областям — Вилюйской и Анабаро-Оленёкской. Ближе к Анабарскому щиту в кимберлитах возрастает роль флогопита, монтичеллита, появляется нефелин, снижается роль высокохромистого пиропса при увеличении пикроильменита относительно его доли; возрастает роль Ti, P, Al, K при снижении магнезиальности пород. Ближе к щиту увеличивается роль даек кимберлитов в ущерб трубкам. Граница между Вилюйской и Анабаро-Оленёкской областями проведена условно: Мункское поле отнесено к первой области, хотя носит черты, переходные к полям второй (см. рис. 5).

Усиление геохимических черт, отвечающих континентальной литосфере, свойственно в целом для лампроитов, по сравнению с кимберлитами. Например, средние характеристики соотносятся (в кимберлитах—оливиновых лампроитах): K_2O/Al_2O_3 0,18—1,00; Rb/Sr 0,021—0,33; Ce/Y 9,4—35,8; $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7033—0,7055)—(0,71037—0,71677);

характерные летучие кислотные компоненты CO_2 — F, P_2O_5 [53]. Таким образом, структуры, наложенные на описанную неоднородную по латерали и вертикали древнюю литосферу, могут по простиранию иметь разный геохимический и петрологический профиль магматизма, а в суперрайонах (минерагенических областях) вдоль линеамента сочетать разные магматические формации.

Есть и другая важная структурная особенность литосферы, сформированной описанным образом: кристаллизационная сланцеватость пород, которая в общей массе образуется параллельно осевым поверхностям лежащих субдукционной и обдукционной складок, является одним из главных факторов тектонической расслоенности древней литосферы. В иную тектоническую эпоху подъем мантийного астеносферного вала под такой расслоенной литосферой может вызвать спрединг с расползанием коры по поверхности, расположенной выше нижней части древней зоны субдукции. В образовавшемся спрединговом бассейне с корой океанического типа могут сохраняться некоторые геохимические черты континентальной литосферы (типа аномалий DUPAL в Атлантическом и Индийском океанах). Ниже поверхности спрединга мантийная часть литосферы может не претерпевать существенных латеральных перемещений, сопоставимых с шириной раскрывшегося бассейна. По этой причине низы литосферы в уже упомянутом Кандалакшско-Кокчетавском линеаменте после раскрытия и закрытия Уральско-го квазиокеанического бассейна могут оказаться в положении относительно близком к первоначальному. Отмеченное позволяет трассировать названный линеамент в нижней части литосферы от Восточно-Европейской платформы через Урал далее к юго-востоку.

Соотношение петрологических и геодинамических моделей алмазоносных систем. Фактор времени. Генезис алмазов в литературе обсуждается главным образом с позиций петрологии, изотопной геохимии, минералогии, в т.ч. экспериментальной. Представления о генезисе, термодинамических условиях образования алмазов обычно служат отправным пунктом при создании геодинамических моделей алмазоносных систем, использующихся в той или иной степени в прогнозно-поисковых моделях. Известные особенности алмазов и их геология в сочетании с явлениями адвективной геодинамики побуждают поставить на обсуждение ряд вопросов по затронутой проблеме и предложить возможные решения.

Ряд фактов может указывать на весьма значительную роль метаморфических процессов в образовании алмазов не только месторождений типа Кумдыколь, но и доставляемых к поверхности кимберлитами. При этом температура и давление, при которых образуются природные алмазы, могут оказаться меньше, чем принято считать на основе имеющихся физико-химических диаграмм, характеризующих равновесные условия, и опирающихся на лабораторные эксперименты, но не учитывающих фактор времени, т.е. длительность протекания процессов в природе. Важность фактора времени признается ведущими петрологами теоретиками и экспериментаторами, чего нельзя забывать при создании геологических моделей. Как отмечал В.А.Жариков, экспериментальные исследования «являются единственным источником точной количественной характеристики исследуемых процессов. Вместе с тем экспериментальное моделирование остается все-таки частным методом, поскольку существуют технические и принципиальные (время, масштабы) ограничения исследований» [20, с. 17]. «Экспериментально опреде-

лено, что P - T параметры синтеза алмазов в карбонатно-углеродистых системах могут быть существенно снижены относительно P - T условий, определяемых в предшествующих работах, за счет *увеличения длительности* экспериментов. *Основным фактором*, лимитирующим алмазообразующие процессы, *является кинетика*, что позволяет обосновать возможность дальнейшего снижения P - T параметров в карбонат-углеродистых системах» [35, с. 1790] (*курсив везде мой — А.Б.*).

