

**В. А. Милашев**

---

# **Структуры кимберлитовых полей**



**ЛЕНИНГРАД  
«НЕДРА»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1979**

---

Милашев В. А. Структуры кимберлитовых полей. Л., Недра, 1979.  
183 с.

В книге обобщены и проанализированы все важнейшие данные по геологии, региональным закономерностям размещения, локализации и алмазоносности кимберлитов Сибирской и Афро-Аравийской платформ. Охарактеризован геотектонический контроль кимберлитов в масштабах провинций, полей и отдельных диатрем. Сформулировано определение термина «структура кимберлитового поля», рассмотрены теоретические основы расчленения и главнейшие элементы внутреннего строения кимберлитовых полей. Изложены принципиально новые способы анализа и критерии выявления кимберлитовомешающих дислокаций. Предложен оригинальный метод расчленения кимберлитов и рудовмещающих дислокаций отдельно взятого поля по относительному времени их образования. Показана взаимосвязь между составом, относительным возрастом и степенью алмазоносности пород. Даны примеры расшифровки структуры некоторых хорошо изученных полей развития кимберлитов. Установлены общие закономерности строения и формирования кимберлитовых полей, на базе чего разработаны методы среднемасштабного прогнозирования мест локализации и перспектив алмазоносности еще не обнаруженных трубок варвы в кимберлитовых полях. Некоторые методы применимы для расшифровки внутреннего строения рудных полей не только алмазных, но и других эндогенных месторождений полезных ископаемых.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, занимающихся поисками, разведкой алмазных и других эндогенных месторождений полезных ископаемых, изучением структуры кимберлитовых и других рудных полей, а также исследованиями взаимосвязи структурного плана и вулканизма платформенных областей.

Табл. 12, ил. 73, список лит. 90 назв.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	4
Районирование и важнейшие черты строения кимберлитовых провинций . . . . .	7
Региональные закономерности размещения кимберлитов . . . . .	12
Терминологические аспекты и важнейшие элементы структуры кимберлитовых полей . . . . .	17
Форма кимберлитовых тел и ее значение при структурном анализе полей . . . . .	19
Морфологические типы кимберлитовых тел . . . . .	—
Связь морфологии и размеров кимберлитовых тел с эрозионным срезом . . . . .	26
Локальные факторы размещения кимберлитов . . . . .	31
Тектонические разломы рамы и локализация диатрем . . . . .	34
Тектоническая трещиноватость рамы, ориентировка и локализация кимберлитовых тел . . . . .	40
Связь гидросети с разрывной тектоникой и локализация кимберлитов . . . . .	44
Связь гидросети с разломами и тектонической трещиноватостью горных пород . . . . .	—
Качественные и количественные характеристики гидросети . . . . .	47
Специфические особенности гидросети на площадях распространения кимберлитов . . . . .	53
Правомерность тектонического районирования по мегатрещиноватости . . . . .	71
Геофизические аномалии и поиски кимберлитовых тел . . . . .	80
Вопросы термодинамики образования кимберлитов . . . . .	89
Режим дифференциации расплавов и петрохимические типы кимберлитовых пород . . . . .	98
Состав и относительный возраст кимберлитов . . . . .	112
Общие закономерности формирования и строения кимберлитовых полей . . . . .	120
Дифференциация, последовательность внедрения расплавов и число магматических очагов . . . . .	121
Режим внутрикоровой эволюции и внедрениямагм . . . . .	137
Рудоконтролирующие дислокации, размещение и размеры диатрем . . . . .	145
Методика прогноза локализации и перспектив алмазоносности диатрем в кимберлитовых полях . . . . .	165
Прогноз местонахождения новых диатрем . . . . .	—
Прогнозирование перспектив алмазоносности новых диатрем . . . . .	168
Заключение . . . . .	175
Список литературы . . . . .	179

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1971 г. исполнилось 100 лет со времени открытия у африканского пос. Кимберли первого в мире коренного месторождения алмазов — трубы взрыва, заполненной алмазсодержащей ультраосновной породой — кимберлитом. За истекшее столетие общее число обнаруженных кимберлитовых трубок и даек превысило 1500. Они известны теперь не только на Африканском континенте, но также в Азии, Северной и Южной Америке. Мелькнувшее в печати сообщение рекламного характера об открытии алмазоносных кимберлитов на юго-западе Европы не подтверждено позднейшими публикациями. В Австралии, где наличие кимберлитов в принципе не вызывает сомнений, они пока не обнаружены, а в районе Аделаиды под названием «кимберлиты» ошибочно были описаны порфировые ультраосновные породы пикритовой фации.

Опробование всех найденных кимберлитовых тел показало, что промышленной концентрацией алмазов обладает лишь около 2,5% их числа, а многие трубы и дайки вообще не алмазоносны.

Для повышения эффективности геологоразведочных работ уже в конце XIX в., а в широких масштабах с середины XX в. проводятся научные исследования, имеющие целью выяснение отличительных признаков кимберлитов от сходных с ними пород, закономерностей пространственного размещения кимберлитов вообще и богатых алмазами разновидностей в особенностях, причин различного содержания алмазов в кимберлитах, способов косвенных прогнозных оценок его, а также еще широкого круга вопросов, связанных с генезисом алмаза.

Исследователи принадлежали к различным школам и поэтому часто опирались на различные, нередко взаимоисключающие теоретические посылки. Последние включали как традиционные, заимствованные из других областей геологии, так и специально разработанные для кимберлитов гипотезы, приемы и методы изучения. История познания кимберлитов, представляющих собой наиболее глубинные среди извергнутых на земную поверхность горных пород, и связанных с ними корен-

ных месторождений алмазов может явиться темой большой специальной и во многом поучительной монографии.

Даже краткий исторический обзор главнейших проблем займет много времени и далеко уведет от цели данной работы. Необходимые для дальнейшего изложения результаты исследований региональных закономерностей размещения кимберлитов, внутреннего строения различных типов кимберлитовых провинций и связанные с ними вопросы прогнозирования на уровне целых провинций и полей приведены в первых (вводных) главах книги.

Выявление региональных закономерностей и разработка методов мелкомасштабного прогнозирования коренной алмазоносности явились важным этапом в познании алмазных месторождений. На их основе дан прогноз о местонахождении и перспективах алмазоносности 11 новых кимберлитовых провинций в Африке, Азии, Европе, Австралии и Южной Америке. При достаточном количестве и качестве геологого-геофизических данных методы мелкомасштабного прогнозирования позволяют также выделять участки вероятного местонахождения новых полей высокоалмазоносных кимберлитов в уже известных провинциях.

Определение региональных закономерностей и основанных на них методов мелкомасштабного прогнозирования коренной алмазоносности имело и имеет большое научное и практическое значение. Не менее, а возможно и более важными для практики геологоразведочных работ являются вопросы о структурных границах каждого отдельно взятого поля и главнейших тенденциях размещения кимберлитовых тел в его пределах. Решение их открыло бы возможности для разработки методов средне- и крупномасштабного прогнозирования, которые позволили бы выделять участки вероятного нахождения новых групп и одиночных диатрем в известных и в первую очередь в освоенных промышленностью кимберлитовых полях. Это позволило бы отказаться от разбуривания обширных площадей по густой сети, являющейся пока главным методом поисков диатрем на закрытых частях известных полей, а в итоге — резко сократить затраты средств и времени на открытие каждого нового месторождения.

Очевидно, что сколько-нибудь обоснованное выделение участков, перспективных на обнаружение богатых коренных месторождений алмазов, невозможно без расшифровки внутреннего строения соответствующих кимберлитовых полей. Изучение внутреннего строения кимберлитовых полей в качестве главной задачи современного этапа исследований в области геологии коренных месторождений алмазов было впервые выдвинуто автором в одной из опубликованных работ 1974 г. [39] и неоднократно подчеркивалось в последующие годы.

Однако к настоящему времени вышло лишь несколько небольших статей, в названии которых фигурирует или подразу-

мевается термин «структура кимберлитового поля». Большинство работ касается по существу лишь тектоники районов, в пределах которых известны кимберлитовые поля. Авторы другой группы статей ограничиваются обсуждением одного вопроса — приуроченности трубок взрыва и даек к предполагаемым, реже установленным разломам в чехле или фундаменте платформы. И наконец, в самое последнее время вышла статья, посвященная оригинальной точке зрения, согласно которой в каждом поле имеется одна крупная центральная богатая алмазами диатрема, окруженная мелкими сателлитными трубками взрыва с убогой алмазоносностью [73]. Степень соответствия таких построений фактическим данным обсуждается в соответствующих главах монографии.

Представляемая монография является первой работой, посвященной результатам комплексных исследований структуры кимберлитовых полей. Новизна проблемы повлекла за собой необходимость определения основных понятий и терминов, в связи с чем книга содержит специальную главу, посвященную терминологическим аспектам. В заключительной части обсуждаются рациональные принципы прогноза вероятного местонахождения высокоалмазоносных диатрем, а также возможные способы обнаружения рудоконтролирующих и рудовмещающих дислокаций.

Принятый автором объем понятия «структура кимберлитового поля» включает наряду с тектоникой рамы, условиями залегания, возрастом и составом кимберлитов также режим формирования и внедрения расплавов, проницаемость земной коры и ряд других показателей. Для количественной оценки и анализа их потребовалась разработка специальных методов. Некоторые из этих методов в тех или иных модификациях могут быть полезны при изучении структуры не только кимберлитовых, но и других рудных полей.

---

## **РАЙОНИРОВАНИЕ И ВАЖНЕЙШИЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПРОВИНЦИЙ**

Кимберлитовый вулканизм, являясь характерной особенностью и важной составной частью платформенного магматизма в целом, проявлялся на отдельных участках древних платформ. Обширные площади развития кимберлитов и россыпей алмазов обычно назывались областями или провинциями, а сравнительно небольшие локальные участки — районами или полями. При этом, кроме немногих исключений, преследовалась единственная цель — отразить географическое положение и подчеркнуть пространственную обособленность вновь выявленных площадей развития кимберлитов от уже известных участков проявления кимберлитового вулканизма. Когда на участках, примыкающих к известным районам, обнаруживались новые кимберлитовые тела, то из-за отсутствия четких принципов и критерии районаирования одни исследователи относили вновь находимые участки развития кимберлитов к смежным районам, расширяя границы последних, а другие выделяли эти участки как самостоятельные районы.

Несомненным шагом вперед по сравнению с чисто географическими схемами явилось предложение проводить районирование областей кимберлитового вулканизма на тектонической основе [11, 61]. Однако районирование, опирающееся лишь на тектонические и географические принципы, обладает весьма существенным недостатком, так как при этом к единому району нередко относились несколько локальных участков, в пределах которых кимберлиты формировались при различных термодинамических условиях и поэтому существенно отличались по степени алмазоносности, петрохимии и многим другим признакам.

Следующим шагом явилась схема районирования, выдвигавшая в качестве главной площадной единицы расчленения областей кимберлитового вулканизма кимберлитовое поле, под которым понимался обособленный участок развития кимберлитов, близких не только по геотектоническому положению, но также и по термодинамическому режиму формирования, степени алмазоносности и другим важным признакам. Большинство крупных ранее выделявшихся районов при этом расчленялось

на несколько полей. За термином «район» в дальнейшем рекомендовалось сохранять чисто географическое значение и применять его для собирательного обозначения сравнительно компактных площадей развития кимберлитов вне зависимости от особенностей последних и принадлежности их к одному или нескольким кимберлитовым полям [31, 36].

Анализ пространственного распределения кимберлитовых полей, отличающихся по всем важнейшим особенностям пород, показал, что размещение их подчинено вполне определенным закономерностям: кимберлиты алмазной субфации тяготеют к центральным частям областей ультраосновного и щелочно-ультраосновного вулканизма; вокруг таких своеобразных ядер находится зона полей совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций с подчиненным количеством пород пикритовой фации, а на периферии присутствуют порфировые ультраосновные и щелочно-ультраосновные породы только пикритовой фации.

Концентрически-зональное строение областей проявления кимберлитового вулканизма, особенности геологии, вещественного состава и перспектив алмазоносности кимберлитов каждой из фациальных зон, а также генетические связи этих явлений с процессами эволюции верхней мантии нашей планеты детально рассмотрены в нескольких работах автора [31, 37, 39 и др.], и поэтому снова возвращаясь к этим вопросам нецелесообразно.

Выбор принципов и конечный итог разработки оптимальных схем районирования определяется целевым назначением его. Для решения наиболее актуальных задач в деле изучения и поисков коренных месторождений алмазов были предложены две различные, но взаимодополняющие схемы: геолого-генетического и геолого-экономического районирования [36].

Главной задачей геолого-генетического районирования в областях проявления платформенного ультраосновного и щелочно-ультраосновного вулканизма вообще и областей проявления кимберлитового вулканизма в особенности является выделение в их пределах площадей, отличающихся по условиям образования и, следовательно, по перспективам алмазоносности кимберлитов. Такое районирование служит целям научно обоснованного прогнозирования и направления поисковых работ, а также способствует систематизации и анализу фактических данных на генетической основе при научных исследованиях. Необходимость учета термодинамических (фациальных) особенностей кимберлитового вулканизма при расчленении областей его проявления на участки, различающиеся по перспективам алмазоносности, обусловлена тем, что специфика формирования коренных месторождений алмазов является причиной, а степень алмазоносности пород — следствием.

Прикладное значение районирования существенно повышается при использовании наряду с геолого-генетическими еще и геолого-экономических принципов, что позволяет определять границы площадей, не только наиболее перспективных для выявления богатых алмазами кимберлитов, но и удовлетворяющих требованию о минимизации затрат на поисковые работы и промышленное освоение новых месторождений.

Затраты средств и времени на выявление и предварительную оценку степени алмазоносности кимберлитов при прочих равных условиях зависят от геологического строения района. Наиболее неблагоприятны для поисков коренных месторождений алмазов территории, характеризующиеся широким площадным развитием на поверхности или вблизи от нее сильномагнитных пород, а также наличием моих осадочных толщ, сформировавшихся после внедрения кимберлитов. В таких районах затруднено проведение магниторазведки, применение шлихового, мелкообъемного и геохимических методов поисков. Затраты на подготовку и ввод в эксплуатацию каждого нового месторождения при прочих равных условиях зависят от степени удаленности его от действующих горнорудных предприятий, разрабатывающих месторождения аналогичного типа, а также от путей сообщения, энергетических систем и т. п.

Параллельно с определением принципов и разработкой схем районирования проводилась конкретизация номенклатуры и ранговости соподчиненных элементов оптимального расчленения площадей распространения порфировых ультраосновных и щелочно-ультраосновных пород. Эти обширные территории распадаются на отдельные, иногда соприкасающиеся между собой области, которые предложено отождествлять с наиболее крупными среди единых в геолого-генетическом отношении форм проявления платформенного ультраосновного вулканализма. В центральных и средних частях каждой области распространены породы кимберлитовой фации, а на периферии они вытесняются породами пикритовой фации. Породы обеих фаций являются продуктами единого процесса в верхней мантии и составляют, таким образом, генетический ряд. Однако существенные различия термодинамического режима зарождения и эволюции расплавов обусловили принципиальную неравноценность двух этих групп пород в практическом отношении. В связи с этим в качестве самостоятельных подразделений (провинций) целесообразно выделять лишь кимберлитовые «ядра» областей ультраосновного вулканализма, а площади развития пород пикритовой фации следует рассматривать как пограничные шлейфы соответствующих кимберлитовых провинций.

В итоге всестороннего анализа и последующего синтеза специализированных работ по изучению геологии, закономерностей пространственного размещения и генезиса кимберлитов предложена следующая формулировка термина «кимберлито-

вавая провинция»: кимберлитовая провинция представляет собой обширную территорию обычно субизометрических очертаний, в центре которой развиты ранние кимберлиты, сформировавшиеся при максимальных температурах и давлениях, в мезозои— более молодые кимберлиты, возникшие при средних, а на периферии — поздние кимберлиты, образовавшиеся при минимальных термодинамических параметрах кимберлитовой фации, и комагматические им порфировые ультраосновные породы пикритовой фации платформенного магматизма.

Во всех крупных провинциях в ядре располагаются кимберлиты алмазной субфации, средняя зона характеризуется совместным распространением кимберлитов алмазной и пироповой субфаций, а на периферии развиты кимберлиты пироповой субфации и комагматические им порфировые ультраосновные и щелочно-ультраосновные породы пикритовой фации и карбонатиты. В кимберлитовых провинциях вблизи рифтовых областей, а иногда и на окраинах платформ центральная зона отсутствует или слаборазвита, а периферийная обычно достигает относительно больших размеров и характеризуется широко развитыми щелочно-ультраосновными породами и карбонатитами, которые в количественном отношении нередко преобладают над кимберлитами. Кимберлитовые провинции второго типа названы неполнозональными. Зарождение и дифференциация ультраосновных магм при формировании неполнозональных кимберлитовых провинций происходили при сравнительно пониженных (как крайних, так и средних) значениях давления и температуры. По числу и богатству коренных месторождений алмазов такие провинции уступают полнозональным.

Изложенное позволяет заключить, что наиболее крупными элементами, на которые целесообразно расчленять кимберлитовые провинции, являются зоны распространения кимберлитов алмазной субфации, совместно алмазной и пироповой субфаций и чисто пироповой субфации.

Границы зон в пределах установленных площадей развития кимберлитов проводятся между полями, породы которых относятся к различным субфациям кимберлитовой фации. На тех участках, где кимберлиты пока не обнаружены, но установлена алмазоносность аллювиальных отложений, границы зон могут быть проведены на основе морфологических особенностей кристаллов алмаза, извлеченных при поисковом опробовании русловых отложений. Прогнозирование фациальной принадлежности коренных источников по морфологии кристаллов алмаза из россыпей было выполнено для большинства районов Сибирской платформы [31]. В некоторых из этих районов проводились дальнейшие поиски и были найдены кимберлиты, фациальная принадлежность и алмазоносность которых оказались в полном соответствии с прогнозами [35].

Таким образом, расчленение кимберлитовых провинций на зоны базируется на прямых и косвенных данных о фациальной принадлежности кимберлитов, развитых в различных участках соответствующих провинций. Географические, тектонические и другие принципы определяющего значения при этом не имеют. Значит, субфациальными зонами могут быть названы концентрические области кимберлитовой провинции, в границах каждой из которых объединяются площади распространения кимберлитов, сформировавшихся в близких термодинамических условиях, т. е. области развития кимберлитов алмазной, совместно алмазной и пироповой и «чисто» пироповой субфации соответственно.

В пределах субфациальных зон участки локализации кимберлитового вулканизма целесообразно выделять в качестве кимберлитовых полей, а не районов, сохранив термин «кимберлитовый район» в его исторически сложившемся собирательном значении термина свободного пользования для обозначения компактных площадей развития кимберлитов без учета особенностей формирования последних, единства или различий структурного контроля и т. п. Следовательно, название «кимберлитовое поле» надо применять к обособленному участку распространения кимберлитов, развитие которых происходило при близких термодинамических (фациальных) условиях в узком возрастном диапазоне.