В отношении очень древних минеральных ассоциаций учет фактора времени при определении термодинамических условий их образования особо важен. Во-первых, теоретические положения термодинамики отражают статистические факторы перехода через потенциальный энергетический барьер в равновесных условиях, благоприятных для таких переходов (расплавная, жидкая, газообразная среда). Обменные реакции и фазовые переходы в твердом состоянии протекают много медленнее и могут происходить в неравновесных условиях. Поэтому остается дискуссионным вопрос: если длительность процесса составляет порядка 1 млрд. лет, то являются ли давления, соответствующие глубинам 150—200 км, минимальными для упорядочения кристаллической структуры углерода с уменьшением энтропии от $S_{298} 478 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ (графит) до $S_{298} 0,197 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ (алмаз) [31]? Или это может происходить при параметрах, отвечающих меньшим давлениям? Вопрос о необходимости учета фактора времени при анализе минеральных ассоциаций в докембрийских метаморфических породах и рудах весьма остро поставлен И.А.Бергманом. Особо важно его замечание, что совместное нахождение минералов с отсутствием признаков их неравновесности не есть доказательство их одновременного образования [7], т.е. такие сосуществующие минералы могут образоваться в разных P - T условиях, в разное время и даже при разном геодинамическом режиме. Все это побуждает с осторожностью использовать петрологические критерии при построении геодинамических моделей. Вместе с тем нужно отметить и то, что среди спутников алмазов относительно редко встречается коэсит. При эклогитизации пород альбитовый компонент плагиоклазов переходит в жадеит и кварц, а кварц в условиях геотермы древних щитов переходит в коэсит при давлениях приблизительно 3 ГПа, т.е. на глубинах около 100 км [52]. Таким образом, редкость коэсита может указывать на глубины образования алмазов преимущественно не более 100 км.

Одним из оснований для предположения о глубине зарождения алмазоносных систем может служить длина волны, определяющая расстояния между адвективными системами III размерного порядка, равная около 300 км. Из тектонофизики известно, что длина волны λ , определяющая расстояния между валами или ячеями, обычно соотносится с мощностью адвектирующего слоя H как $\lambda \approx (2-4) \cdot H$ [15]. При адвекции астеносферы и литосферы, определяющей зарождение ячеистых морей запада Пацифики, $\lambda/H \approx 5$ [3], т.е., вероятнее всего, что алмазообразование под платформами происходило на глубинах в интервале 150—60 км, или около 100 км. В S -образной зоне субдукции—обдукции (см. рис. 1, В) такие глубины будут отвечать нижней, собственно субдукционной, части литосферы ниже поверхности M (Мохоровичича), которая может быть близкой к смыкающему крылу S -образной зоны. Если грубо оценить глубину M в 50 км (40 км под платформами, 50 км под щитами), то ниже этого несколько десятков кило-

метров будут соответствовать сложенной вдвое субдуцированной литосфере. Литостатическое давление на таких глубинах должно составлять порядка 2—3 ГПа. Если общее давление было выше, то, вероятнее всего, за счет флюидного давления, превышающего литостатическое.