Неравномерность проявления кимберлитового вулканизма в пространстве выражается не только в существовании обособленных полей, но и в дискретном характере распределения кимберлитов в каждом отдельно взятом поле, где наблюдается отчетливо выраженная тенденция трубок располагаться в виде линейных групп и кустов, трассирующих проекцию магмодоказливущих разломов на дневную поверхность. Линейные группы и кусты дайтрем и даек, представляющие собой наиболее крупный элемент расчленения кимберлитовых полей, распадаются на отдельные тела, которые, в свою очередь, подразделяются на слагающие их генерации кимберлитовых пород, являющиеся минимальным элементом расчленения областей кимберлитового вулканизма. Расчленение на группы тел, трубки взрыва, силлы и дайки и, наконец, на отдельные генерации пород совершенно необходимо при крупномасштабных исследованиях, и в частности при изучении структуры кимберлитовых полей.

---

## **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ**

Кимберлиты обнаружены на большинстве древних платформ. Проявления кимберлитового вулканизма, по всей вероятности, имели место и в пределах кратонов, где коренные источники алмазов пока не обнаружены. Все имеющиеся к настоящему времени фактические данные и теоретические представления свидетельствуют о том, что кимберлитовый вулканализм — явление, характерное лишь для кратонов и обусловленное спецификой эволюции верхней мантии под обширными платформенными областями планеты. Встречающиеся иногда упоминания о присутствии «кимберлитоподобных» ультраосновных пород в складчатых областях сомнительны и нуждаются в проверке. Вместе с тем с теоретических позиций не исключена возможность нахождения кимберлитов в пределах срединных массивов. Образование их в этих случаях относится к платформенной эпохе геологического развития соответствующих регионов.

Признавая исключительную приуроченность кимберлитового вулканализма к древним платформам, исследователи значительно расходятся в вопросе о главнейших факторах локализации кимберлитов. Представления о ведущей (и даже исключительной) роли глубинных разломов в пространственном размещении кимберлитов возникли в начале века и находят сторонников до настоящего времени [3, 63, 81, 83]. Региональные зоны глубинных разломов, с которыми связывается локализация кимберлитов, проводятся как относительно спрямленные линии, соединяющие два или несколько кимберлитовых полей. Подавляющая часть таких зон не подтверждается ни геологическими, ни геофизическими данными, в связи с чем рисовка их в значительной мере определяется представлениями авторов.

Особый интерес среди указанной группы гипотез имеют представления М. Барде. Размещение кимберлитов в Западной и Южной Африке и Сибири он связывает с глубинными разломами, которые, несмотря на существенные различия их возраста, располагаются в виде правильной геометрической сети, ориентированной под углом около  $45^{\circ}$  к современному направлению север — юг. Возникновение таких разломов, по мнению

М. Барде, является следствием особых динамических нагрузок в процессе вращения Земли [79]. При несомненной привлекательности эта гипотеза не согласуется с неоспоримыми данными о миграции полюсов Земли и континентального дрейфа.

Некоторые исследователи, анализируя размещение кимберлитов в масштабах платформ, приходят к выводу о приуроченности кимберлитового вулканизма к платформенным структурам первого порядка, оставляя за разрывными нарушениями роль второстепенного фактора локализация. Благоприятными структурами для проявления кимберлитов признаются палеозойские [4] и мезозойские [70] синеклизы, краевые части антеклиз [52], а также участки с пониженной [65] или повышенной [20] мощностью осадочного слоистого чехла платформ.

Весьма оригинальной точки зрения о тенденциях и закономерностях пространственного распределения кимберлитов придерживается У. Шарп [90]. Согласно его представлениям, внедрение кимберлитов является прямым следствием тектоники плит и связывается с активностью на самых глубоких горизонтах подвижных плит. Высказывается предположение о том, что кимберлитовые трубки, возникшие в ряде регионов во время столкновения плит, или уже разрушены эрозией, или еще не обнажились. Зоны кимберлитовых трубок и даек, по мнению У. Шарпа, должны быть параллельны складчатым горным поясам. Он считает, что примерами, подтверждающими такое распределение кимберлитов, могут служить южноафриканские кимберлиты, ассоциирующие с Капским складчатым поясом, североамериканские, располагающиеся вблизи Аппалачской горной цепи, и сибирские кимберлиты. Дополнительным подтверждением гипотезы, по его мнению, явилось бы открытие относительно молодых кимберлитов в глубоководных океанических впадинах, параллельных современным подвижным дуговым зонам.

Наряду с отмеченными выше крайними, подчас взаимоисключающими точками зрения получили развитие представления о достаточном многообразии структурно-тектонического плана и относительной выдержанности геотектонических условий проявления кимберлитового вулканизма [1, 17, 78 и др.]. Было подмечено, что наиболее общей геотектонической закономерностью проявления кимберлитового вулканизма является приуроченность его к крупным структурам, характеризующимся длительным, медленным и устойчивым воздыманием. Подавляющее число кимберлитовых полей земного шара располагается в пределах антеклиз. Отрицательные результаты поисков кимберлитовых дигатрем в синеклизы обусловлены, по всей вероятности, захоронением их под мощными толщами более молодых образований.

Выполненные за последние годы исследования термодинамических условий формирования кимберлитов и связи кимбер-

литообразования с эволюцией верхней мантии позволяют рассматривать проблему локализации кимберлитового вулканизма не только в плане увязки его с тектоникой осадочного чехла и фундамента платформы, но и с привлечением для этой цели материалов по строению более глубинных частей литосферы.

По масштабности влияния на пространственное размещение кимберлитов представляется целесообразным выделять следующие категории геологических явлений, которые определяют: 1) местоположение и размеры каждой единой в геолого-генетическом отношении области проявления кимберлитового вулканизма — провинции; 2) местоположение кимберлитовых полей в пределах каждой провинции; 3) размещение групп и отдельных кимберлитовых тел в пределах поля [34, 40].

К первой категории факторов локализации кимберлитов относятся наиболее глубинные процессы, зарождавшиеся в верхней мантии на глубине около 300—400 км и распространяющиеся затем до нижних горизонтов земной коры. Главным механизмом их проявления являлись, по всей вероятности, конвективные течения, в ходе развития которых огромные массы разогревшегося и разуплотнившегося субстрата «всплывали» к подошве земной коры. Поднятое конвективными потоками глубинное вещество, достигнув верхних горизонтов мантии, не распространялось по строго горизонтальным направлениям, а использовало для этого пути наименьшего сопротивления. Вследствие этого верхняя поверхность возникавшей в итоге данного процесса гигантской «линзы» глубинного вещества на одних участках находилась в непосредственной близости от подошвы земной коры, а на других отделялась от последней мощными толщами относительно холодного «местного» субстрата.

Ведущим механизмом автономного перемещения кимберлитовых расплавов в верхней мантии являлась зонная плавка [33, 37, 39, 42]. Ввиду относительно небольших размеров очагов кимберлитовая магма успешно продвигалась лишь в поднявшемся с глубин разогретом субстрате. При переходе в сравнительно холодные породы, слагающие верхние горизонты мантии, движение кимберлитовых магм по механизму зонной плавки сопровождалось значительными потерями тепла и «затухало» на протяжении первых километров. Отсюда следует, что хотя кимберлитовые расплавы возникали в различных частях охваченного конвективным течением гигантского блока субстрата, подошвы земной коры (а при соответствующих условиях и ее поверхности) они могли достигнуть лишь на тех участках, где поднявшийся с глубины субстрат оказывался в непосредственной близости от основания земной коры.

Подъем в верхние горизонты мантии и тангенциальное растекание огромных масс глубинного вещества вблизи раздела Мохоровичича сопровождалось воздыманием обширных участков земной коры, которые подвергались интенсивной денуда-

ции. Там, где поднявшиеся разогретые массы входили в контакт с основанием земной коры, они, по-видимому, вызывали частичную базификацию слагающих кору пород. Развитие процессов базификации и денудации приводило к утонению земной коры на соответствующих участках по сравнению с соседними регионами.

На основании изложенного следует заключить, что наиболее благоприятными для проявления кимберлитового вулканизма являются участки платформы, характеризующиеся пониженней толщиной земной коры и минимальным расстоянием между подошвой коры и кровлей «линзы» поднявшегося с глубины субстрата. Автор не располагает материалами, необходимыми для проверки наличия, определения конфигурации и оценки глубины залегания кровли «линз» глубинного субстрата ни под одной из платформ. Однако анализ пространственного распределения кимберлитов на схеме глубинного строения Сибирской платформы со всей очевидностью свидетельствует о приуроченности кимберлитовых полей к районам с минимальной глубиной залегания поверхности Мохоровичча, пониженней толщиной консолидированной коры и отчасти базальтового слоя [42—44]. Не менее отчетливая приуроченность кимберлитовых и пикритовых полей к участкам с пониженней толщиной земной коры устанавливается также в пределах Северо-Американской платформы [39].

Локализация кимберлитовых полей на некоторых сравнительно небольших участках в пределах достаточно обширных территорий с понижённой толщиной земной коры явилась результатом геологических процессов, которые согласно выше-приведенному перечню отнесены ко второй категории. В связи с этим обусловленные данными процессами факторы локализации кимберлитов также относятся ко второй категории и могут быть названы «факторами-2». Анализ размещения кимберлитовых полей в пределах платформ в целом и территорий с пониженной толщиной земной коры в частности показывает, что зоны глубинных разломов, крупнейшие разломы и современные структуры кристаллического фундамента не могут рассматриваться в качестве факторов-2 локализации кимберлитового вулканизма. Размещение подавляющего большинства кимберлитовых полей Сибири и Южной Африки не имеет выраженной связи с крупными разломами и с глубиной залегания кристаллического фундамента платформы.

Пассивность крупнейших разломов в деле локализации кимберлитового вулканизма в еще более наглядном виде проявляется при детальных исследованиях. Так, в одном из наиболее изученных регионов Сибирской платформы (бассейны рек Малая и Большая Куонамки) устанавливается, что даже крупнейший сброс с амплитудой до нескольких сотен метров и протяженностью более 300 км, по которому приведены в контакт

различно дислоцированные толщи фундамента, не использовалась кимберлитовой магмой при движении ее к земной поверхности. Кимберлитовые тела не локализуются в зоне этого разлома, а размещаются в пределах западного, поднятого блока [34].

Таким образом, фактические данные противоречат широко распространенной точке зрения о локализации кимберлитовых полей в зонах крупнейших разломов. Результаты комплексного анализа геологических и геофизических материалов позволяют заключить, что такие разломы не являлись магмоподводящими в эпохи кимберлитового вулканизма, но разграничивали крупные блоки фундамента, различающиеся по физико-механическим свойствам пород.

При анализе вероятных причин избирательного, а не по-всеместного распространения кимберлитов на площадях с неглубоким залеганием поверхности Мохоровичича следует иметь в виду, что различные участки земной коры существенно различаются по составу пород, тектоническому развитию и т. п., а поэтому не могут обладать идентичной монолитностью и, следовательно, одинаковой проницаемостью для магматических расплавов. Совершенно очевидно, что площадь участков повышенной проницаемости (как и любых других экстремальных свойств) весьма мала не только по сравнению с площадями областей проявления кимберлитового вулканизма, но и относительно территорий с уменьшенной толщиной земной коры.

Участки повышенной проницаемости, характеризующиеся, вероятно, существенным нарушением монолитности пород, могут быть, по-видимому, выявлены при целенаправленных исследованиях. Одно из направлений таких исследований должно опираться на результаты ранее выполненных геофизических работ, по материалам которых необходимо составить среднемасштабные схемы глубинного строения и хотя бы примерно оконтурить зоны повышенной проницаемости на площадях с положительными значениями фактора-1 локализации кимберлитового вулканизма. В качестве второго направления можно привести детальное глубинное сейсмическое зондирование в комплексе с методом обменных волн землетрясений и среднемасштабными гравиметрическими наблюдениями.

Третье направление исследований осуществляется геологическими методами. Решение задачи при этом в известной мере облегчается практической синхронностью (в геологических масштабах времени) внедрения кимберлитов в пределах каждого отдельно взятого поля. Это обстоятельство избавляет от необходимости коррелировать наблюдаемое (или предполагаемое) размещение кимберлитов со всем многообразием геолого-тектонических особенностей региона: достаточно восстановить палеотектоническую обстановку на соответствующих участках территории в период, предшествовавший началу кимберлитового вулканизма в данном районе.

Установлена отчетливая зависимость термодинамического режима и масштабов кимберлитового вулканизма от проницаемости земной коры в масштабах отдельно взятого поля и предложены приемы для количественной оценки ее. Теория вопроса и вывод формулы для приближенных оценок проницаемости коры изложены в специальных работах автора [37, 38], и к ним мы еще вернемся в последующих главах данной монографии.

Последняя, третья категория факторов локализации кимберлитов согласно вышеприведенной схеме классификации определяет размещение кимберлитовых тел в пределах отдельно взятого поля. Поскольку размещение трубок взрыва и даек неразрывно связано со структурами кимберлитовых полей, поскольку весь комплекс этих вопросов детально рассматривается в соответствующих главах этой работы.

---

### **ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВАЖНЕЙШИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ**

Согласно приведенной ранее схеме районирования кимберлитовых провинций кимберлитовое поле должно быть отнесено к среднему звену расчленения областей кимберлитового вулканизма, наиболее крупным генетически единым подразделением которых является провинция, а самым мелким — однофазная диатрема.

Для кимберлитовых полей вообще, а для полей развития кимберлитов алмазной субфации в особенности правомочны определенные аналогии с рудными полями. В литературе по геологии месторождений полезных ископаемых формулировки понятия «рудное поле» даются в весьма обобщенном виде и в применении к областям развития кимберлитов не позволяют выделять такие кимберлитовые районы (поля), где породы характеризуются непромышленным (по современным кондициям) содержанием или практически лишены алмазов. Так, например, в широко известной работе В. М. Крейтера [22] приведено следующее определение: «Под рудным полем (узлом, группой) понимается участок земной коры, включающий серию пространственно сближенных одновозрастных или близких по времени образования и генетически родственных эндогенных месторождений (а также, возможно, еще не обнаруженных аналогичных месторождений), обычно отделенных от других рудноносных участков большими пространствами, на которых развиты обильные мелкие проявления минерализации, но промышленные накопления отсутствуют» [22, с. 250].

Поскольку термин «кимберлит» не тождествен, а шире, чем название «руды на алмазы», постольку понятие «кимберлитовое поле» является более общей категорией, чем «поле коренных месторождений алмаза». Фактическая и потенциальная степень алмазоносности кимберлитов является прямым следствием термодинамических (фациальных) условий образования пород [31]. Эти положения учтены в единственном опубликованном определении термина «кимберлитовое поле», которое сформулировано следующим образом: кимберлитовое поле — обособленный участок развития кимберлитов, формирование которых происходило при близких термодинамических (фациальных) и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне. Границы поля устанавливаются по положению магмоограничивающих разломов [34, 36]. Поскольку ни критических замечаний, ни предложений по уточнению вышеупомянутого термина за истекшие годы не появилось, мы принимаем такую формулировку и в данной работе.

Имеющиеся в литературе определения термина «структура рудного поля» акцентируют внимание на тектонике района в плане изучения последовательности развития отдельных нарушений и влияния их на локализацию и характерные особенности генетически связанных между собой эндогенных месторождений. Так, в частности, у В. М. Крейтера читаем: «Под структурой рудного поля понимается совокупность структурных элементов (в исторической последовательности развития), влияющих на размещение, локализацию и характер эндогенных месторождений, связанных общностью происхождения» [22, с. 250].

Изучение внутреннего строения кимберлитовых полей также нельзя ограничивать исследованием какой-нибудь одной, пусть даже очень важной, особенности вулканизма в пределах соответствующего участка территории, оно должно включать комплекс работ, направленных на выяснение большинства частных вопросов, из которых складывается проблема, называемая в целом «структурой кимберлитовых полей».

При несомненной важности выявления закономерностей размещения диатрем в пределах поля и прослеживания связи их с тектоническими нарушениями осадочного чехла и фундамента платформы эти вопросы не исчерпывают, а касаются лишь двух сторон многогранной и весьма сложной проблемы. Успешная расшифровка внутреннего строения кимберлитовых полей требует также определения физико-химических условий формирования и эволюции различных порций кимберлитовой магмы, относительного возраста и тектонической обстановки их внедрения в верхние горизонты земной коры, петрохимических, геохимических, минералогических особенностей последовательных генераций пород и др.

Изложенное позволяет дать следующее определение предмета, результатам исследований которого посвящена настоящая

работа. Структура кимберлитового поля — строение кимберлитового поля, в широком смысле слова — совокупность его признаков, определяемых распределением в пространстве, относительным временем, условиями образования и залегания, вещественным составом всего многообразия развитых здесь кимберлитовых и пикритовых пород, геологическим строением территории и физическими полями в ее пределах. В более узком значении этот термин охватывает признаки, обусловленные размещением в пределах поля порфировых ультраосновных пород, отличающихся условиями образования, формой и размерами тел, возрастом, химическим и минералогическим составом, количеством и качеством содержащихся в них алмазов.

Таким образом, главнейшими составными элементами, определяющими структуру кимберлитового поля в указанном выше объеме этого термина, являются тектонические нарушения, ответственные за размещение и локализацию трубок взрыва, даек и силлов, физические поля как отражение геологического (в особенности глубинного) строения территории, а также общее пространственное распределение и приуроченность к различным группам нарушений кимберлитовых и пикритовых пород, отличающихся относительным возрастом внедрения, термодинамическим режимом формирования, степенью дифференциации, петрохимическими и минералогическими особенностями, степенью и характером алмазоносности.

Общепринятые методы определения, способы выражения, а при необходимости и количественных оценок большинства названных элементов отсутствуют. В связи с этим наряду с кратким историческим обзором предыдущих исследований и показом значимости всех перечисленных характеристик для познания внутреннего строения кимберлитовых полей ниже, в соответствующих главах монографии, приводятся также оптимальные, по нашему мнению, методы их анализа и интерпретации.

---

## **ФОРМА КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ ПОЛЕЙ**

### **МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ**

Типичной формой залегания кимберлитовых пород являются разнообразные по конфигурации трубчатые тела — так называемые трубки взрыва, или диатремы. Довольно обычны также дайки, а в отдельных районах встречаются и кимберлитовые силлы.

Трубки взрыва в целом могут быть охарактеризованы как конусовидные тела, обращенные вершиной вниз. Убывание площади поперечного сечения с глубиной наблюдается у всех без исключения диатрем. У единичных трубок («Кроун-Даймонд-Майн», «Удачная», «Москвичка») вблизи от современной поверхности наблюдались небольшие «раздувьи», ниже которых эти тела опять приобретают типичную для кимберлитовых диатрем конусовидную форму.

Скорость убывания площади поперечного сечения при погружении связана функциональной зависимостью с углами наклона «стенок» трубчатой полости. Эта величина меняется от трубки к трубке, обнаруживая в некоторых случаях очень сильную изменичивость. Так, если площадь поперечного сечения трубки «Кимберли» на каждые 100 м погружения убывает в среднем на 8, трубок «Дебирс» и «Мир» — на 13—14%, то соответствующий показатель для трубки «Робертс-Виктор» — 56, а для трубки «Святой Августин» — 68%.

Однако, несмотря на имеющие место единичные существенные отклонения, форма кимберлитовых трубок в первом приближении может быть отождествлена с конусом, угол при вершине (между образующими) которого равен 10—15°. Отсюда следует, что по размерам выхода кимберлитовой диатремы на дневной поверхности можно примерно оценить вероятный объем ее. С целью упрощения таких оценок была построена nomogramma для перехода от наблюданной в плане площади к прогнозному объему кимберлитовых трубок при отождествлении их формы с конусом, угол между образующими которого равен 12° [41].

Сходные результаты получены и в итоге анализа данных по верхним и средним горизонтам 11 африканских диатрем (рис. 1, табл. 1) [85]. Небольшое занижение по сравнению с нашими данными ( $84^\circ$ ) среднего угла наклона бортов диатремы является следствием того, что Дж. Б. Хаусорн исключил из расчетов нижние и отчасти средние горизонты трубок взрыва (табл. 1).

С глубиной не только убывает площадь поперечного сечения кимберлитовых трубок, но и происходит их «сплющивание», в итоге чего они постепенно переходят («вырождаются») в дайки. Глубина такого перехода в общем случае различна для каждой диатремы. Так, например, трубка «Кимберли» переходит в дайку на глубине 1073 м, трубка «Святой Августин» — 244 м, трубка «Дебирс» — 732 м и т. д.

Кимберлитовые трубки на уровне современного среза достаточно разнообразны по форме. Встречаются тела почти правильной окружной или овальной формы, с ровными и изрезанными границами. Широко распространены удлиненные и сильно вытянутые, линзовидные в плане сплюснуто-трубчатые тела, иногда переходящие по простирианию в дайки. Встречаются так-

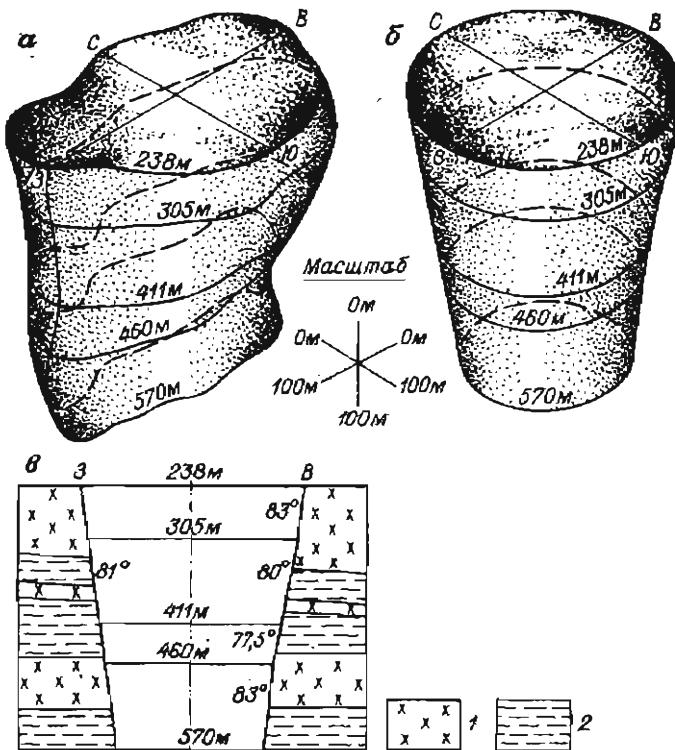


Рис. 1. Изометрические проекции и вертикальный разрез кимберлитовой трубы «Яггерсфонтейн», по Дж. Б. Хаусорну [85].

а — изометрические проекции различных горизонтов трубы; б — изометрические проекции кругов, равных по площади сечениям трубы на соответствующих горизонтах; в — вертикальный разрез идеализированной трубы, отражающей понтиервальные («межгоризонтные») углы и средний угол ее склонов. 1 — долериты Карру, 2 — сланцы Карру.

же амебовидные, грибообразные и других причудливых очертаний диатремы.

Принимая во внимание четкую тенденцию к убыванию степени изометричности поперечного сечения трубок взрыва с глубиной и переход их корневых частей в дайки, мы различаем две основные и связанные постепенными переходами морфологические группы диатрем: собственно трубы взрыва (изометричные и овальные в плане) и сплюснутые трубчатые тела (сильно вытянутые и линзовидные в плане). У тел первой группы отношение длинных и коротких в плане осей 1:1—1:3, у второй — 1:3—1:10.

Площадь кимберлитовых диатрем в плане на уровне современного среза или под чехлом более молодых образований весьма изменчива: от 0,01 до 141,6 га (на Сибирской платфор-

ТАБЛИЦА 1

Средние углы наклона бортов кимберлитовых трубок,  
по Дж. Б. Хаусорну [85]

Трубки	Интервалы глубин, м	Число используемых горизонтов	Средний угол наклона, градусы
«Премьер»	170—538	5	84*
«Филип»	88—348	2	82‡
«Дюттспен»	0—411**	4	79***
«Коффифондейн»	46—244	3	85*
«Весселтон»	250—470	3	81***
«Ягерсфонтейн»	238—570	5	81***
«Бултфонтейн»	296—670	3	83***
«Дебирс»	105—300	3	84***
«Кимберли»	91—294	4	80
«Вест-Энд»	0—165**	2	81
«Као»	0—90****	2	85*
Средний угол			82

\* Нет точных данных о площади трубы на большей глубине.

‡ Контур на дневной поверхности не надежен.

\*\* На большей глубине стени диатремы извивистые к ее вертикальные.

\*\*\*\* По данным бурения.

ме до 50 га). Во всех полях, где выходы кимберлитов достаточно многочисленны (свыше 10), площадь крупнейших трубок в сотни раз превышает площадь самых мелких из обнаруженных здесь диатрем. Примечательно, что между крайними наблюдаются все промежуточные значения площадей трубок взрыва (рис. 2). Распределение площади диатрем Центральносибирской провинции аппроксимируется логарифмически-нормальным законом (рис. 3).

Изложенное позволяет заключить, что защищаемое некоторыми исследователями положение о существенно дискретном распределении размеров диатрем противоречит фактическим данным, а следующий из него вывод о наличии в каждом кимберлитовом поле одной, реже двух крупных (главных) трубок, сопровождаемых значительно уступающими им по размеру «сателлитными» диатремами [73], представляется умозрительным.

Около 30% диатрем сложено 2—3 генерациями кимберлитовых пород. Во всех хорошо изученных телах устанавливается, что кимберлиты (массивные) внедрялись позднее эруптивных брекчий и туфобрекчий. Участки диатрем, сложенные различными генерациями кимберлитовых пород, как правило, существенно различаются по характеру и напряженности магнитного поля, а в некоторых случаях над такими участками в пре-

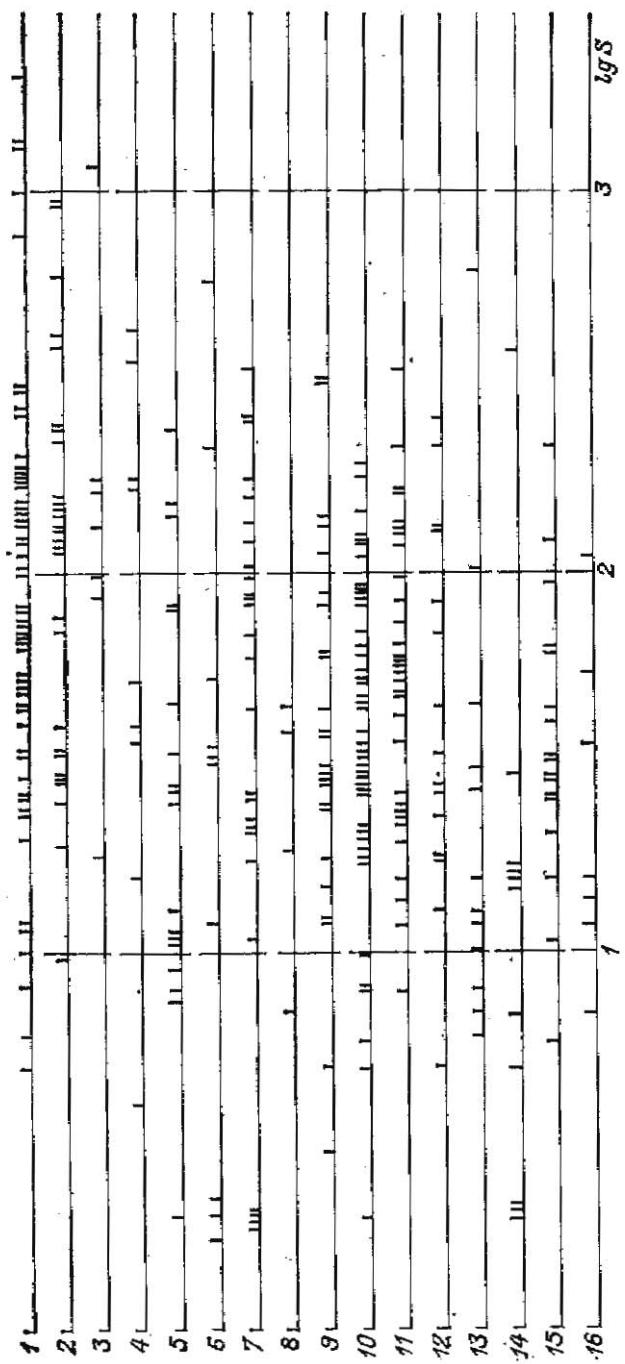


Рис. 2. Площадь (в плане) кимберлитовых диатрем в главнейших кимберлитовых полях Центральносибирской провинции.  
 $S$  — площадь диатрем (в условных единицах). Поля: 1 — Далынское, 2 — Мархино-Алакитское, 3 — Малоботубинское, 4 — Верхнемунуское,  
5 — Чомурдахское, 6 — Курганское, 7 — Омюнос-Суханское, 8 — Омюнос-Укуйтское, 9 — Лучаканско, 10 — Нижнекунаамское, 11 — Среднесуо-  
наамское, 12 — Мартымдемское, 13 — Верхнемолодильское, 14 — Беенчиме-Куйинское, 15 — Джокенское, 16 — Нижнеукунитское.

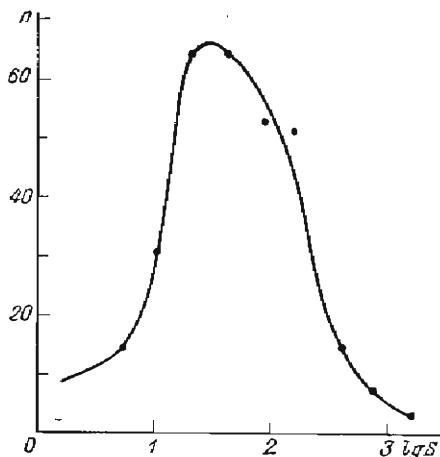


Рис. 3. Частота встречаемости кимберлитовых диатрем различной площади в Центральносибирской провинции (по данным рис. 2).

$S$  — площадь диатрем (в условных единицах).

делах одного и того же тела наблюдаются магнитные поля противоположного знака. Разнонаправленное остаточное намагничение некоторых генераций пород отдельно взятого тела является указанием на значительные интервалы времени, разделяющие периоды их образования.

Для внутреннего строения кимберлитовых диатрем характерно наличие первичных текстур течения (в массивных кимберлитах и эруптивных брекчиях) и первичных трещин отдельности — поперечных, продольных, пластовых. Трещиноватость ранних генераций пород в телах сложного строения значительно усложнена за счет наложения на первичные трещины систем трещиноватости, связанных с напряжениями, имевшими место при внедрении последующих порций кимберлитовой магмы [26].

Вмешающие породы около кимберлитовых трубок обычно дислоцированы и, как правило, наклонены в стороны от контактов, реже в направлении диатрем. В большинстве случаев зона нарушения невелика, и лишь у некоторых трубок она достигает 100 м и более. В экзоконтактах диатрем развиты зоны дробления, образование которых принято связывать с процессами формирования жерл. Трещины в пределах этих зон нередко заполнены многочисленными мелкими дайками кимберлита, обычно не выдержаными по мощности и простианию [57].

Дайки кимберлитов встречаются практически во всех районах проявления кимберлитового вулканизма. Однако если в одних районах на уровне дневной поверхности они единичны, а в других обычны, то в некоторых районах даек значительно больше, чем трубок взрыва. При наличии на одном участке нескольких даек они обычно располагаются «цепочками», кулисообразно или веерообразно. Принято выделять следующие типы даек: а) служившие подводящими каналами для диат-

рем; б) внедрившиеся по трещинам в уже затвердевшие кимберлитовые породы, заполняющие трубы взрыва; в) развитые в зонах дробления на экзоконтактах диатрем; г) не имеющие видимой территориальной и генетической связи с трубками взрыва и силлами.

Дайки первого типа, как правило, значительно превосходят по мощности и протяженности трещинные интрузии кимберлитов, относимые ко второму и третьему типам. Мощность их 10—15, чаще до 5 м, а длина несколько километров. Нередко такие дайки имеют субизометрические или линзовидные в плане раздувы, ширина которых доходит до первых десятков метров. В тех случаях, когда раздувы выполнены эруптивной брекчией или туфобрекчией кимберлитов, принадлежность их к корневым частям трубок взрыва может считаться доказанной. При массивной текстуре кимберлита, заполняющего линзовидный в плане раздув, идентификация последнего с корневой частью диатремы затруднительна, поскольку он может представлять собой локальное расширение трещины. На участках четко выраженных зон дробления и рассланцевания дайки рассматриваемого типа иногда вырождаются в серии крутоопадающих ветвящихся мелких даек и прожилков, не выдержаных по мощности и простиранию.

Дайки, внедрившиеся по трещинам в уже затвердевшие кимберлитовые брекчи, не выходят за пределы трубок. Они часто отличаются по составу от кимберлитового цемента брекчии (обычно в сторону повышенного содержания слюды) и в большинстве случаев образовались, по-видимому, в результате внедрения небольших порций остаточных кимберлитовых расплавов. При заполнении первичных трещин отдельности в кимберлитовых брекчиях дайки описываемого типа нередко обладают ступенчатой конфигурацией в разрезе и незначительной мощностью. Дайки, встречающиеся в зонах дробления у контактов кимберлитовых трубок, упоминались при характеристике последних.

К четвертому типу относятся дайки, располагающиеся обычно в одиночку на значительном (многие километры) расстоянии от известных трубок взрыва, силлов и роев даек. Мощность их от долей метра до первых метров, а прослеженная длина от нескольких десятков до первых сотен метров. Раздувы у них не наблюдались. Возможно, что образование таких даек протекало на конечных этапах кимберлитового магматизма при относительно спокойном заполнении трещин расплавами с пониженным содержанием летучих, что характерно для периодов затухания вулканизма. Вместе с тем нельзя исключать и имеющую в ряде случаев недостаточную опоискованность отдельных участков распространения таких даек и возможность нахождения там еще не обнаруженных кимберлитовых диатрем и силлов.

Силлы составляют незначительную долю общего числа выявленных к настоящему времени кимберлитовых тел. Это обусловлено, вероятно, как сравнительно небольшим распространением их в природе, так и значительными трудностями обнаружения этих маломощных пластиообразных тел среди практически горизонтально залегающих толщ в условиях слабо расчлененного рельефа платформенных областей. Мощность силлов изменяется от единиц до первых десятков метров, а площадь не превышает нескольких квадратных километров [84].

## **СВЯЗЬ МОРФОЛОГИИ И РАЗМЕРОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ С ЭРОЗИОННЫМ СРЕЗОМ**

Все кимберлитовые поля различаются между собой количественным соотношением трубок и даек, размерами и формой диатрем. По относительной распространенности трубок взрыва и даек выделяются пять групп кимберлитовых полей: 1) исключительного распространения трубчатых тел; 2) преобладающего распространения трубок; 3) примерно одинакового распространения трубок и даек; 4) преобладающего распространения даек; 5) исключительного распространения даек кимберлитов.

Поля, где кимберлиты на уровне дневной поверхности залегают лишь в виде трубчатых тел, немногочисленны, причем в некоторых из этих полей дайки, возможно, имеются, но пока не обнаружены (Верхнемунское и др.). Ко второй группе относится большинство кимберлитовых полей Сибири и Африки. Примерно равное соотношение трубок взрыва и даек устанавливается в подчиненном числе кимберлитовых полей (Лучаканское, Омонос-Кутугунское и др.). Поля преобладающего развития даек редки (Као, Сефаду и др.), а исключительного — единичны (Сегела и др.).

Намечается отчетливая тенденция убывания средней площади и степени изометричности (в плане) диатрем в полях, относящихся к вышеперечисленным группам с большими порядковыми номерами.

Предпринимались попытки объяснить наблюдаемые отличия морфологии и средних размеров кимберлитовых тел в различных полях изменчивостью абсолютного значения эрозионного среза соответствующих участков территории [20]. Однако если бы размер диатрем на уровне современной поверхности зависел исключительно или главным образом от эрозионного среза, то в пределах каждого отдельно взятого района все трубы взрыва должны были бы иметь примерно одинаковый размер, причем наиболее крупные из них непременно находились бы на водоразделах, а наименьшие — в долинах рек. В природе, как известно, ничего подобного не наблюдается и площадь некоторых близлежащих диатрем, располагающихся примерно на одном гипсометрическом уровне, различается в сотни раз.

Сторонники постулата о возникновении кимберлитовых трубок на промежуточных очагах, формировавшихся на контакте чехла и фундамента платформы, вынуждены приписывать одинаковую глубину заложения всем диатремам каждого района. Тем самым полностью игнорируются существенные различия в давлении и активности последовательно поступавших из земных недр порций кимберлитовой магмы, а также весь богатейший фактический материал по геологии кимберлитов, и в частности надежно установленные разительные различия в глубине заложения смежных трубок взрыва («Кимберли» и «Святой Августин», «Мир» и «Спутник» и т. п.).

Дж. Б. Хаусорн [85] в итоге обобщения данных по некоторым алмазоносным диатремам Африканского континента построил идеализированную модель кимберлитовой трубки (рис. 4). При несомненной справедливости представленной модели в целом она вызывает ряд существенных замечаний.

Как следует из графического изображения модели и текста статьи, глубина заложения гипотетической идеализированной трубки принимается около 2 км, а диаметр ее первоначального устья — 1 км. Меньше, чем у модели, площадь поперечного сечения и глубины перехода в дайки практически у всех кимберлитовых диатрем связываются с денудационными процессами, благодаря которым на современную поверхность выводятся средние и даже нижние горизонты трубок взрыва. Однако с этих позиций трудно объяснить существенные различия (0,7—0,8 км) в глубине выклинивания трубок «Кимберли» и «Святой Августин», «Мир» и «Спутник», а также других парных диатрем, поскольку предположения о возможной денудации соответствующих участков территории на многие сотни метров за промежуток времени между образованием смежных диатрем не находят геологического подтверждения.

Такие противоречия не возникают, если колебания в глубине заложения диатрем связывать с изменчивостью активности и в первую очередь с неизбежными различиями давления кимберлитовых магм при формировании диатрем как в разных районах, так и в пределах одного поля. Напомним, что в общем случае давление магмы при образовании кимберлитов алмазной субфации в несколько раз превышало давление расплава, из которого возникали кимберлиты пироповой субфации [37, 39].

Сказанное не умаляет значения параметров идеализированной трубки, выведенных Дж. Б. Хаусорном на примере нескольких сравнительно высокоалмазоносных диатрем Африканского континента. Однако требуется одно весьма важное терминологическое уточнение: предлагаемая Дж. Б. Хаусорном модель — это модель не кимберлитовой трубки вообще, а кимберлитовой трубки с повышенным содержанием алмазов.