Модель субдукционной природы алмазоносного протолита наиболее подробно разработана О.Г.Сорохтиным с соавторами [47]. Алмазоносные перидотиты, эклогиты, потом входящие в кимберлиты, по работе [47] представляли собой погруженные в зону субдукции океаническую кору и океанические осадки с экзогенными углеводородами, карбонатами тропических зон. Соответственно древние железистые осадки бореальных зон превращаются в лампроиты. На глубине 150—200 км толщ плаваются с образованием кимберлитов, которые при смене обстановки сжатия на растяжение извергаются с этих глубин по трещинам с большой скоростью, обеспечивающей сохранность алмазов. Полоса пород между выходом зоны субдукции к морскому дну до ее погружения на глубины 150-200 км не содержит проявлений алмазов, т.к. здесь не обеспечивается давление для их образования. В [47] подробно излагаются превращения водородных и кислородных соединений углерода в алмаз. Главные положения концепции [47] об экзогенном источнике углерода, океанических осадках и земной коре, погруженных в зону субдукции, представляются обоснованными. Дискуссионные плейтктоническая суть модели субдукции и выплывание кимберлитовых магм на глубинах 150—200 км. В отношении несколько иной субдукционной модели, разработанной Н.Л.Добрецовым с соавторами [16] применительно к Кумдыкольскому месторождению, дискуссия определяется тем, относить ли алмазообразование к субдукции, которая имела место на Севере Казахстана в кембрии, или к значительно более древней «доказахстанской». По работе [56], алмазоносная зерендинская серия Кокчетавского массива, включающая дистен-гранат-биотитовые сланцы, биотитовые гранат-плагноклазовые гнейсы, плагногнейсы, линзы мраморов, амфиболиты и эклогиты, первично была представлена осадочной толщей и толеитовыми базальтами, аналогичными океаническим. Sm-Nd методом обоснован среднекембрийский возраст высокобарического (эклогитового) метаморфизма. Аналогичный возраст 530 7 млн. лет получен U-Pb методом по циркону. Вместе с тем отмечается, что есть определения модельного возраста вмещающих пород в интервале 2,19—2,65 млрд.лет [56], эклогитов (по Pb-методу — 1,8—2,3 млрд.лет) [52]. Данные определения, вероятнее всего, не противоречивы, а отражают разновременные процессы, соответствующие общим выводам о полиметаморфизме континентальной коры [41].

Обсудим некоторые факты, уже рассмотренные в этой статье, и иные, обосновывающие субдукционную модель. На субдукционную природу алмазоносного протолита указывает, с одной стороны, кристаллизационная сланцеватость толщ и их фации высоких давлений, а с другой, — признаки нахождения толщ до их метаморфизма в обстановке весьма близкой к земной поверхности, в т.ч. и около дна древнейших водоемов. Во-первых, это первично осадочный характер кумдыкольских алмазоносных толщ [56]. Во-вторых, изученный в ряде трубок кимберлитов изотопный состав кислорода в минералах эклогитовой ассоциации, заключенных в алмазах, аналогичен составу кислорода в океанических базальтах [61], т.е. эклогиты могут оказаться метаморфизованными древними базальтами. В-третьих, изотопный состав углерода, несмотря на нали-

чие пика ^{13}C в интервале 2... 9‰, имеет значительную долю легких изотопов, сопоставимых с углеродом биомассы. Роль биомассы в древнейших породах особо акцентирована А.Э.Конторовичем в связи с эволюцией нафтидогенеза [23]. Опираясь на фундаментальные работы по биохимии, А.Э.Конторович указывает, что весьма легкий изотопный состав углерода в докембрийских толщах обусловлен тем, что живое вещество при своем строительстве, фотосинтезе избирательно концентрирует ^{12}C и потому обогащено им. Возрастание ^{13}C может быть связано с изотопным обменом углерода органического вещества с карбонатами, т.е. иметь вторичный, наложенный характер [23]. Такого взаимодействия естественно ожидать, если субдуцированные толщ, включающие офиолитовую ассоциацию с осадочными, в т.ч. карбонатными слоями, подвергнутся метаморфизму, что будет способствовать не только возрастанию $P-T$ условий, но и возрастанию подвижности сред пониженной вязкости (осадочная, углистая, углеводородная) с ее выжиманием и нагнетанием, с развитием по биомассе графита и далее алмазов.

Роль метаморфогенных явлений выжимания—нагнетания в локализации алмазов демонстрируют особенности месторождения Кумдыколь. Для месторождения отмечается как характерная черта приуроченность основной массы алмазов к гранатам [12]. В.А.Печников, считающий происхождение алмазов метасоматическим [37, 33], приводит вместе с тем факты, которые, по мнению автора, указывают на кристаллизацию алмаза в условиях метаморфизма: алмазы тяготеют к участкам, где гнейсовидность пород проявлена меньше всего. Здесь происходит укрупнение минералов пород, обогащение графитом, пиритом. Алмазы часто заключены в гранаты. Все это характеризует области метаморфогенного нагнетания, где разность между главными нормальными напряжениями минимальна. Здесь соответственно располагаются изотропные минералы кубической сингонии (алмаз, гранат, пирит), сюда устремляются маловязкие легкоподвижные минеральные компоненты (углеродистое вещество). В отличие от этого участки с четко выраженной гнейсовидностью отражают области метаморфогенного выжимания с наибольшей разностью главных нормальных напряжений. Данные факты могут указывать на необходимость учета неоднородного поля тектонических напряжений при исследовании кристаллохимии алмазов.