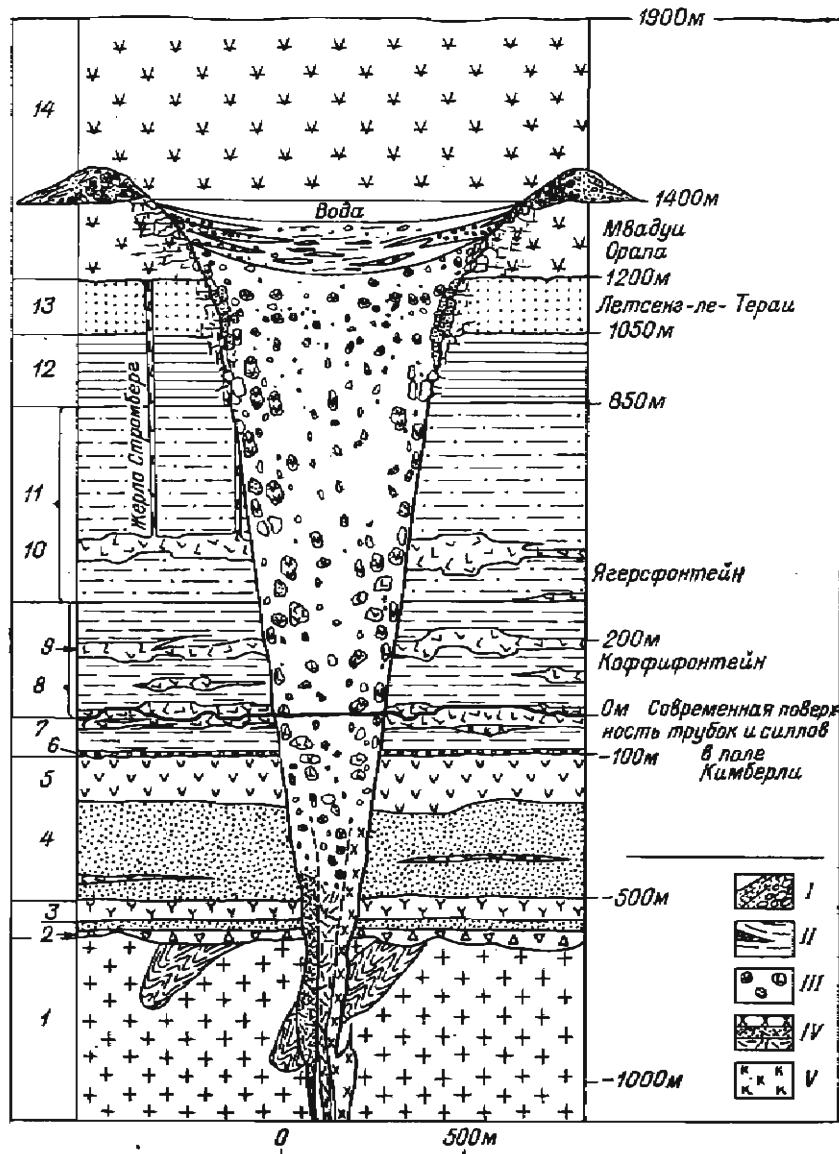


Рис. 4. Графическая модель кимберлитовой трубки, по Дж. Б. Хаусорну [85].

I — туфы вулканического конуса; II — тонко- и грубозернистые осадки; III — агломераты и туфы; IV — интрузивные брекчи; V — интрузивные кимберлиты (силлы).  
 I — первичные системы: древние гравито-гнейсы и сланцы; 2—5 — система Вентердорп; 2 — континентальные породы, 3 — кварцевые порфириты, 4 — кварциты, 5 — андезитовые лавы; 6—14 — система Карру: 6 — сланцы и тиллиты Двайка, 7, 9, 10 — долериты Карру, 8 — сланцы Экка, 11 — свита Бофорт, 12 — красные слои, 13 — пещерный песчаник, 14 — лавы Стормберг.

Примечательно, что глубина заложения такой трубы (2 км) совпадает с ранее приведенными глубинами диатрем в полях развития кимберлитов алмазной субфации — 1,8—2,1 км [31]. Тогда же подчеркивалось, что по мере снижения давления кимберлитовых магм неизбежно должны сокращаться глубина заложения и площадь поперечного сечения диатрем; приводились средние значения вероятной глубины заложения трубок взрыва в полях совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций — 0,7—0,8 км и в полях развития кимберлитов пироповой субфации — 0,5—0,6 км.

Изложенное позволяет заключить, что применительно к большинству слабоалмазоносных кимберлитов и к кимберлитам пироповой субфации идеализированные модели трубок взрыва при сохранении среднего угла наклона бортов (82—84°) должны характеризоваться меньшими значениями глубины заложения и площади поперечного сечения.

Заполняющие полость диатремы кимберлитовые породы в модели Дж. Б. Хаусорна представлены почти исключительно агломератами и туфами, которые лишь в прикорневых частях сменяются эруптивными (интрузивными) брекчиями. В Сибири кимберлитовые туфы встречаются, но относительно редко, и поэтому доля их в общем объеме кимберлитовых пород здесь составляет лишь около 4% [31, 46]. Примечательно, что туфы обычно не наблюдаются даже в крупных сибирских диатремах, прослеженных без перехода в дайки до глубины свыше 1200 м («Мир», «Удачная» и др.).

Без сравнительных данных затруднительно решить вопрос о действительных причинах указанного несоответствия: имеют ли здесь место расхождения в трактовке генезиса идентичных пород различными школами исследователей или в основе его лежат специфические особенности кимберлитового вулканизма Сибири и Африки. Наиболее вероятной представляется первая из указанных причин.

В целом же вывод о преимущественной приуроченности туфов к верхним, эруптивным брекчиям к средним и массивным кимберлитам к нижним горизонтам трубок взрыва, по-видимому, справедлив и разделяется многими советскими геологами (С. М. Табунов и другие). Однако сложный характер тенденций и большое число необъяснимых отклонений не позволяют пока использовать структурно-текстурные особенности кимберлитовых пород в качестве однозначного критерия для оценки степени эродированности диатрем.

Резюмируя изложенное, следует заключить, что изменчивость морфологии и площади поперечного сечения кимберлитовых трубок по вертикали, появление на некоторой глубине от первоначальной (существовавшей в период кимберлитового вулканизма) поверхности земли даек и силлов свидетельствуют о наличии первичной вертикальной зональности (этажности)

ТАБЛИЦА 2

## Морфологические особенности кимберлитовых тел на различных этажах вертикальной модели кимберлитового поля

Этаж	Относительное кол-во, %		Средняя пло-щадь диа-трема, усл. ед.	Отношение коротких и длинных осей типичных диатрем	Текстурно-генетические группы кимберлитовых пород
	трубок	даек			
1	100	—	$S^*$	$1-1/3$	Туфобрекции, эруптивные брекции, реже массивные кимберлиты
2	61—99	1—39	$(0,4 \div 0,8) S$	$1/2-1/4$	Эруптивные брекции, туфобрекции, массивные кимберлиты
3	40—60	40—60	$(0,15 \div 0,4) S$	$1/3-1/6$	Эруптивные брекции, массивные кимберлиты, туфобрекции
4	1—39	61—99	$<0,15 S$	$1/4-1/10$	
5	—	100	—	—	Массивные кимберлиты

\* Первоначальная средняя площадь диатрем определяется фациальной принадлежностью кимберлитов и в меньшей степени зависит от особенностей геологического строения каждого поля.

кимберлитовых полей. В этой связи следует отметить, что каждая из пяти вышеописанных групп кимберлитовых полей, различающихся относительным количеством трубок и даек, очертаниями в плане и площадью диатрем, включает поля, близкие по степени денудации, и поэтому может быть принята за образец соответствующего этажа в идеализированной вертикальной модели кимберлитового поля (табл. 2).

Поскольку глубина заложения трубок взрыва прямо пропорциональна давлению кимберлитовой магмы, поскольку вертикальные размеры отдельных этажей и всей модели в целом максимальны для полей кимберлитов алмазной и минимальны для полей кимберлитов пироповой субфации.

Установление по морфологическим особенностям кимберлитовых тел вскрываемого на дневной поверхности этажа кимберлитового поля имеет большое значение для: а) оценки сохранившихся и размытых частей диатрем и перспектив коренной и россыпной алмазоносности изучаемого поля; б) выбора рациональных методов анализа внутреннего строения поля и поисков в его пределах новых кимберлитовых тел. Если первое положение очевидно и не нуждается в комментариях, то второе требует хотя бы краткого пояснения. Для проведения анализа структуры и поисков новых тел наиболее удобны кимберлитовые поля, сденудированные до средних и нижних этажей, поскольку четко выраженные на этих уровнях удлинения диатрем и наличие даек позволяют достаточно надежно определить

лять положение эллипсоидов деформации в рудные этапы и простирации рудоконтролирующих дислокаций. Вместе с тем нельзя не учитывать, что кимберлитовые поля, где сохранились лишь нижние этажи, обладают сравнительно невысокими запасами алмазов в коренных месторождениях.

---

## ЛОКАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Интуитивно очевидна невозможность внедрения и локализации кимберлитовых, как и любых других, расплавов в пределах монолитных блоков земной коры. Вместе с тем невероятно и существование сколько-нибудь значительных по величине блоков, где толщи горных пород не претерпели бы дисъюнктивных и пликативных дислокаций. Подавляющее большинство горных пород при низких и умеренных давлениях и температурах не обладает пластичностью, и поэтому сравнительно малоамплитудные тектонические движения приводили к нарушению монолитности горных пород, слагающих не только осадочный чехол, но и кристаллический фундамент платформ. Следовательно, разнообразные по масштабам нарушения разрывного и складчатого характера распространены повсеместно. При этом отдельные участки территории отличаются относительным количеством нарушений различного типа, степенью дезинтегрированности горных пород, а в связи с этим и степенью проницаемости их для магматических расплавов.

Проявление кимберлитового вулканизма известны лишь на древних платформах, где локальные пликативные дислокации платформенного этапа развития распространены незначительно. Специализированные исследования, проведенные Л. А. Зиминым, а затем А. А. Потуроевым и другими геологами на огромном фактическом материале Центральносибирской кимберлитовой провинции, показали отсутствие приуроченности кимберлитовых тел к каким-либо пликативным нарушениям осадочного чехла платформы. Контроль пространственного размещения кимберлитов дислокациями такого типа не наблюдается и в других кимберлитовых провинциях мира.

В связи с изложенным рассмотрение тектонических факторов локализации кимберлитовых тел в пределах отдельно взятого поля может быть ограничено разрывными нарушениями. Среди последних по характеру проявления обычно различаются

ТАБЛИЦА 3

Амплитуды смещения горных пород по разрывным нарушениям различной длины в платформенных областях

Название	Длина	Амплитуда смещения								
		>1 км	0,1—1,0 км	10—100 м	1—10 м	0,1—1,0 м	1—10 см	1—10 мм	0,1—1,0 мм	~0
Разломы:										
региональные	>100 км	+	+++	+						
крупные	10—100 км	+	+++	+	+					
средние	1—10 км		+	+++	+	+				
мелкие	0,1—1,0 км		+	++	++	+				
Трещины:										
крупные	10—100 м				+	+++	+			
средние	1—10 м					+	+++	+		
малые	0,1—1,0 м						+	++	++	
мелкие	1—10 см								++	
	<1 см								++	

П р и м е ч а н и е. Амплитуды: + — предельные,  
+++ — обычные.

разрывы без смещения и разрывы со смещением, а по масштабам — разломы и тектонические трещины.

Как протяженность разрывных нарушений, так и амплитуды смещений по ним изменяются в очень широких пределах: наряду с региональными разломами протяженностью до нескольких сотен и даже первых тысяч километров широко распространены микротрещины, длина которых измеряется долями миллиметра. Относительное смещение горных пород в плоскости разрыва изменяется от нуля до многих сотен метров. И хотя четкой пропорциональной зависимости между длиной разрывов и амплитудой смещения не наблюдается, можно определенно говорить, что амплитуды не только никогда не превышают и даже не равны протяженности разрывов, но, как правило, не достигают и 10% длины последних. Если это так, то существуют, вероятно, некоторые предельные и статистически наиболее вероятные амплитуды смещения по разрывным нарушениям различного масштаба. Анализ доступных автору материалов по северу Сибирской платформы позволил наметить названные амплитуды вертикальных смещений по разрывным нарушениям различной протяженности (табл. 3).

По разрывным нарушениям, ограниченным пределами монолитных блоков горных пород, амплитуды смещения, очевид-

но, не могут достигать упомянутого 10%-ного максимума. Этот предел достигался у сравнительно крупных нарушений, где ведущая роль принадлежала не пластическим деформациям толщ, а членистым изгибам их за счет изменения зазоров в ранее существовавших или вновь возникавших трещинах.

Рубеж между этими двумя категориями нарушений определяется размерами монолитных блоков, которые, в свою очередь, зависят от литологических особенностей пород. У подавляющего большинства протерозойских и фанерозойских пород осадочного чехла Сибирской платформы длина моноблоков составляет 0,1—1,0 м. Отсюда, с известной долей условности, можно принять, что у разрывных нарушений протяженностью менее 1 м максимальная амплитуда смещения равна 1% от их длины. В табл. 3 отражено также предложение о разделении разрывных нарушений по их протяженности на две группы — разломы и трещины. За рубеж между ними принята длина 100 м. В этом смысле названные термины применяются и в последующих разделах работы.

Несмотря на определенную условность принятого разграничения тектонических трещин и разломов, целесообразность выделения этих групп разрывных дислокаций бесспорна. И не случайно вопрос о возрастном и генетическом соотношении трещин и разломов обсуждается многими исследователями. Высказываемые, подчас противоположные, точки зрения отражают, по всей вероятности, действительно существующие различия в последовательности и механизме возникновения этих разномасштабных разрывных нарушений.

Имеются неоспоримые данные о постепенном возникновении многих разрывных смещений, проявляющихся в том, что большие сместители постепенно образуются путем объединения возникающих друг за другом мелких разрывов. Процесс объединения мелких разрывов в крупные может быть очень длительным и продолжаться целые геологические периоды [6].

Вместе с тем несомненно образование тектонических трещин в каждом новом слое под определенным влиянием ранее возникающих разрывов, которые к периоду формирования данного слоя могли существовать в виде ослабленных зон. Интересные данные приводит Е. А. Радкевич [59], которая указывает, что трещины и разрывы развиваются над скрытыми крупными разломами благодаря тому, что последние, распространяясь вверх по разрезу, становятся все более сложными, расщепляются на серии мелких разрывов и трещин.

По мнению некоторых американских геологов, тектонические трещины формируются в ходе осадконакопления и последовательно распространяются в каждый новый слой [87]. Распространению разрывов из слоя в слой способствуют микросейсмические движения, приливные деформации земной коры и другие относительно слабые, но постоянно действующие усилия.

## ТЕКТОНИЧЕСКИЕ РАЗЛОМЫ РАМЫ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДИАТРЕМ

Несомненная важность познания и кажущаяся на первый взгляд легкость выявления закономерностей размещения диатрем и связи их с разрывными нарушениями на территории кимберлитовых полей привлекали внимание исследователей с первых лет изучения коренных месторождений алмаза. Уже в конце XIX в. была подмечена тенденция кимберлитов концентрироваться на отдельных участках с образованием вытянутых линейных групп тел. Линейные группы («цепочки») трубок и даек часто располагаются субпараллельно или под углом друг к другу. На линии, соединяющей несколько известных тел, при детальных работах иногда удавалось найти еще одну или несколько диатрем.

Убедительность трактовки с общегеологических позиций и немногочисленные, но вполне убедительные данные о приуроченности некоторых кимберлитовых тел к разломам вмещающих пород привели к тому, что все исследователи при изучении кимберлитовых полей пытаются установить структурный контроль диатрем со стороны существующих, а чаще — предполагаемых разломов.

Уже в первые годы изучения Далдынского поля обращалось внимание на отчетливо выраженную тенденцию размещения здесь трубок и даек в виде нескольких линейных групп [13]. Наиболее протяженные цепочки кимберлитовых тел вытянуты в восток-северо-восточном направлении. Самой крупной является северная группа, включающая 10 трубок, удаленных друг от друга на 0,5—6,5 км. Общая длина цепочки 23,5 км. В центральной части поля наблюдаются две линейные группы. Одна из них длиной 2,5 км образована тремя трубками, вторая длиной 17,5 км включает пять трубок. И наконец, у южной границы поля наблюдается еще одна линейная группа длиной около 12 км, также включающая пять трубок. Все крупные цепочки размещаются субпараллельно в 10—15 км друг от друга. У северной группы устанавливаются апофизы, ориентированные под углом около 45° к простианию осевой линии цепочки.

Связывая линейное размещение кимберлитовых тел Далдынского поля с субширотными разломами, Л. Н. Зведер и В. Н. Щукин рекомендуют для каждого нового района, где планируется вести поиски коренных месторождений алмазов, составлять схемы разрывных нарушений. Они пишут, что при наличии такой схемы «открытие хотя бы одной трубы дает возможность организовать целенаправленные поиски» [13, с. 134]. К сожалению, авторы названной работы не раскрывают способа, с помощью которого можно построить схему расположения кимберлитолокализующих разломов без информации о разме-

щении подавляющего числа развитых в районе кимберлитовых тел. Вероятно, поэтому такие схемы ни для Далдынского, ни для других районов Центральносибирской провинции построены не были.

Иную трактовку закономерностей размещения кимберлитов Далдыно-Алакитского района приводит А. А. Турский [71]. Он считает, что трубы взрыва и дайки кимберлитов здесь располагаются в пределах линейной зоны северо-восточного направления шириной 20—30 км. Внутри зоны кимберлитовые тела приурочены к линиям широтного и северо-восточного направлений, угол между которыми в плане равен 30—35°. Некоторые трубы находятся на пересечении трещин широтного и северо-восточного направлений. Отмечая приуроченность кимберлитовых тел к узкой линейно вытянутой зоне, А. А. Турский связывает ее с наличием в фундаменте платформы глубинного разлома северо-восточного простирания. Пространственное расположение, ориентировка и морфология кимберлитовых тел определяют, по его мнению, этот разлом как левосторонний сдвиг, сопровождаемый системой трещин скола северо-восточного простирания и оперяющими их трещинами субширотного направления, а также редкими трещинами отрыва северо-западного простирания (рис. 5).

Группа исследователей, приводивших изучение геологического строения и кимберлитов Малоботубинского района [23], подчеркивает приуроченность кимберлитовых и базальтовых трубок взрыва на этой территории к местам пересечения субмеридиональных глубинных разломов с оперяющими их разломами северо-западного простирания. Однако следует отметить существенные различия в правомерности и достоверности выделения указанных групп дизъюнктивных нарушений.

Глубинные разломы субмеридионального простирания отражаются в магнитном поле и прослеживаются наземной магниторазведкой в виде аномальных зон шириной до 2 км (рис. 6). Напряженность магнитного поля над этими зонами 50—120 гамм, реже до нескольких сотен гамм. Характер магнитного поля свидетельствует о том, что возмущающие объекты (дайки), трассирующие каждую из указанных зон, распадаются на отдельные части (отрезки) протяженностью от 5 до 30 км с вариациями азимута простирания в пределах 7—25°; падение их крутое — 75—80° к восток-юго-востоку, реже на запад-северо-запад. На дневной поверхности разломы не выражены. В терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя в пределах аномальных зон изредка встречаются зеркала скольжения, лиритовая и магнетитовая минерализация.

Предполагаемые оперяющие трещины и разломы северо-западного простирания магнитной съемкой не улавливаются, но иногда на участках вероятного местоположения их отмечаются градиенты силы тяжести и впадины в доюрском рельефе.

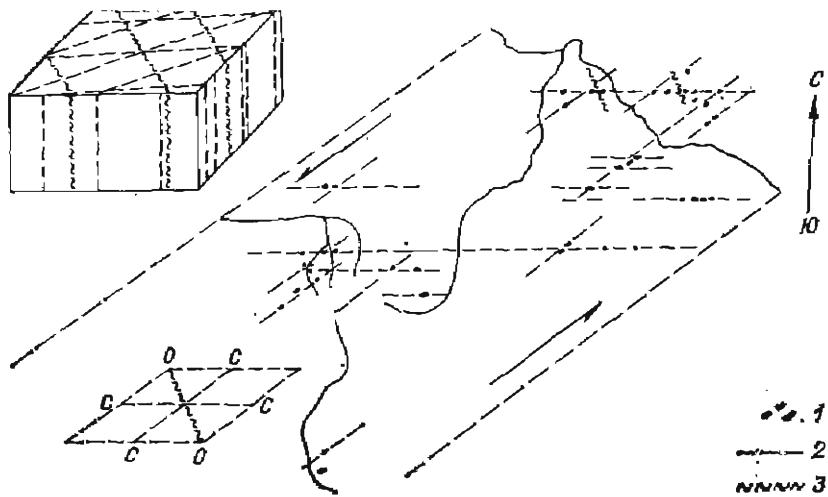


Рис. 5. Схема размещения химберлитовых тел в Далдыно-Алакитском районе, по А. А. Турскому [71].

1 — химберлитовые тела; 2 — трещины скальвания; 3 — трещины отрыва.

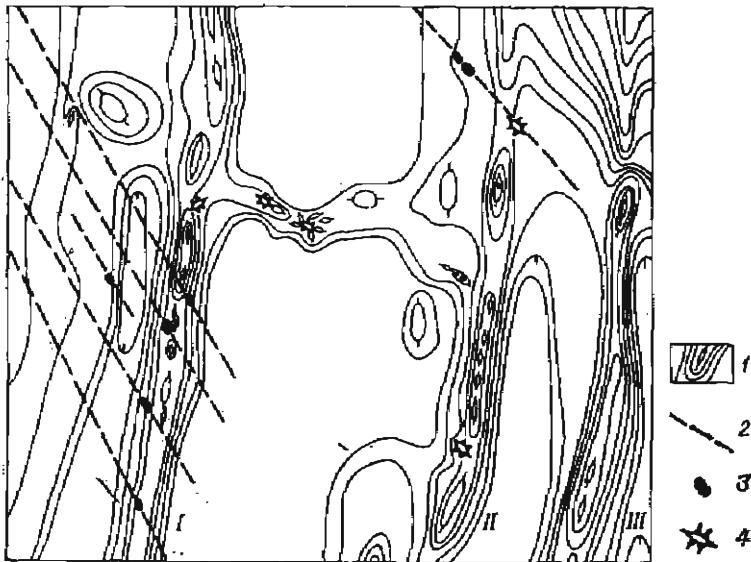


Рис. 6. Схема Малоботубинского поля, по А. Д. Харькиву и др. [23].

1 — изолинии магнитного поля, сгущение которых связывается с положением Западного (I), Миринского (II) и Восточного (III) глубинных разломов; 2 — предполагаемые оперяющие разломы; 3 — химберлитовые тела; 4 — базальтовые трубки.

На первом этапе исследований Средне- и Нижнекуонамского полей существовало мнение, согласно которому примерно половина кимберлитовых тел приурочена к зонам разломов кристаллического фундамента, перекрытых осадочными породами, но проявляющихся в магнитном поле. Локализация второй половины тел в этих полях предположительно связывается с разломами, которые не нашли отражения в магнитном поле.

В дальнейшем была осуществлена статистическая проверка гипотезы о связи кимберлитовых тел с разрывными нарушениями земной коры в двух вышеназванных и 11 других полях северо-восточной части Центральносибирской провинции [68]. С этой целью на карту разломов фундамента, составленную по результатам комплексной интерпретации гравимагнитных данных, были нанесены все известные выходы кимберлитовых и пикритовых пород. При максимальной мощности осадочного чехла в регионе до 3 км (в среднем около 1,5 км) ширина зоны «влияния» разломов была принята равной 2 км. Из 313 лишь 85 (27%) тел располагаются в пределах двухкилометровой зоны, продольной осью которой служит проекция разломов фундамента на дневную поверхность.

В пяти из этих 13 полей все трубки и дайки лежат вне пределов зоны «влияния» разломов фундамента; в четырех — количество тел, попадающих в двухкилометровую зону, составляет 11—37% и лишь в четырех число диатрем, располагающихся в зоне предполагаемого влияния разломов, превышает 37%.

Следует иметь в виду, что поля последней группы (Средне- и Нижнекуонамское, Лучакансое и Куранахское) располагаются на площадях, где геофизическими методами установлено большое число дизъюнктивных нарушений фундамента. Вполне вероятно, что здесь имеет место не структурный контроль, а пространственное совпадение некоторой части диатрем с отдельными элементами достаточно густой сети древних разломов фундамента. Определенным свидетельством против кимберлитолокализующей роли выделяемых геофизикой разломов в данном регионе может служить тот факт, что кимберлитовые тела в перечисленных полях располагаются на участках с минимальным распространением подобных разломов [34].

Известны и детально изучены также районы, где разломы установлены не только в глубоко залегающих породах фундамента, но и в обнажающихся на дневной поверхности толщах, непосредственно вмещающих кимберлитовые тела. Несмотря на вполне удовлетворительную надежность картирования таких разломов геологическими методами, локализующее влияние их на размещение кимберлитовых тел, как правило, не выражено или далеко не бесспорно. И лишь в единичных случаях диатремы несомненно контролируются наблюдаемыми разрывными нарушениями, поскольку: 1) находятся в местах пересечения

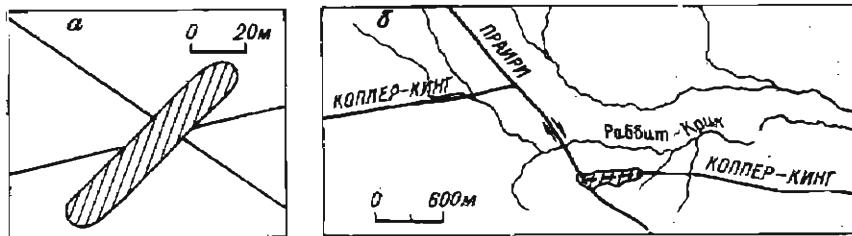


Рис. 7. Приуроченность кимберлитовых трубок «Липа» (а) и «Слоан» (б) к местам пересечения разломов [51, 89].

разломов, иногда даже повторяя в своей конфигурации очертания узлового участка (рис. 7); 2) в цепочках кимберлитовых тел, непосредственно располагающихся на едином разломе, ориентировка длинных осей диатрем полностью совпадает с простирианием такого разлома (рис. 8).

М. Бардэ [79] пространственное размещение кимберлитовых тел поля Лесная Гвинея (Либерийская провинция) связывал с почти правильной геометрической сетью предполагаемых разломов, в узлах пересечения которых локализуются выходы кимберлитов. При детальных геолого-геофизических исследованиях в этом районе в последующие годы было установлено значительное число разломов, которые обладают существенно другим простирианием и не тяготеют к местам локализации кимберлитовых тел [48].

Несовпадение пространственного разделения и ориентировки длинных осей кимберлитовых тел с разломами, выделяемыми

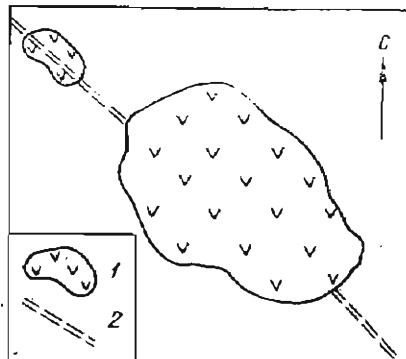


Рис. 8. Взаимное расположение трубок «Мир» и «Спутник» и структурное соотношение их с выполняющей разлом кимберлитовой жилой, по А. Д. Харькову и др. [23].

1 — кимберлитовые трубки; 2 — кимберлитовая жила.

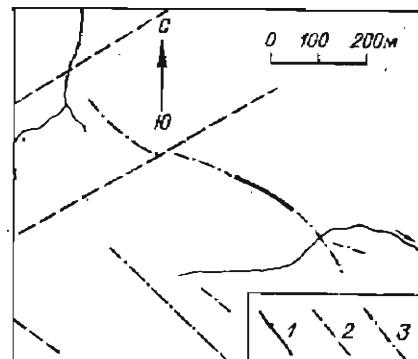


Рис. 9. Геолого-геофизическая схема положения дайки Канангоа в поле Верхняя Най, по Д. Кнопфу [88].

1 — кимберлиты; 2 — разломы; 3 — оси электромагнитных аномалий.

по геологическим данным, наблюдается и в других полях Либерийской провинции. Так, в зоне Коиду (поле Сефаду) все кимберлитовые дайки имеют северо-восточное простиранье, в то время как главнейшие разломы ориентированы в субмеридиональном и северо-западном, а диабазовые дайки в северо-западном и субширотном направлениях [82].

В поле Сегела все известные выходы кимберлитов представлены дайками, залегающими среди гранитоидов. Они вытянуты в субмеридиональном направлении, в то время как наблюдаемые разрывные нарушения во вмещающих породах простираются на северо-запад и северо-восток. При детальных геофизических работах в этом поле было установлено большое число электромагнитных аномалий, оси которых ни терриtorиально, ни по ориентировке не совпадают с разломами, выделенными по геологическим данным. Кимберлитовые дайки на одних участках совпадают с осями электромагнитных аномалий, а на других такая связь не проявляется.

Очень интересные данные получены на детально изученном участке Канангоно (поле Верхняя Нзи). Здесь установлены разломы северо-восточного и электромагнитные аномалии северо-западного простирания. К юго-восточной части наиболее протяженной аномалии приурочена кимберлитовая дайка, а северо-восточная часть этой аномалии смещена по секущему ее разлому (рис. 9).

Резюмируя изложенное, следует заключить, что пространственное размещение и локализация кимберлитовых тел в пределах поля определяются разрывными нарушениями, которые обычно не диагностируются при геологических наблюдениях и далеко не всегда прослеживаются с помощью геофизических методов. Отмеченные особенности контролирующих кимберлиты нарушений позволяют получить некоторые представления о их природе.

Известно, что как при геологической, так и при магнитной съемках наиболее легко и четко диагностируются разрывные нарушения — разломы, выполненные дайками изверженных (в особенности сильномагнитных) пород, и такие, по которым приведены в контакт толщи, различающиеся по внешнему облику, составу и магнитным свойствам. Следовательно, подавляющее большинство кимберлитолокализующих разломов характеризуется отсутствием значительного смещения толщ и, кроме того, не сопровождается внедрением крупных порций некимберлитовых магматических расплавов. Тот факт, что такие нарушения нередко обладают пониженными градиентами силы тяжести и повышенной электропроводностью, позволяет считать, что физической формой проявления их служат зоны дробления, сопровождающиеся инфильтрационными явлениями.

Вполне вероятно, что образование зон дробления сопровождалось возникновением тектонической трещиноватости в кон-

солярированных толщах на участках, как непосредственно призывающих, так, вероятно, и значительно удаленных от таких зон. Если это так, то, следовательно, специфические особенности тектонической трещиноватости соответствующих участков территории в какой-то мере отражались на локализации и морфологии кимберлитовых тел и, кроме того, они могут быть привлечены для косвенного обнаружения путей подъема кимберлитовых расплавов.

### **ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ РАМЫ, ОРИЕНТИРОВКА И ЛОКАЛИЗАЦИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ**

Исследования теоретически вероятной связи морфологии и размещения кимберлитовых тел с тектонической трещиноватостью вмещающих пород начались вскоре после открытия кимберлитов в Якутии. Изучение проводилось главным образом путем сопоставления ориентировки длинных осей трубок, простираций даек и «цепочек» тел с простиранием систем тектонической трещиноватости вмещающих пород.

Сопоставления проводились с учетом не только числа, но и «меры»: векторы на ориентирных диаграммах строились как по частоте встречаемости (числу) кимберлитовых тел, имеющих то или иное простижение, так и по абсолютной протяженности длинных осей трубок и даек в различных направлениях. Диаграммы второго типа, как правило, наиболее выразительны.

Установлено, что кимберлитовые тела в различных районах Центральносибирской провинции преимущественно вытянуты по направлениям, совпадающим с простиранием главнейших систем тектонической трещиноватости (рис. 10, 11, 12). В пределах каждого отдельно взятого поля трубы взрыва и дайки вытянуты преимущественно в двух-трех, реже в одном или четырех-пяти направлениях.

Примечательно, что в тех случаях, когда несколько полей размещаются примерно на одной линии, тяготея, вероятно, к единой зоне повышенной проницаемости земной коры, длинные оси большинства кимберлитовых тел ориентированы согласно с общим простиранием такой зоны и нередко с одним или двумя диагональными направлениями. Сходную ориентировку обычно имеет и тектоническая трещиноватость рамы в таких регионах (рис. 13).

Как уже отмечалось, почти во всех полях некоторая, иногда значительная часть трубок взрыва и даек группируется в виде «цепочек», включающих несколько (обычно 3—5) тел. Кимберлитовые тела принято объединять в «цепочки» по расположению их на одной прямой. При этом игнорируется ориентировка длинных в плане осей диатрем и простираций даек как между

Рис. 10. Розы-диаграммы про-  
стирианий тектонической трес-  
чиноватости в осадочных породах  
нижнего палеозоя (*а*, *б*) и ори-  
ентировки длинных в плане  
осей кимберлитовых трубок  
(*а*, *в*). Далдыно-Алакитского  
района, по А. А. Турскому [71].

*а* — бассейн верхнего тек-  
чения р. Мархи; *б* — бассейн среднего тек-  
чения р. Далдын; *в* — Маринино-  
Алакитское поле; *г* — Далдынское  
поле.

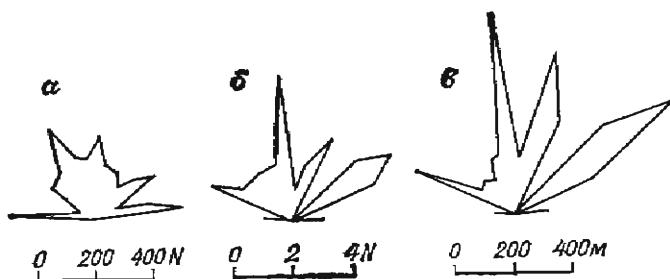
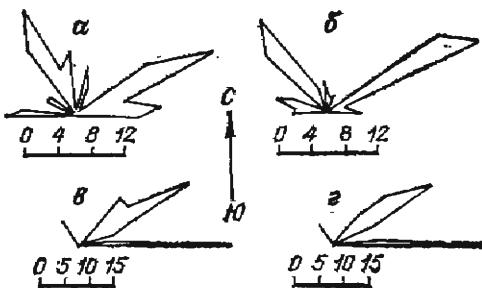


Рис. 11. Розы-диаграммы простирианий тектонической трещиноватости в осадочных породах верхнего протерозоя, нижнего и среднего кембрия (*а*), ори-  
ентировки числа (*б*) и протяженности (*в*) по различным направлениям длин-  
ных в плане осей кимберлитовых тел Нижнекуонамского поля.

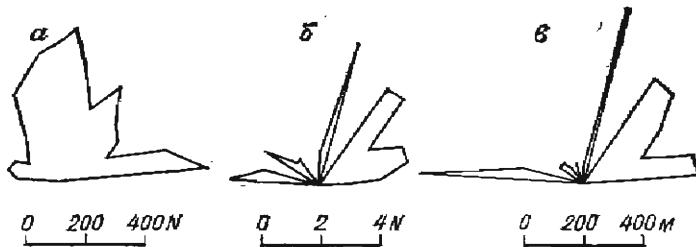


Рис. 12. Розы-диаграммы простирианий тектонической трещиноватости в осадочных породах верхнего протерозоя (*а*), ориентировки числа (*б*) и протяженности (*в*) по различным направлениям длинных в плане осей кимберли-  
товых тел Средnekouonamского поля.

собой, так и относительно общего простириания «цепочки». Такой подход нельзя признать удачным, поскольку теряются весьма важные фактические данные о направлении растягивающих усилий в период образования изучаемых тел.

Указанный пробел отчасти может быть восполнен при выделении двух крайних и хотя бы одного промежуточного типа линейных групп кимберлитовых тел: 1) группы согласного типа (ориентировка длинных в плане осей всех кимберлитовых тел

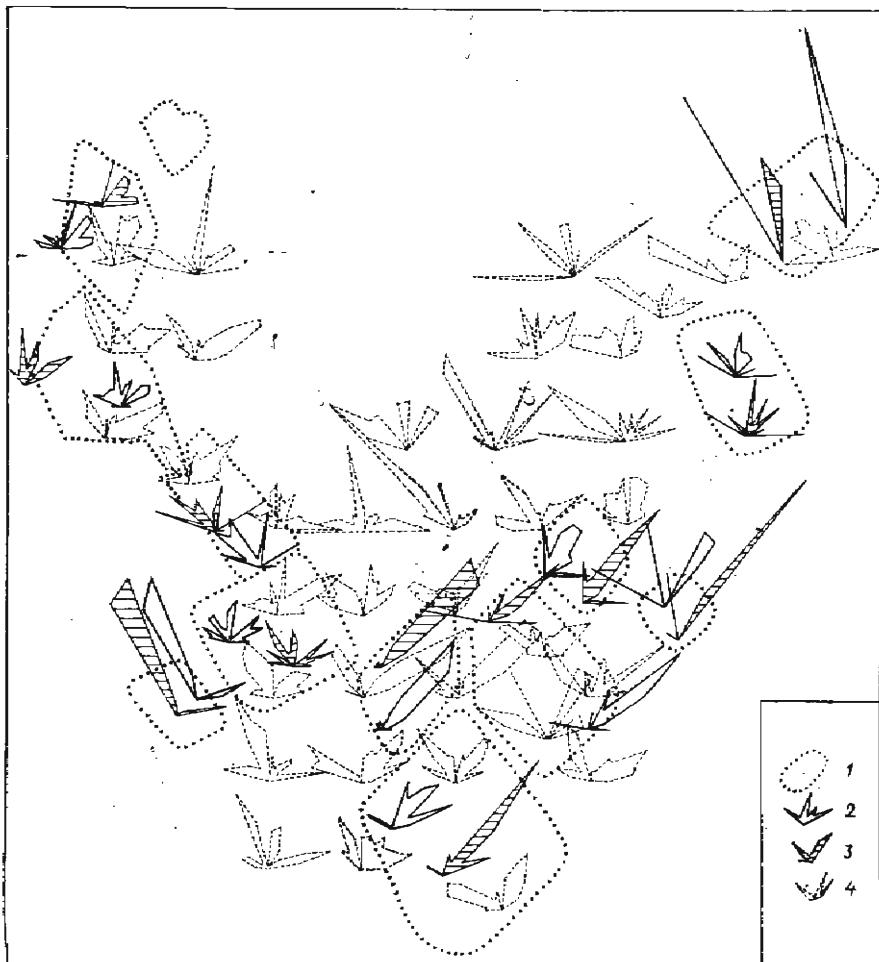


Рис. 13. Ориентировка трубок и даек в кимберлитовых полях и простирания тектонической трещиноватости осадочных пород на северо-востоке Сибирской платформы.