Некоторые характеристики свойств алмазов в метаморфических толщах позволяют использовать их для постановки вопроса о метаморфических или магматических процессах в дискуссии о генезисе. Е.Д.Надеждина [33] отмечает, что среди алмазов метаморфических комплексов выделяются только октаэдрические и кубические кристаллы, а ромбододекаэдрические не установлены. При этом октаэдрические, наиболее распространенные и типичные для кимберлитов, присутствуют только в пироксен-кварцевых метасоматитах метаморфических толщ [33], что может зависеть, по мнению автора, от роли флюидов. Ф.В.Каминский и Г.К.Хачатрян [60] по характерным особенностям присутствия азота в зонах роста кристаллов алмазов, отобранных из кимберлитовых трубок и россыпей, исследовали тенденцию изменения температуры при алмазообразовании. Из приведенной в этой работе таблицы следует, что внешние зоны кубических алмазов более высокотемпературные, чем внутренние, а в октаэдрах преимущественно более холодные. Если отмеченная тенденция закономерна, то нарастание темпера-

туры при росте кубических кристаллов алмазов в трубках Удачная (Якутия), Карпинского, им. Ломоносова (Зимний Берег), рассмотренных в работе [60], может связываться с прогрессивными условиями метаморфизма, как и алмазов Кумдыколя. Для октаэдров и додекаэдров колебания температуры с этих позиций интерпретируются неоднозначно: или охлаждение расплава, или возрастание роли флюидов при метаморфизме.

Условия образования перидотитовых, эклогитовых и иных минеральных парагенезисов как минералов, кристаллизующихся из магматических расплавов, принято распространять и на алмазы в кимберлитах. Однако перидотиты и эклогиты присутствуют в извлеченных из глубины дунит-перидотитовых (гарцбургитовых, лерцолитовых) и дунит-клинопироксенит-габбровых формациях, породы которых во многих случаях метаморфизованы. Для них, как отмечает Б.А. Блюман, петрографическая номенклатура двойственна, например, кристаллические мафиты определяются и как габбро, и как мафические гранулиты [8]. Их минералы, сопутствующие алмазу, в т.ч. и включенные в его кристаллы, могут не отражать P - T условия алмазообразования. Например, они могут входить в древнейшую офиолитовую ассоциацию, выведенную к дну докембрийского бассейна, но в которой гипербазиты и базальтоиды существенно различаются по возрасту и условиям формирования. Если толщи с подобным древнейшим набором пород, включающие биомассу, будут погружены в зону субдукции на уровень эклогитовой фации метаморфизма, а далее произойдет образование алмазов за счет смешения углерода биомассы и карбоната, то полученная субстанция может рассматриваться как протолит для молодых кимберлитов.

Примером того, что минералы древнейших глубинных пород, будучи выведенными к морскому дну, сохраняются перед их захоронением, могут служить хромшпинелиды, заключенные в колчеданные руды Ишкининского месторождения на Южном Урале [19]. Хромшпинелиды в рудах представлены эвгедральными и субэвгедральными зернами размером до 1,5 мм. Соотношения Fe^2 , Fe^3 , Mg, Al и иные их химические особенности изменяются в зависимости от состава руд. Естественно, что по этим остаточным хромшпинелидам нельзя определять термодинамические условия колчеданообразования. Такой же вопрос можно поставить и в отношении некоторых минералов-спутников алмаза.

Субдукционная модель образования алмазоносного протолита предусматривает весьма непредсказуемое распределение источника углерода. Оно находится в зависимости как от первичного колониального размещения биомассы, так и метаморфогенного его перераспределения. Возможно поэтому петрохимически сходные кимберлиты в одних трубках бывают весьма алмазоносными (трубка Айхал — крупное месторождение), а в соседних могут быть практически пустыми (трубки Заря, Подтраптовая) [10].