1 — границы кимберлитовых полей; 2 — число трубок и даек, вытянутых по различным направлениям (%); 3 — протяженность длинных осей трубок и даек по различным направлениям (%); 4 — простирания тектонических трещин в осадочных породах верхнего протерозоя и кембра (по И. П. Федорову, 1965 г.).

примерно совпадает с простиранием образуемых ими групп); 2) группы несогласного типа (длинные оси всех кимберлитовых тел ориентированы примерно перпендикулярно к направлению простирания образуемых ими групп); 3) группы промежуточного типа (длинные оси некоторых кимберлитовых тел близки, а других существенно отличаются по ориентировке от направления простирания соответствующей группы в целом).

Кимберлитовые тела каждой отдельно взятой группы согласного типа, по всей вероятности, локализованы в пределах единой тектонической структуры и обычно относятся к одной эпохе ультраосновного вулканизма. Каждая группа промежуточного типа и отчасти несогласного типа представляет собой сложное сообщество кимберлитовых тел, сформировавшихся в изменявшейся тектонической обстановке на протяжении длительного (первые миллионы лет) периода времени. Осевые линии таких групп трассируют не только простирания разрывных нарушений, контролирующих размещение согласных тел, но также и места пересечения их секущими дислокациями, где происходила локализация несогласных тел.

Все изложенное свидетельствует о наличии достаточно тесной связи между ориентировкой длинных осей кимберлитовых тел и простиранием наиболее развитых систем тектонической трещиноватости, а также позволяет сделать некоторые выводы о вероятных причинах этой связи.

Все известные кимберлиты Сибирской платформы и большинства полей в провинциях Африканского континента прорывают древние осадочные породы. Отсюда с учетом изложенных в начале главы представлений о механизме формирования тектонических трещин можно заключить, что значительная часть систем трещиноватости в породах рамы была сформирована задолго до начала кимберлитового вулканизма.

При наличии достаточно большого числа четко выраженных систем тектонической трещиноватости рамы кимберлитовая магма при внедрении в верхние горизонты земной коры, формировании трубок и даек в какой-то мере неизбежно использовала те из них, которые на протяжении соответствующего тектоново-вулканического этапа находились в состоянии растяжения. С этих позиций места нахождения линейных групп согласного типа должны рассматриваться как участки максимального проявления растягивающих напряжений рамы, а простирания таких групп — как нормали к направлению таких напряжений.

При интерпретации механизма возникновения и структурного положения линейных групп несогласного типа следует допустить, что локализация тел, входящих в состав каждой такой группы, происходила в узлах пересечения плоскостей отрыва с ранее существовавшей ослабленной зоной, простирание которой примерно совпадало с направлением растяжения.

Если линейные группы согласного и несогласного типов формировались в течение одного или нескольких этапов, то образование групп промежуточного типа во всех случаях протекало на протяжении двух этапов и больше.

Всесторонние исследования кимберлитовых пород в линейных группах каждого отдельно взятого поля позволяют заключить о количестве этапов их образования, что в сочетании с ре-

зультатами сравнительного анализа ориентировки линейных групп, длинных в плане осей кимберлитовых тел и простираций тектонических трещин в породах рамы позволяет в первом приближении реставрировать пространственное распределение и ориентировку растягивающих напряжений на всех важнейших этапах формирования соответствующего поля.

Ограниченнная, а чаще плохая обнаженность в районах развития кимберлитов не обеспечивает систематического площадного изучения тектонической трещиноватости рамы, что препятствует использованию этого весьма важного фактора при расшифровке внутреннего строения кимберлитовых полей. Этот пробел частично может быть восполнен в результате привлечения морфоструктурных методов изучения тектоники закрытых областей, и в первую очередь методов, основанных на генетической связи между разрывными нарушениями земной коры и специфическими особенностями гидросети соответствующих регионов.

---

## **СВЯЗЬ ГИДРОСЕТИ С РАЗРЫВНОЙ ТЕКТОНИКОЙ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ КИМБЕРЛИТОВ**

### **СВЯЗЬ ГИДРОСЕТИ С РАЗЛОМАМИ И ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТЬЮ ГОРНЫХ ПОРОД**

Изучение связи линейных элементов рельефа и растительного покрова с разрывными нарушениями коренных пород имеет более чем вековую историю. Н. Д. Черский [77], а позднее и многие другие исследователи показали, что трещины и разломы коренных пород повсеместно оказывали большое влияние на заложение и развитие гидросети. Исследования связи линейных элементов рельефа (в основном гидросети) с разрывными нарушениями коренных пород на первом этапе являлись чисто качественными, а в дальнейшем стали сопровождаться построением соответствующих роз-диаграмм или гистограмм, сравнение которых проводилось визуально или с помощью статистических критериев согласия. Аэрофотосъемка резко улучшила качество топографической основы и, кроме того, позволила учитывать всякого рода линейные элементы, не выраженные в рельефе (линейные изменения тональности почвы, полосы растительности и т. п.).

Вся совокупность морфометрических работ свидетельствует об удовлетворительном отражении в различных элементах рельефа и растительного покрова трещинно-разрывной сетки горных пород. Мнения расходятся лишь по поводу оценки относительной степени проявления трещин и разломов в рельефе. Если одни исследователи [80 и др.] допускают равную возможность отражения в рельефе и растительном покрове и трещин и разломов, то другие ученые [72, 86 и др.] считают, что различные по величине разрывные нарушения играют в этих процессах качественно различную роль.

Полевые, экспериментальные и теоретические исследования связи тектонической трещиноватости осадочного чехла с разломами фундамента позволяют заключить, что следует различать два главных типа таких нарушений. К первому, наиболее распространенному типу относятся региональные системы трещиноватости, ко второму — трещиноватость, сопровождающая образование крупных разломов.

В процессе формирования региональной трещиноватости главное значение обычно имеет влияние существующих трещин и разломов на ориентировку вновь образующихся разрывных нарушений. Так, В. В. Белоусов отмечает, что возникшие трещины влияют на распределение напряжений и тем самым на положение более поздних трещин. При этом вновь возникающие трещины имеют тенденцию приурочиваться к ранее существовавшим и уже мертвым тектоническим разрывам, иногда значительно отклоняясь от предполагаемого (теоретического) положения, обусловленного приложенными напряжениями [6].

Механизм образования региональной трещиноватости наиболее полно разработан Р. А. Ходжсоном [87]. Основываясь на полевых наблюдениях, он отмечает, что разрывы формируются в начале осадконакопления и последовательно распространяются в каждый новый слой. Разрывная сетка предшествующих пород влияет на новые еще не растрескавшиеся породы и таким образом контролирует направление разрывов. В качестве слабых, но постоянно действующих причин, способствующих распространению трещин и разрывов из слоя в слой, называются микросейсмические движения, приливные деформации земной коры, изменения скорости вращения Земли и т. п. Хотя эти усилия и невелики, но при отсутствии других подвижек они постоянно оживляют уже существующие трещины и намечают во вновь образующемся осадке ослабленные зоны, по которым после литификации закладываются новые трещины.

Трещиноватость, генетически связанная с образованием крупных разрывных нарушений, вероятно, предшествует возникновению самих разломов. В. В. Белоусов [6] подчеркивает постепенность формирования большей части разрывных смещений. При этом первоначально по всей зоне возникают отдельные мелкие разрывы, которые разрастаются и постепенно сли-

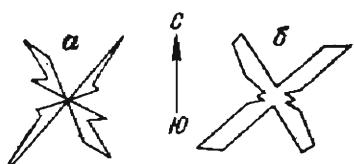


Рис. 14. Простирания тектонических трещин и разломов на юго-востоке Иркутского амфитеатра, по Г. В. Чарушину [75].

*a* — трещины (10 994 наблюдения); *b* — разломы (29 наблюдений).

ваются друг с другом. Предполагается, что процесс объединения мелких разрывов в крупные может быть очень длительным и продолжаться целые геологические периоды.

Изложенное позволяет заключить, что как региональная, так и приразломная трещиноватость должны коррелироваться по ориентировке с простирациями главнейших систем разломов в пределах каждого отдельно взятого региона. Немногочисленные, к сожалению, полевые наблюдения свидетельствуют о наличии таких корреляций (рис. 14).

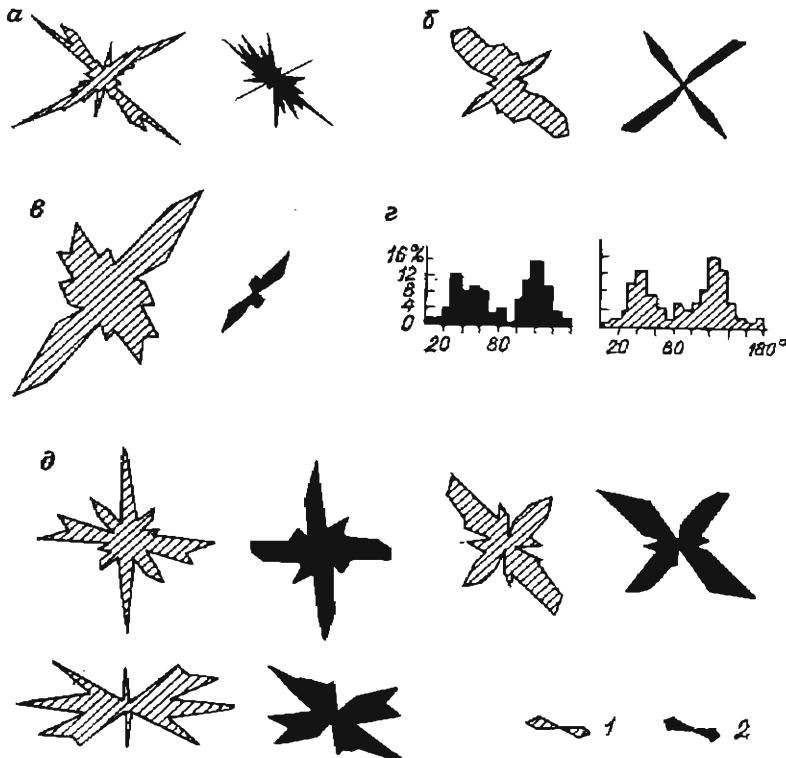


Рис. 15. Ориентирные диаграммы гидросети и разрывных нарушений.

*a* — по В. А. Милашеву [25]; *b* — по Г. В. Чарушину [76]; *c* — по А. Д. Наумову и Н. А. Щукиной [50]; *d* — по Б. И. Кошечкину [21]; *e* — И. Г. Гольбрахту и др. [49].  
1 — гидросеть; 2 — разрывные нарушения.

Разломы и трещины проявляются в рельефе в результате обширного комплекса экзогенных процессов. Подробно эти вопросы рассмотрены в работе И. Г. Гольбрайха и др. [49]. Подчеркивается, что в рельефе должны проявляться тем или иным способом все, даже скрытые под значительной толщей наносов, трещинные зоны и разрывы при условии, что они не залечены последующими процессами. Отмечается консервативность разрывных дислокаций, которые наследуются более длительное время, чем пликативные, что в сочетании с высокой эффективностью экзогенных процессов обеспечивает проявление практически всех систем трещинно-разрывной сетки коренных пород на дневной поверхности.

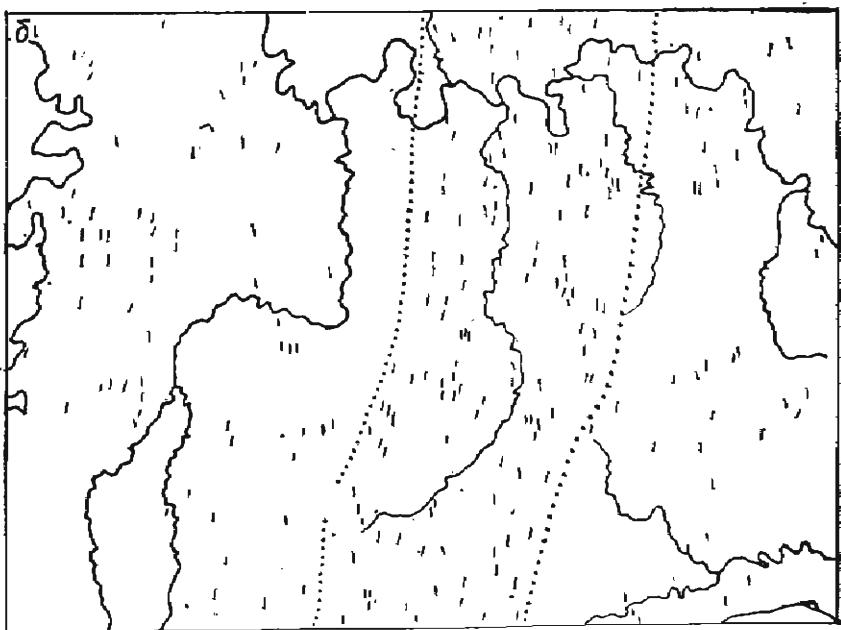
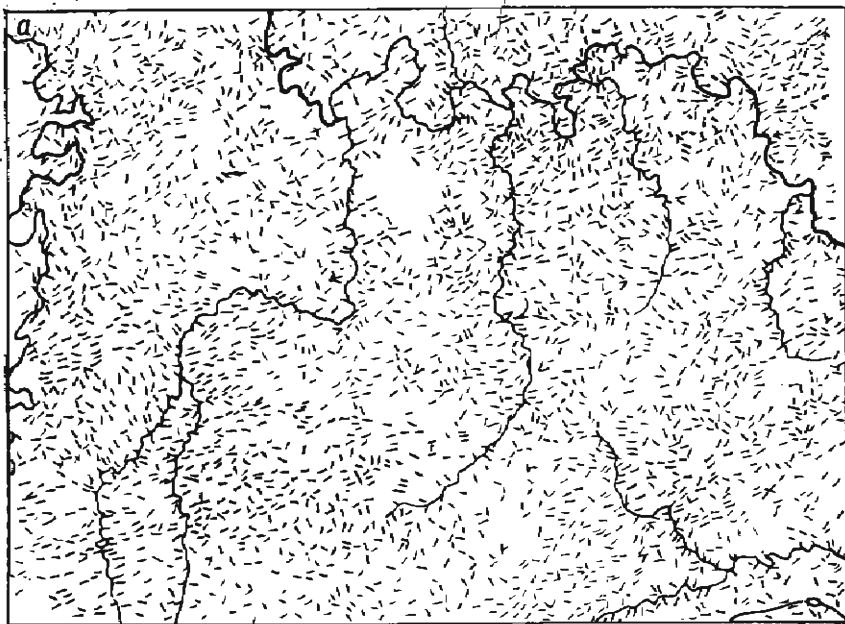
Наиболее четко выраженным и поэтому легко наблюдаемыми линейными элементами рельефа обычно являются водотоки, ориентировка которых чаще всего и сопоставляется с простирианием разрывных нарушений в коренных породах. В большинстве изученных районов наблюдается почти полное, а в других удовлетворительное совпадение ориентировки гидросети и разрывных нарушений (рис. 15). Некоторые исследователи настолько убеждены в наличии теснейшей связи гидросети с тектоническими нарушениями, что, используя результаты наблюдения над ней в практических целях, даже не останавливаются на доказательствах существования такой связи [80].

Если ориентировка гидросети отражает простириания главнейших систем разрывных нарушений в коренных породах, то вполне вероятно, что различная интенсивность проявления нарушений также обусловливает те или иные особенности водотоков. Рассмотрим способы учета и выражения качественных и количественных характеристик гидросети.

## КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОСЕТИ

Все многообразие водотоков, различающихся по ориентировке, длине, продольному и поперечному профилю, гидродинамическому режиму и по другим особенностям, может быть охарактеризовано различными качественными и количественными показателями. Выбор их определяется поставленными целями и задачами. Так, например, анализ поперечных профилей речных долин в пределах I надпойменной террасы, поймы и русла в сочетании с анализом продольного профиля рек раскрывает характер неотектонических движений и позволяет выделять участки максимальной концентрации полезных ископаемых в аллювиальных отложениях [12].

После установления в конце прошлого века связи между ориентировкой гидросети и простириями разрывных нарушений коренных пород большинство исследователей до настоя-



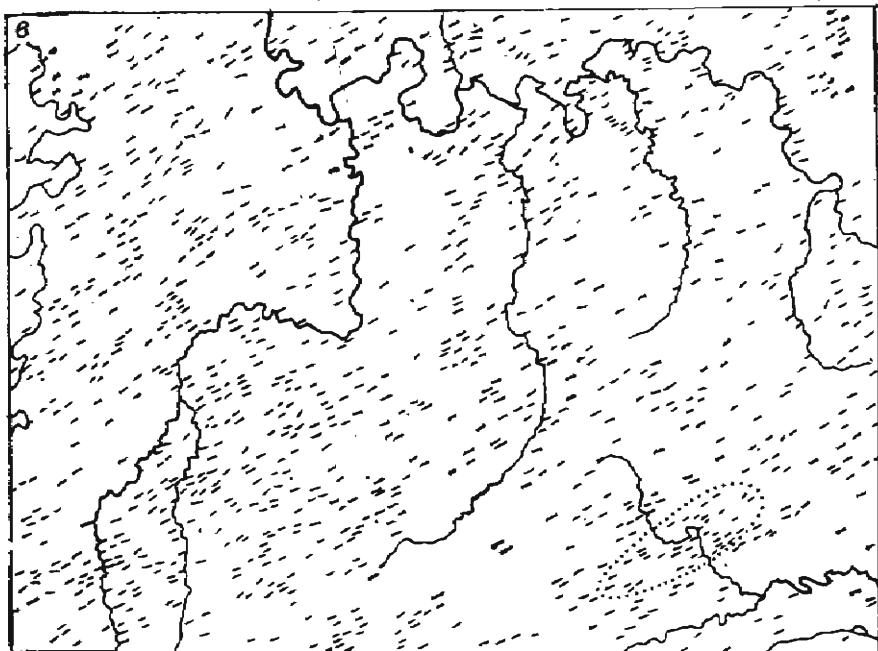


Рис. 16. Карты линейных элементов рельефа в одном из районов Сибирской платформы, по И. Г. Гольбрайху и др. [49].

*a* — общая карта линейных элементов; *б* — карта линейных элементов интервала 350—10°; *в* — карта линейных элементов интервала 50—70°.

щего времени, наряду с констатацией такой связи и принципиальной возможности использования ее для решения геологических задач, обычно ограничиваются характеристикой общей картины разрывных нарушений на изученной территории. Только в конце 50-х годов начали появляться работы, в которых линейные элементы рельефа и растительного покрова с успехом используются для расшифровки тектонического строения и поисков нефтегазоносных структур в закрытых районах.