Одна из важных сторон прогнозных моделей алмазоносных систем, учитывающих петрологические и геодинамические факторы, — структурные формы и условия доставки алмазоносной среды к поверхности Земли. К структурным формам, которые поддаются картированию, относятся брекчиевые трубки, дайки кимберлитов и лампроитов, а также блок-пластины метаморфических пород. В подавляющем большинстве моделей, описанных в литературе, доставка осуществляется с глубин 150—200 км и даже более. При этом декларируется очень большая скорость из-

влечения масс из глубины, обеспечивающая сохранность алмазов. Общая фрактальная структура геодинамических систем позволяет предложить иную трактовку условий подъема алмазоносной среды к поверхности.

Как уже отмечалось, фракталы III порядка (системы размером в первые сотни километров) развиваются при вязкостях среды 10^{17} — 10^{18} П, т.е. в твердом состоянии. Можно выделить по крайней мере два типа обстановок их подъема. Первый из них связан с наложением ячеистого диапиризма на древнюю литосферу по механизму, показанному на рис. 1, В. Примером того может служить структура Северо-Западного Казахстана с деструкцией литосферы под Тенгизской депрессией (над центром ячеи) с отжиманием литосферы на периферию (к Кокчетавскому массиву), извлечением на их границе древних метаморфических толщ. Эти древние толщи претерпели дополнительный региональный метаморфизм в связи с кембрийско-ордовикской геодинамикой. Вряд ли кембрийско-ордовикские процессы были главными алмазообразующими, как считают авторы работы [16], т.к. подобная фанерозойская геодинамика (Урал, Альпы и др.) обычно не сопровождается месторождениями алмазов.

Второй, собственно платформенный тип развития систем III порядка — подготовительный к развитию алмазоносного магматизма. К данному типу относятся волнообразные подъемы алмазоносной среды в линеаментах, уже охарактеризованных в данной статье. На таких волнах могут развиваться фракталы IV порядка, эффективная вязкость среды которых может снижаться примерно до 10^{14} П (т.е. на порядок тверже льда), которые являются ячейками зарождающихся магматических очагов. Камеры этих очагов (фракталы V порядка) при вязкости около 10^{11} П, по-видимому, и являются собственно кимберлитовыми, определяющими развитие кустов трубок. Сами трубки (фракталы VI порядка) развивались при вязкости 10^8 П и менее. Судя по обилию твердых обломков в кимберлитах и лампроитах (даже в дайках, а не трубках!), значительной серпентинизации пород, снижение вязкости среды происходило преимущественно за счет газообразно-жидких флюидов, а не расплавления. Взрывные растрескивания, венчающие адвективные трубки, свидетельствуют о существенном превышении флюидного давления над литостатическим.

Прямыми методами или расчетами в данной модели не определяются глубины, на которых происходит нарастание фракталов высоких порядков на более низкие. Вместе с тем, ступенчатый подъем глубинных масс, сначала в твердом состоянии в системах II-III порядка, а затем с более снижающейся вязкостью, свидетельствующей о флюидно-расплавной среде (системы IV-VI порядка), не дает оснований считать заложение очагов кимберлитовых магм на глубине 150—200 км. По-видимому, она существенно меньше. В этом аспекте предлагаемая модель гармонирует с выводами А.А. Маракушева о развитии кимберлитов в коровых условиях и возможности дорастания алмазов во флюидонасыщенной среде при давлениях выше литостатического [31].

Извлечение алмазоносной среды из глубины, происходящее сначала в твердом состоянии, очевидно, способствует сохранению алмазов. Длительность подъема этой среды для каждой последовательной ступени оценить трудно, т.к. не определены амплитуды волн (фракталов) разных порядков. Ясно лишь, что относительные (к соответствующей длине волн) амплитуды во фракталах высо-

ких порядков возрастают (для трубок они максимальны). На начальных фазах адвекции время зарождения ячеек уменьшается на два порядка с уменьшением размера на порядок, при условии уменьшения вязкости на три порядка [3, 4]. Исходя из этого соотношения, можно очень грубо оценить длительность ранних фаз адвекции в системах разного порядка. Если в системе II порядка (размером 1—2 тыс. км), руководствуясь следствием из правила Клиффорда, время принять 10^9 лет, то в других системах оно будет иметь порядки III — 10^7 , IV — 10^5 , V — 10^3 , VI — 10^1 лет. Иначе говоря, алмазоносная среда основное время пребывает в твердом состоянии и лишь менее 100 тыс. лет начинает отвечать смешанному твердому и расплавно-флюидному состоянию. Время зарождения и развития трубки не превышает 10 лет. Таким образом, данная модель не ставит перед геодинамикой весьма проблематичную большую скорость извлечения алмазов в магмах с глубин 150—200 км, как это делается в ряде иных моделей. Длительное пребывание алмазоносного протолита в твердой фазе может обеспечивать в фанерозое неоднократные всплески проявления адвективных систем высоких порядков. Примером тому служат палеозойские и мезозойские кимберлитовые трубки и дайки Далдыно-Оленёвской зоны (минерагенического пояса).

Выводы и заключение. 1. Алмазоносные минерагенические таксоны могут быть увязаны с адвективными системами разных порядков и, при определенной корректировке, сопоставлены с общепринятыми таксонами эндогенной металлогении. Поэтому в алмазной минерагенической таксономии понятие куста трубок целесообразно использовать для территории поперечником не более 3—3,5 км, охватывающей трубки пород, изверженных из одной камеры магматического очага. Для таких групп трубок, если они не рассредоточены более широко вдоль разломов, характерно периодическое повторение в пространстве с шагом около 3—3,5 км. Размещение трубок в кусте диктуется, как привило, разломами, что не приводит к их четкой периодичности. Над камерой может развиваться лишь одна трубка (однокорневой куст) или даже ни одной. При отчетливом контроле протяженной группы трубок разломом (глубинной дайкой?) может проявляться их периодичность с шагом около 2 км. Для такой протяженной группы лучше использовать термин зона или града трубок в отличие от изометричного куста.

2. Образования нескольких камер очага следует рассматривать как поле или его фрагмент. На данном этапе изученности кимберлитовых полей и районов в подавляющем большинстве случаев не удастся отличить один очаг от серии слившихся на глубине. По косвенным признакам можно лишь предполагать, что общая закономерность повторения магматических очагов через расстояния около 30 км может иметь место в кимберлитовых районах, в т.ч. тех, которые в настоящее время относят к крупным полям.

3. Платформенные линеаменты (борта авлакогенов), отвечающие алмазоносным минерагеническим зонам (поясам) обладают периодическими волновыми всплесками продуктивности с шагом около 300 км, контролирующим наиболее перспективные минерагенические области, или суперрайоны. Важная роль в зарождении контролируемых их адвективных структур принадлежит очевидно флексурным изгибам глубинных слоев. При отсутствии четко выраженной астеносферы под платформами именно флексурные изгибы незначительно разуплотненных слоев

обеспечивают увеличение числа Рэлея до критических значений, приводя к адвекции. Распространенное представление о контроле крупных алмазоносных таксонов, а не частных трубок, разломами, по-видимому, требует пересмотра в пользу флексур.

4. Алмазоносный протолит, по крайней мере, во многих случаях, связан с образованием древнейших зон субдукции, обусловленных краевыми эффектами ячеистого мантийного диапиризма. В фанерозое извлечение алмазоносной среды может осуществляться в виде крупных блок-пластин метаморфических толщ при наложенном ячеистом мантийном диапиризме, либо в виде даек и трубок протолита, преобразованного в кимберлиты или лампроиты. Среди высокобарических минералов должны присутствовать следы древнейших (более 1 млрд. лет) образований. Минерагенические области (суперрайоны) могут обладать разнородными алмазоносными и неалмазоносными магматическими породами. Отсюда, комплексы минералов-спутников алмазов в суперрайоне могут носить свою специфику.

5. При решении многих проблем геологии алмазов обязательно должен учитываться фактор времени и фрактальность структуры алмазоносных систем. Периодичность в размещении минерагенических таксонов разного порядка должна учитываться в их прогнозно-поисковых моделях.

Настоящая статья не претендует на решение многих из затронутых вопросов. Главная цель — обратить внимание на конвективные (адвективные) процессы, происходящие не только в расплавленной и флюидной среде, но и в твердом (домагматическом) состоянии, а также на волновые закономерности размещения алмазоносных структур.