При интерпретации результатов морфоструктурных наблюдений П. Бланше [80] и его последователи исходят из того, что линейные элементы отражают планетарную сеть разрывов, которая подвергается искажению лишь на участках локальных структур или «стратиграфических аномалий». Однако поскольку весь «теоретический набор» планетарных систем трещин и разломов наблюдается не повсеместно, Л. Д. Кноринг [19] вообще отрицает существование систематической сетки региональных или планетарных разрывных нарушений. В итоге если первый из названных исследователей полагает, что формирование локальной структуры приводит к местным деформациям регио-

нальной или планетарной сетки трещин и разломов, то второй считает, что распределение трещин на пликативной структуре полностью определяется элементами залегания слоев в каждой точке структуры и что ни одной системы трещин, не связанной с этими элементами, не существует. Высказываются и другие, промежуточные точки зрения.

Независимо от расхождений в представлениях отдельных исследователей по вопросу о генезисе разрывных и пликативных дислокаций все морфоструктурные методы их изучения предусматривают построение карт ориентировки и густоты линейных элементов рельефа и в первую очередь соответствующих карт гидросети.

Рассмотрим существующие методы изучения ориентировки и густоты (плотности) гидросети. Некоторые из них являются качественными, а другие — полуколичественными.

Качественное сопоставление ориентировки гидросети на участках различного геологического строения нередко проводится при геологических съемках различного масштаба. Предложены несложные дополнительные приемы, позволяющие выделять крупные разнородные участки и трассировать зоны вероятных дислокаций. Для этого негатив карты, на которой нанесены все линейные элементы рельефа (в нашем случае — спрямленные отрезки долин), накладывают на трафарет, обеспечивающий выделение элементов только определенного (например, 20-градусного) интервала простираций. Последовательно применяя различные трафареты, получают серию карт, по которым можно судить о площадном распространении разноориентированных линейных элементов рельефа (рис. 16). Для уменьшения трудоемкости и ускорения работ рекомендуется строить карты не по всем возможным, а лишь по основным направлениям, выбор которых осуществляется с помощью предварительно построенных роз-диаграмм [49].

При несомненной наглядности поинтервальные карты не отражают относительного количества разноориентированных линейных элементов. Этого недостатка лишены карты роз-диаграмм, которые не только суммируют общую картину распределения линейных элементов и выявляют основные простирания разрывных нарушений, но и отражают количественное соотношение их по всем направлениям (рис. 17).

Высказывались предложения по дальнейшему совершенствованию методики обработки и интерпретации линейных элементов рельефа при расшифровках геологического строения закрытых территорий. Опираясь на установленное Е. Н. Пермяковым эмпирическое «правило параллелограмма», согласно которому простижение пликативной структуры совпадает с диагональю параллелограмма, построенного на главных лучах розы-диаграммы, а также на идею о связи простираний структур с простираниями предшествующих этим структурам разрывов,

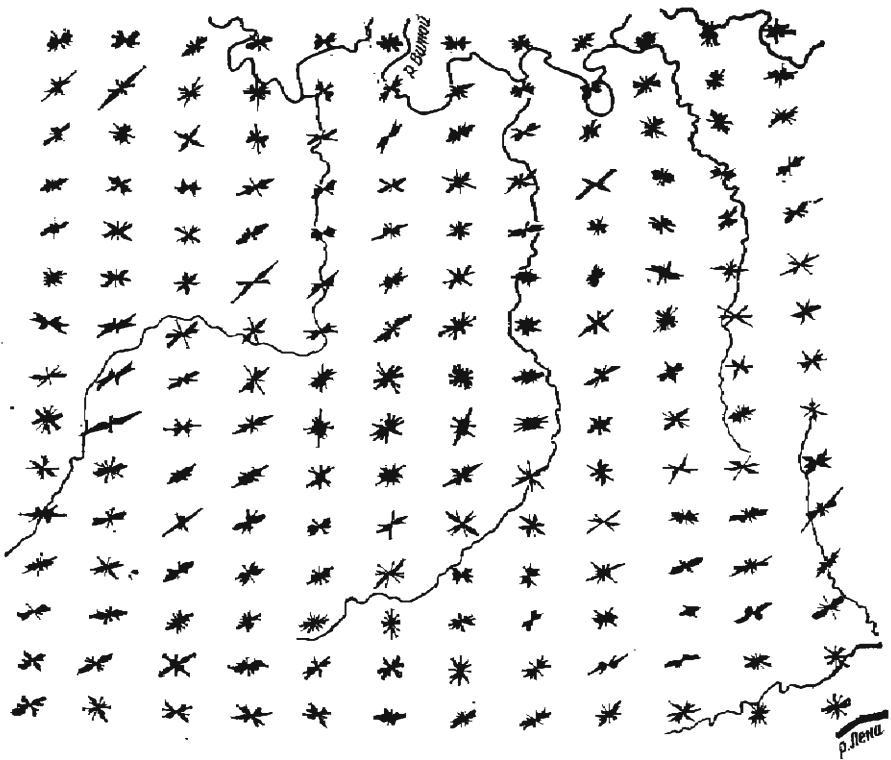
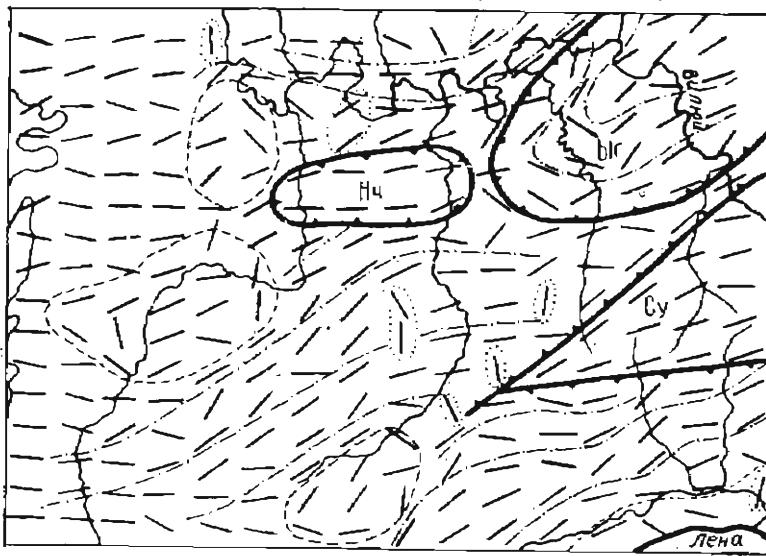


Рис. 17. Карта роз-диаграмм линейных элементов рельефа в одном из районов Сибирской платформы, по И. Г. Гольбрайху и др. [49].

были построены карты «средних простираций». При этом предполагалось, что полученные таким образом простирации совпадают с простирациями возможных здесь локальных структур [49].

На карту наносят большие диагонали параллелограммов, построенных на главных лучах роз-диаграмм линейных элементов рельефа. Поскольку помимо главных, диагональных по отношению к структуре разрывов существуют разрывы, продольные и поперечные к ее простиранию, то в многолучевой розе испытываются все возможные комбинации лучей и выбирается такая, при которой диагонали параллелограмма, построенного на каких-то лучах, совпадают с другими лучами той же розы-диаграммы. Найденные таким образом простирации в виде отрезков прямой наносят на карту в соответствующих точках (рис. 18).

Авторы метода подчеркивают, что используемые при построении роз-диаграмм и основанной на них карты средних про-



— 1 — 2 — 3 — 4 — 5

Рис. 18. Карта «средних простираций» предполагаемых пликативных структур в одном из районов Сибирской платформы, по И. Г. Гольбрайху и др. [49].

1 — линии средних простираций предполагаемых структур; 2 — контуры крупных установленных структур; 3 — структурные линии; 4 — структурные зоны; 5 — участки временных простираций. Су — сунтарское поднятие. Ил — Игартская впадина, Нч — Нижнечонская впадина.

стираний элементарные квадраты не должны быть меньше площади ожидаемых структур. Иначе из-за неравноценности слишком мелких «ячеек» возможны хотя и объяснимые, но отклоняющиеся от действительных результаты.

Изучение густоты (плотности) гидросети проводится с помощью специальных карт. При построении таких карт изучаемая территория разбивается на равные участки, в каждом из которых определяются количество или суммарная длина водотоков. Полученные числа относятся к центру участка, и эти точки соединяются изолиниями. Размер элементарного участка зависит от поставленных задач и объектов исследований и обычно колеблется от площади листа масштаба 1:100 000 до частей такого листа. Уменьшение площади элементарного квадрата повышает точность карты до известного предела, после которого дальнейшее сокращение размеров ячейки не дает положительного эффекта из-за появления сильного информационного «шума», обусловленного случайными ошибками и местными флюктуациями.

Лучшие результаты могут быть получены на картах, при построении которых цифровые данные осреднялись методом

«скользящего окна». Такое осреднение исключает резко переменную часть наблюдаемой совокупности, оставляя неизменной плавно меняющуюся часть [2]. Техника его проста: центр круговой или квадратной палетки последовательно перемещают по карте на равные расстояния и в каждой точке подсчитывают суммарную длину водотоков на площади палетки. Расстояние между точками измерения (шаг перемещения) может быть сколь угодно малым.

Радиус круговой или половина стороны квадратной палетки осреднения зависит от поставленной задачи, ожидаемой величины объекта и размеров аномалий. В общем случае этот параметр по величине должен быть больше локальных аномалий, но не превышать размеров региональных аномалий. При оптимальных радиусах палетки карта густоты гидросети позволяет по размерам и конфигурации аномалий густот установить не только местоположение, но и примерную величину нефтегазоносных структур.

Предложения по дальнейшему совершенствованию морфометрических методов применительно к интересующим нас проблемам обсуждаются ниже.

### **СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОСЕТИ НА ПЛОЩАДЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ**

Результаты анализа закономерностей размещения кимберлитов, изложенные в предыдущих главах, свидетельствуют о том, что проявления кимберлитового вулканизма в масштабах целых полей приурочены к зонам повышенной проницаемости, а локализация отдельных трубок взрыва и даек контролируется разрывными нарушениями земной коры. Поскольку процессы формирования как зон повышенной проницаемости, так и кимберлитолокализующих разломов, по всей вероятности, не могли не сопровождаться растрескиванием пород осадочного чехла, постольку поля и участки развития кимберлитов облашают, по-видимому, аномальной трещиноватостью. Следовательно, с учетом изложенного в начале этой главы следует ожидать, что на площадях распространения кимберлитов гидросеть должна обладать комплексом специфических особенностей по сравнению с окружающими территориями.

С общетеоретических позиций главнейшими различиями гидросети в районах распространения и отсутствия кимберлитов должны быть названы плотность (густота) и особенности ориентировки водотоков.

Повышенная плотность гидросети в пределах зон дробления земной коры и потенциальная благоприятность таких участков для внедрения магматических расплавов очевидны. Вместе с

тем очевидно и то, что реализация этой возможности зависит от многих факторов, одни из которых удовлетворительно, другие лишь частично могут быть оценены, а третий совершенно не поддаются учету на современном уровне знаний. К их числу относятся наличие очагов кимберлитовой магмы у подошвы земной коры, глубина проникновения и возраст зон дробления, а также геотектонический режим эволюции каждой зоны и отдельных участков ее.

Применительно к известным кимберлитовым полям наличие магматических очагов, необходимая глубина проникновения и соответствующий возраст определенной части зон дизъюнктивных дислокаций могут считаться установленными.

Геотектонический режим образования и эволюции зон повышенной проницаемости может быть качественно оценен по густоте разрывных нарушений горных пород в их пределах, а в закрытых районах — по аналогичным показателям гидросети. При построении мелко- и среднемасштабных карт плотности гидросети следует учитывать все водотоки, показанные на топографах масштаба 1 : 100 000.

Региональная зависимость между плотностью гидросети и размещением кимберлитов в региональном плане отчетливо выявляется уже на мелкомасштабных схемах. Проиллюстрируем эту зависимость на примере одного из регионов северо-восточной части Сибирской платформы. Плотность гидросети в его пределах подвержена значительной изменчивости, в результате чего наблюдаются четко выраженные зоны минимальных и максимальных значений (рис. 19).

Очевидно, что изменения плотности гидросети на столь обширной территории обусловлены не только тектоникой, но и различиями в литологии и некоторыми другими причинами. Искажающее влияние этих «помех» в принципе может быть устранено или существенно ослаблено путем расчленения изучаемой территории на районы с выдержанными литологическими, физико-географическими и другими характеристиками. Провести такое районирование возможно при условии предварительного знания всех характеристик. Однако в процессе районирования и особенно при основанной на нем интерпретации трудно избежать субъективизма в установлении и расшифровке специфики пограничных зон, в оценке относительной значимости отдельных факторов для образования гидросети на различных участках изучаемого региона и т. п.

Примерно 90% площади показанного на рис. 19 региона сложено карбонатными породами верхнего протерозоя и кембрия, и лишь на крайнем западе и юго-западе его наблюдаются выходы кристаллических пород фундамента платформы (рис. 20). Следовательно, почти для всей изученной территории литологический фактор в первом приближении может быть принят постоянным. В пользу правомерности этого допущения свиде-

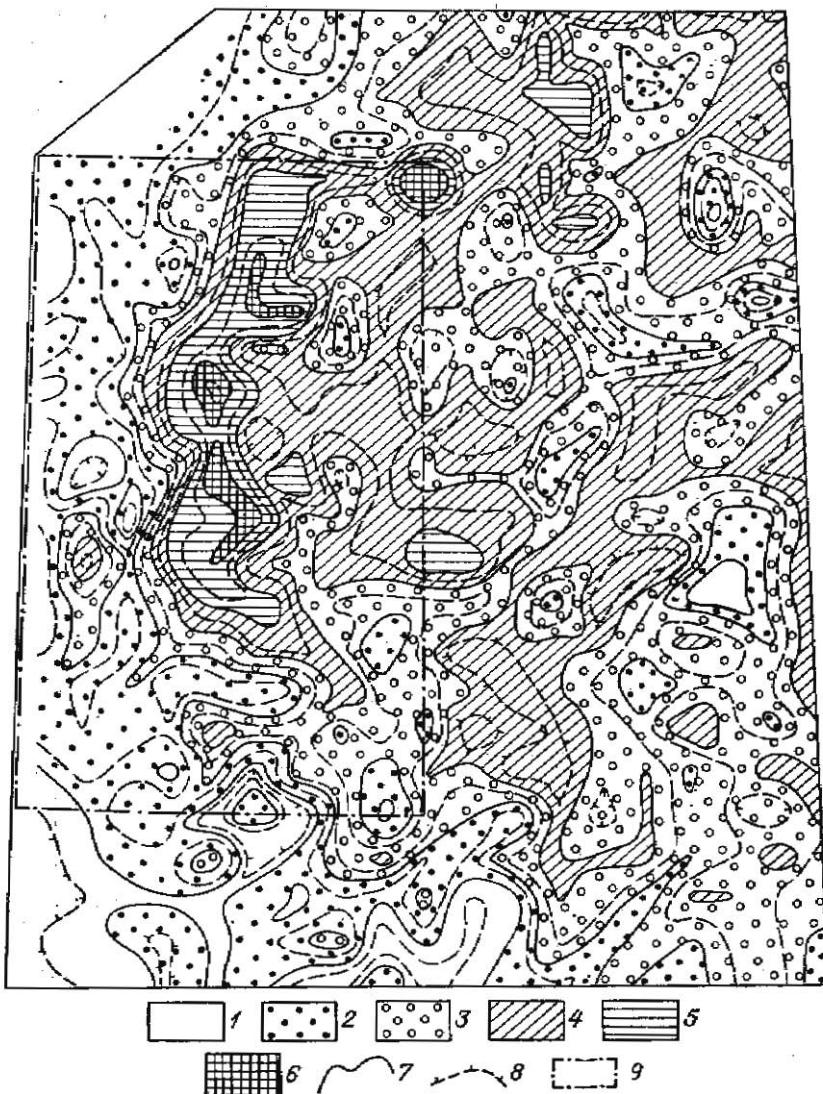


Рис. 19. Мелкомасштабная схема плотности (густоты) гидросети одного из районов северо-восточной части Сибирской платформы. Осреднение проводилось по сети с элементарной ячейкой около  $90 \text{ км}^2$  (1/16 площадки сдвоенного листа карты масштаба 1 : 100 000).

Плотность гидросети ( $n \cdot 10 \text{ км}/\text{км}^2$ ) : 1 —  $<2$ , 2 — 2—3, 3 — 3—4, 4 — 4—5, 5 — 5—6, 6 —  $>6$ ; 7 — основные и 8 — промежуточные изолинии; 9 — границы участка детализации, приведенного на рис. 22.

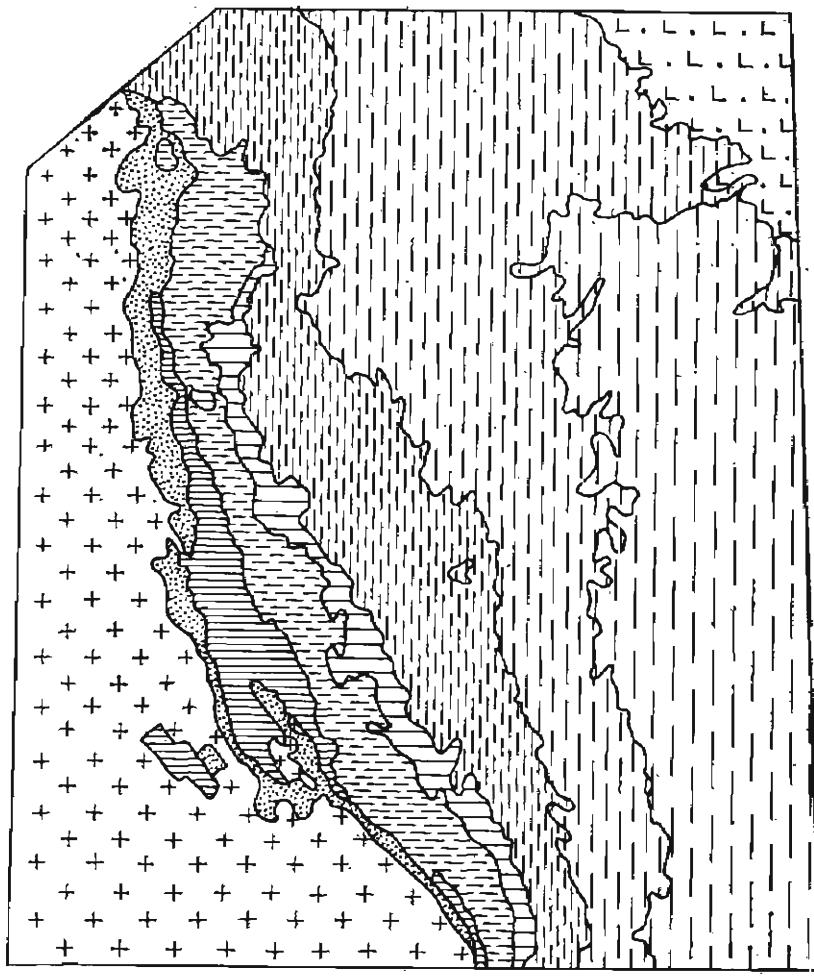


Рис. 20. Схема геологического строения района, приведенного на рис. 19.