Автор выражает глубокую благодарность В.И.Ваганову, Т.Е.Щербаковой, Г.К.Хачатряну за консультации и обмен мнениями по разным проблемам геологии алмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросов Е.А., Вержак В.В., Ларченко В.А., Мищенко Г.В. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел (на примере Архангельской алмазоносной провинции) // Геология алмазов — настоящее и будущее. — Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 31—43.
2. Барышев А.Н. Магматогенная тектоника — одна из основ создания количественных моделей рудообразующих систем и месторождений // Отечественная геология. 1995. № 1. С. 53—59.
3. Барышев А.Н. Периодические геодинамические и металлогенические системы, их развитие и взаимодействие — М., 1999.
4. Барышев А.Н. Позиция крупнейших рудных районов и узлов в системе адвективных структур Земли // Отечественная геология. 2001. № 2. С. 6—11.
5. Барышев А.Н. Субдукция и проблемы ее палеорекострукций // Отечественная геология. 2004. № 2. С. 50—62.
6. Барышев А.С. Связь кимберлитового магматизма с элементами геодинамики на Сибирской платформе / Геология алмазов — настоящее и будущее. — Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 43—49.
7. Бергман И.А. Насколько достоверно выделение минеральных парагенезисов, равновесных минеральных ассоциаций, метаморфических/минеральных фаций // Отечественная геология. 2000. № 2. С. 71—76.
8. Блюман Б.А. Кристаллические ультрамафиты и мафиты офиолитовых ассоциаций: происхождение и модель становления. — СПб., 2000.
9. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000.
10. Ваганов В.И. Проблемы методологии прогнозирования сверхкрупных коренных месторождений алмазов // Руды и металлы. 2005. № 6. С. 5—16.

11. Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Прусакова Н.А. Стадийная технология ведения прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на алмазы на Восточно-Европейской платформе / Геология алмазов — настоящее и будущее. — Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 1124—1136.
12. Воробьев Е.И. Об экссолюционной природе алмазов в метаморфических породах Кокчетавского массива // Отечественная геология. 2001. № 2. С. 52—56.
13. Гзовский М.В. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Ч. 3 и 4. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
14. Гончаров М.А. Инверсия плотности в земной коре и складкообразование. — М.: Недра, 1979.
15. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизiku. — М.: КДУ, 2005.
16. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Жимулев Ф.И. Кембро-ордовикская эволюция Кокчетавского метаморфического пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 8. С. 806—816.
17. Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Контроль кимберлитового вулканизма Якутской алмазоносной провинции палеорифтовыми структурами // Отечественная геология. 1996. № 10. С. 28—34.
18. Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. — Воронеж, 2000.
19. Дунаев А.Ю. Хромшпинелиды в сульфидах и сульфосарсенидах Ишкининского кобальт-медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) / Рудные месторождения: вопросы происхождения и эволюции. — Миасс, 2005. С. 64—66.
20. Жариков В.А. Основы физико-химической петрологии. — М.: Изд-во Московского ун-та, 1976.
21. Зинчук Н.Н. Постагматические минералы кимберлитов. — М.: Недра, 2000.
22. Илупин И.П. Кимберлиты Якутии — линейное расположение трубок и вещественный состав // Руды и металлы. 2003. № 5—6. С. 60—68.
23. Конторович А.Э. Эволюция нафтидогенеза в истории Земли // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 7. С. 784—802.
24. Крейтер В.М. Структуры рудных полей и месторождений. — М.: Госгеолтехиздат, 1956.
25. Ландау Л.Д., Лишиц Е.М. Механика сплошных сред. 2-е изд. — М.: Гостехиздат, 1954.
26. Ларченко В.А., Степанов В.П., Минченко Г.В., Кечик И.А. Алмазоносность кимберлитов и родственных им пород Зимнего Берега // Вестник Воронежского ун-та. Геология. 2004. № 2. С. 134—147.
27. Левин В.Я., Роненсон Б.М. Карбонатиты Урала / Вопросы петрологии Урала (магматизм, метаморфизм, литология). — Свердловск, 1980. С. 112—125.
28. Макдоналд Г. Вулканы. — М.: Мир, 1975.
29. Малов Н.Д. Алмазоносность восточной части Балтийского щита и его южного склона // Отечественная геология. 2001. № 3. С. 11—12.
30. Маракушев А.А. Петрогенезис. — М.: Недра, 1988.
31. Маракушев А.А., Бобров А.В. Генетические типы алмазоносных пород / Геология алмаза — настоящее и будущее. — Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 528—541.
32. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. — Л.: Недра, 1979.
33. Новый генетический тип алмазных месторождений / Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М. и др. — М.: Научный мир, 1999.
34. Обзор понятий и терминов в применении к металлогении / Под ред. Е.Т.Шаталова. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
35. Пальянов Ю.Н., Сокол А.Г., Борздов Ю.М., Соболев Н.В. Экспериментальное исследование процессов кристаллизации алмаза в системах карбонат-углерод в связи с проблемой генезиса алмаза в магматических и метаморфических породах // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1780—1792.
36. Пейве А.В. Разломы и тектонические движения // Геотектоника. 1967. № 5. С. 8—24.
37. Печников В.А. Структурные условия формирования Кумдыкольского месторождения технических алмазов (Северный Казахстан). Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. — М., 1993.
38. Покровский Г.И. Взрыв. — М.: Недра, 1973.
39. Прусакова Н.А. Геолого-геофизическая прогнозно-поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля. Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. — М., 2004.
40. Рамберг Х. Сила тяжести и деформации в земной коре. — М.: Недра, 1985.
41. Ревердатто В.В., Шеплев В.С. Геодинамические факторы метаморфизма и их моделирование: обзор и анализ проблемы // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1679—1692.
42. Розен О.М., Манаков А.В., Суворов В.Д. и др. Земная кора Якутской алмазоносной провинции: состав, структура, формирование / Геология алмазов — настоящее и будущее. — Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 158—188.
43. Рыбаков С.И., Голубев А.И., Слюсарев В.Д., Лавров М.М. Докембрийский рифтогенез и современная структура Фенно-кандинавского щита // Отечественная геология. 1999. № 5. С. 29—38.
44. Саблуков С.М. Вулканизм Зимнего Берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов. Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. — М., 1995.
45. Саблуков С.М. Кладовые алмазов Русского Севера // Наука в России. 2001. № 1. С. 82—88.
46. Секерин А.П., Егоров К.Н., Меньшагин Ю.В., Лащенков В.А. Проблемы алмазоносности юго-западной части Сибирской платформы // Отечественная геология. 1999. № 1. С. 15—18.
47. Сорохтин О.Г., Митрофанов Ф.П., Сорохтин Н.О. Происхождение алмазов и перспективы алмазоносности восточной части Балтийского щита. — Апатиты, 1996.
48. Степанов И.С., Сычкин Г.Н. Предпосылки коренной алмазоносности Сакмарского нуклеара // Советская геология. 1992. № 1. С. 81—84.
49. Сычева-Михайлова А.М. Механизм тектонических процессов в обстановке инверсии плотности горных пород. — М.: Недра, 1973.
50. Сычкин Г.Н. Перспективы коренной алмазоносности восточной окраины Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления (на примере Пермского Предуралья) / Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. — Екатеринбург, 1994. С. 300.
51. Трофимов В.С. Основные закономерности размещения и образования алмазных месторождений на древних платформах и в геосинклинальных областях. — М.: Недра, 1967.
52. Удовкина Н.Г. Эклогиты СССР. — М.: Наука, 1985.
53. Фролов А.А., Лашин А.В., Толстов А.В. и др. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз). — М.: НИИ-Природа, 2005.
54. Хаин Е.В., Божко Н.А. Историческая геотектоника. Докембрий. — М.: Недра, 1988.
55. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. — М.: Недра, 1998.
56. Шацкий В.С., Ягоуц Э., Козьменко О.А., и др. Возраст и происхождение эклогитов Кокчетавского массива // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 12. С. 47—58.
57. Шнуит Б.Р. Кимберлитоконтролирующие структуры Сибирской платформы // Тр. ЦНИГРИ. 1991. Вып. 250. С. 38—50.
58. Clifford T.N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth and Planet. Sci. Lett. 1966. Vol. 1. P. 421—434.
59. Dawson J.B. The structural setting of African Kimberlite magmatism // African magmatism and tectonics. — Edinburg. Oliver and Boyd. 1970. P. 321—355.
60. Kaminsky F.V., Khachatryan G.K. The relationship between the distribution of the nitrogen impurity centres in diamond crystals and their internal structure and mechanism of growth // Lithos. 2004. Vol. 77. Nos. 1—4. P. 255—271.
61. Schulze D.J., Valley J.S., Viljoen K.S., Spicuzza M.J. Oxygen isotope composition of mantle eclogites // 8th International Kimberlite Conference Long Abstract. Victoria. Canada. 2003. № 0188.