1 — породы кристаллического фундамента (AR); 2 — терригенные отложения среднего протерозоя ( $PR_2$ ); 3—5 — преимущественно карбонатные отложения: 3 — трех свит верхнего протерозоя ( $PR^1_3$ ,  $PR^2_3$ ,  $PR^3_3$ ), 4 — нижнего кембрия ( $\mathcal{E}_1$ ), 5 — среднего кембрия ( $\mathcal{E}_2$ ), 6 — верхнего кембрия ( $\mathcal{E}_3$ ); 7 — терригенные и вулканогенные отложения пермомтриаса (P+T).

тельствует и тот факт, что изолинии плотности не имеют видимой связи с геологическими границами: участки максимальной и минимальной плотности гидросети нередко располагаются в непосредственной близости друг от друга в пределах поля развития единой геологической формации.

Единый тип рельефа (увалистое плато), выдержанность максимальных, минимальных высотных отметок и относительных превышений в пределах данного региона дают основание считать физико-географический фактор постоянным на всей изученной площади.

Изложенное позволяет заключить о том, что наблюдаемая изменчивость плотности гидросети почти на всей рассматриваемой территории обусловлена главным образом тектоническими причинами, и, следовательно, о правомерности сопоставления этой характеристики с особенностями размещения кимберлитов в ее пределах.

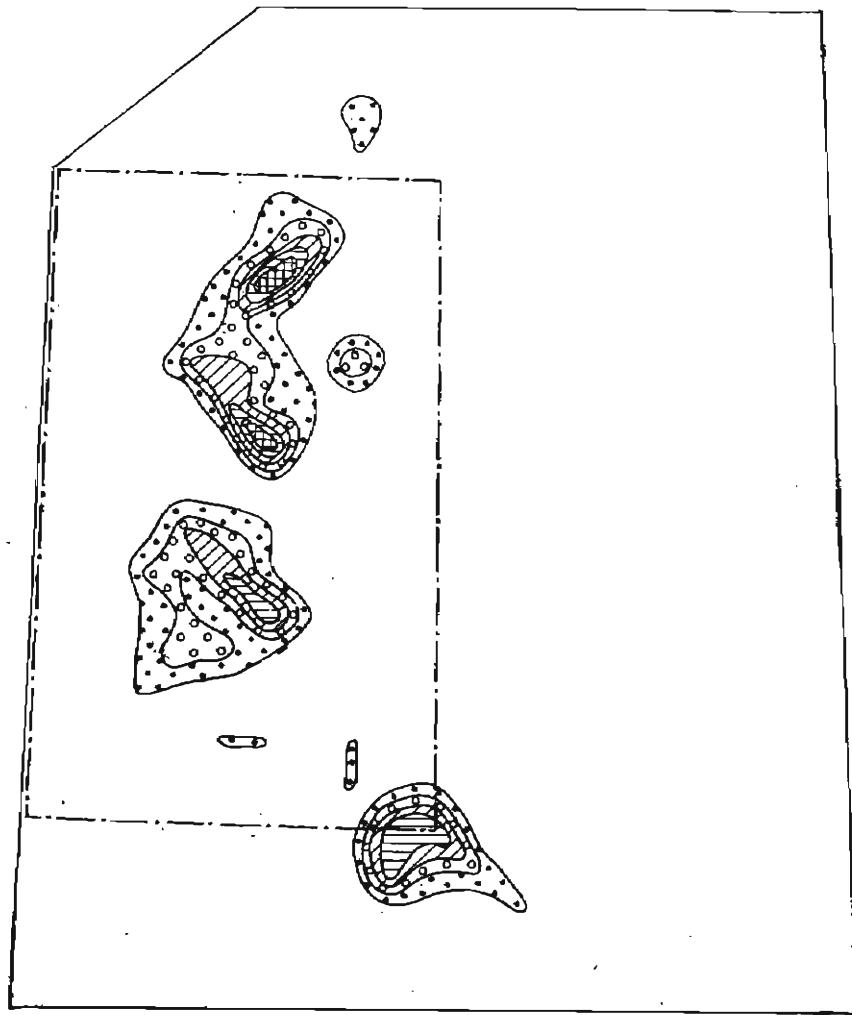
Даже визуальное сравнение мелкомасштабных схем густоты гидросети (см. рис. 19) и плотности пространственного расположения кимберлитовых тел (рис. 21) позволяет заключить о наличии тесной связи между названными характеристиками на изученной площади. И действительно, все наиболее интенсивные проявления кимберлитового вулканизма приурочены к участкам с максимальной густотой гидросети. Эта тенденция несколько усложняется за счет того, что отдельные выходы кимберлитов тяготеют к мысообразным выступам в зоне сочленения площадей с высокой и низкой плотностью гидросети.

Для анализа структуры кимберлитовых полей необходимы средние- и крупномасштабные схемы плотности гидросети, построение которых целесообразно проводить методом «скользящего окна». Размер элементарной ячейки и шаг перемещения ее должны выбираться с учетом масштаба исследований и специфических особенностей каждого района.

На первом этапе построения среднемасштабных схем размер ячейки может быть принят равным примерно 100 км<sup>2</sup> (1/16 сдвоенного листа карты масштаба 1 : 100 000), а шаг перемещения ее около 5 км (1/8 стороны листа такой карты). При указанных параметрах осреднения в значительной мере сглаживаются незакономерные колебания и вместе с тем достигается удовлетворительная детальность построений (рис. 22).

Сопоставление этих схем с построенными по той же методике и с аналогичными параметрами осреднения схемами плотности кимберлитовых диатрем (рис. 23) не оставляет сомнений в существовании теснейшей связи между размещением кимберлитов и плотностью гидросети на соответствующих участках территории.

Весьма наглядной и поэтому широко применяемой в исследованиях формой выражения количественных соотношений разноориентированных разрывных нарушений, водотоков и других линейных объектов являются розы-диаграммы. Наряду с несомненными преимуществами при визуальных сопоставлениях розы-диаграммы облегчают оценки меры изотропности в ориентировке изучаемых линейных объектов.



1—6 — плотность диатрем (в условных единицах на 1 км<sup>2</sup>): 1 — <1, 2—1—2, 3—2—3, 4—3—4, 5—4—5, 6 — >5; 7 — изолинии плотности; 8 — граница участка детализации, приведенного на рис. 22.

Рис. 21. Мелкомасштабная схема плотности кимберлитовых и перидотовых диатрем в пределах территории, показанной на рис. 19, с аналогичными параметрами осреднения.

1—6 — плотность диатрем (в условных единицах на 1 км<sup>2</sup>): 1 — <1, 2—1—2, 3—2—3, 4—3—4, 5—4—5, 6 — >5; 7 — изолинии плотности; 8 — граница участка детализации, приведенного на рис. 22.

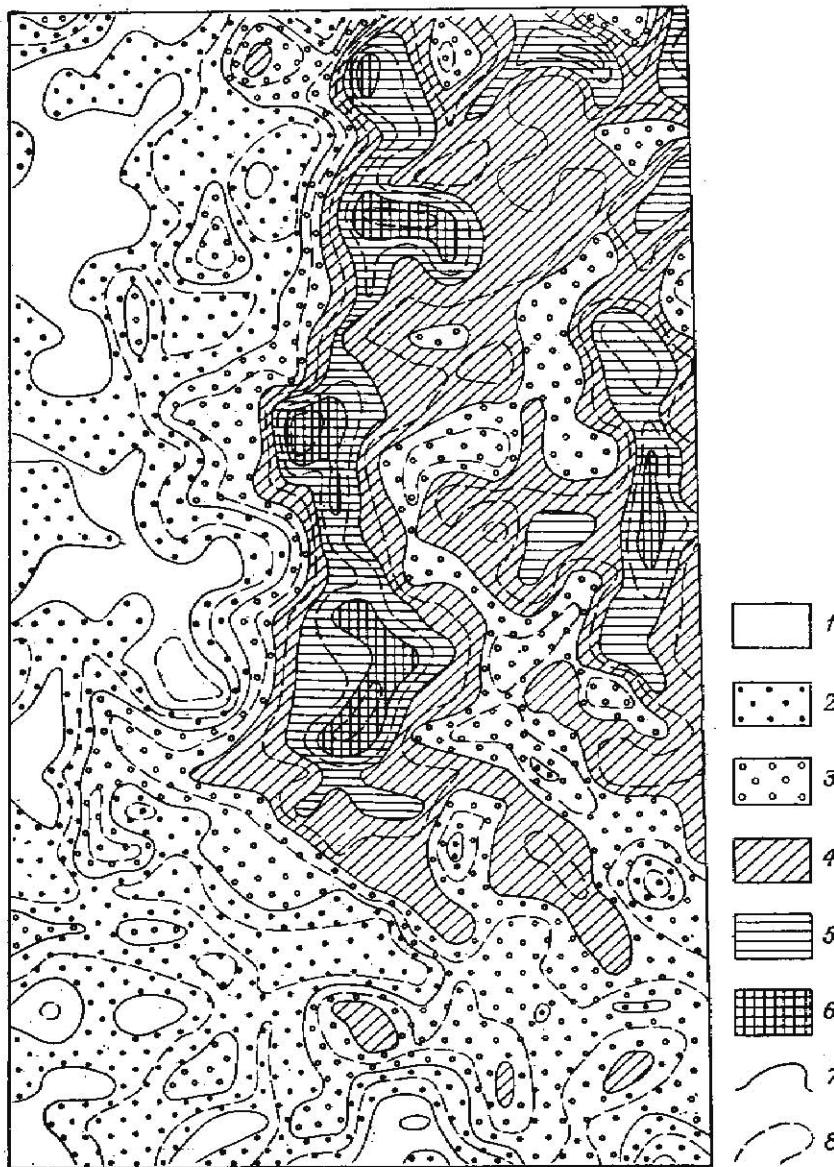


Рис. 22. Среднемасштабная схема плотности гидросети в западной части района, приведенного на рис. 19. Схема построена методом «скользящего окна», площадь которого составляет  $\sim 90 \text{ км}^2$ , а шаг перемещения 4,5 км в меридиональном и 5 км в широтном направлении.

1—6 — плотность гидросети ( $n \cdot 10 \text{ км}/\text{км}^2$ ): 1 —  $<2$ , 2 — 2—3, 3 — 3—4, 4 — 4—5, 5 — 5—6, 6 —  $>6$ ; 7—8 — основные и промежуточные изолинии.

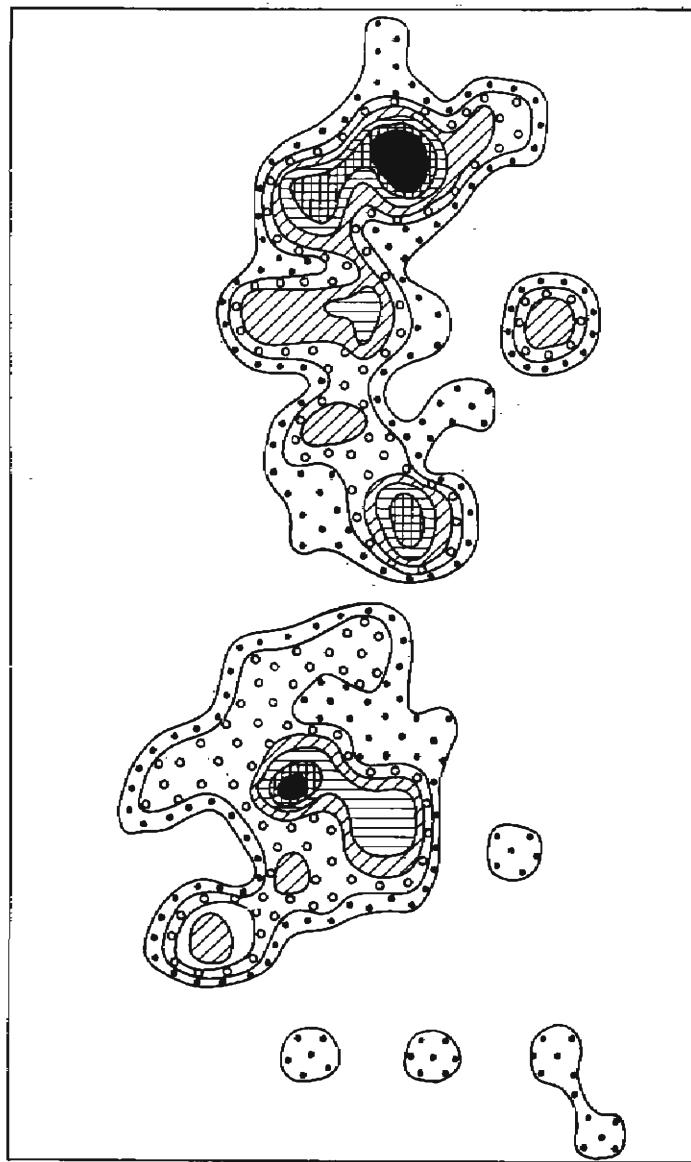


Рис. 23. Среднемасштабная схема плотности кимберлитовых и пикритовых диатрем в пределах участка детализации, показанного на рис. 19. Построения выполнены методом «скользящего окна» с параметрами осреднения, аналогичными использованным на схеме плотности гидросети этого участка (см. рис. 22).

1—7 — плотность диатрем (в условных единицах на 1 км<sup>2</sup>): 1 — <1, 2 — 1—2, 3 — 2—3, 4 — 3—4, 5 — 4—5, 6 — 5—6, 7 — >6.

Для характеристики количественных соотношений различно ориентированных водотоков на отдельных участках изучаемой территории и перехода к оценкам меры изменчивости этого признака наиболее удобны площадные схемы роз-диаграмм. Оптимальными, по нашему мнению, следует признать схемы роз-диаграмм, построенные путем осреднения по 10-градусным интервалам наблюдаемой длины и ориентировки водотоков методом «скользящего окна» по сети с вышеуказанным размером элементарной ячейки.

Такие схемы наряду со схемами густоты гидросети помогают различать участки — блоки земной коры, отличающиеся по особенностям тектонической трещиноватости, и поэтому они могут служить основой средне- и крупномасштабного тектонического районирования кимберлитовых полей.

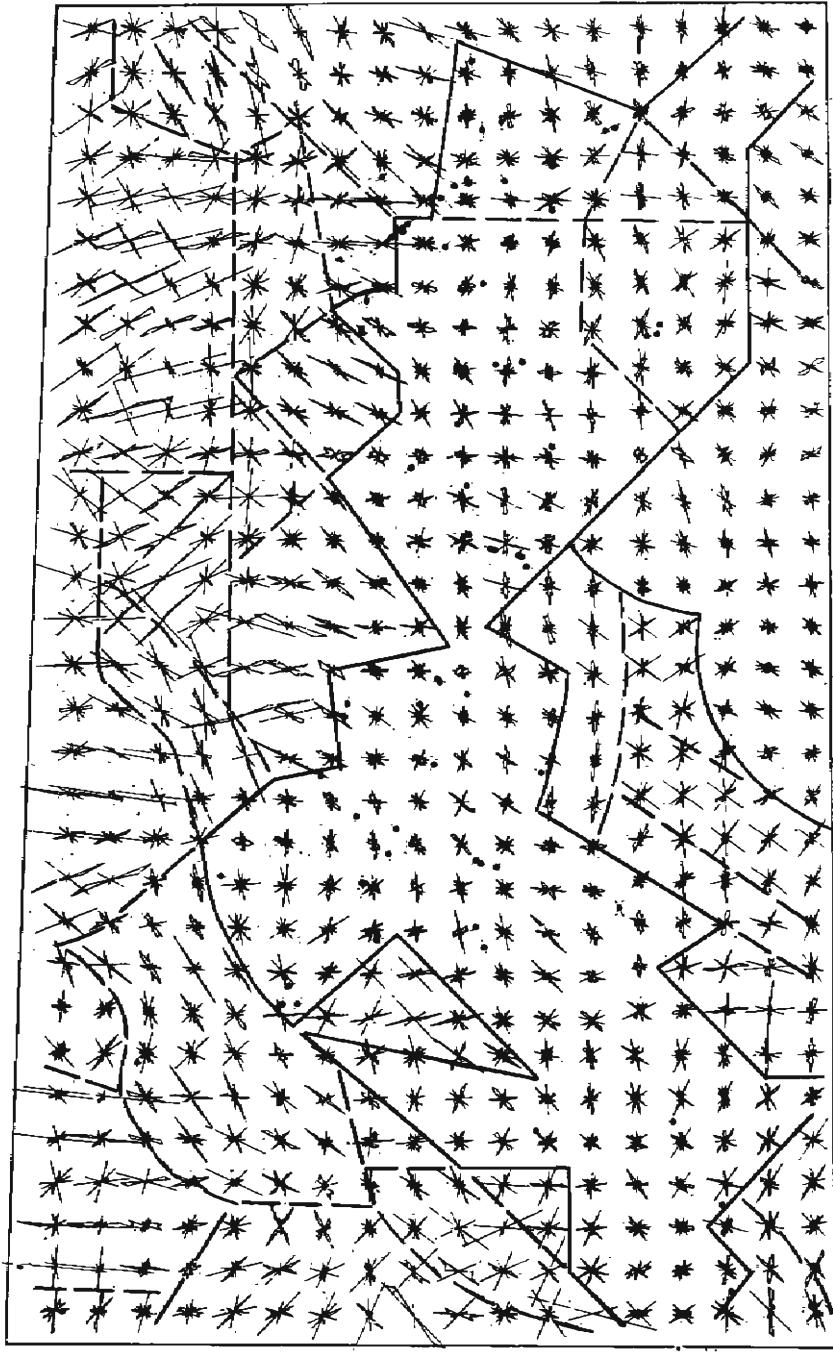
Проиллюстрируем изложенное площадными среднемасштабными схемами роз-диаграмм двух различных по геологическому строению районов Сибирской платформы. Геологические особенности одного из них, применительно к интересующему нас вопросу, кратко охарактеризованы в начале данного раздела и проиллюстрированы рис. 20. По специфическим особенностям роз-диаграмм и выявляемым с их помощью структурным рисункам в пределах этого района могут быть выделены два главных, четко различающихся между собой типа площадей (рис. 24).

Для площадей первого типа характерны существенно анизотропные и крестовидные (с небольшим числом субперпендикулярных лучей) розы-диаграммы. Площади второго типа отличаются преобладанием субизотропных и рассеянной вкрапленностью отчетливо анизотропных роз-диаграмм. Широкое распространение площадей первого типа не только на крайнем западе и юго-западе, где встречаются выходы метаморфических пород фундамента, но также и в центре, на севере, востоке и юго-востоке района, где развиты лишь карбонатные породы, исключает предположение о главенствующей роли литологического фактора в наблюдаемой картине мегатрещиноватости.

На площадях каждого, и в особенности первого, типа без особого труда различаются и могут быть оконтурены участки, отличающиеся по направлению главных, числу, размеру и ориентировке второстепенных лучей диаграмм.

Необходимо подчеркнуть, что в целях исключения случайных флюктуаций правомерным следует считать выделение обособленных площадей каждого типа и расчленение их на участки лишь в тех случаях, когда они включают не менее трех роз-диаграмм, не лежащих на одной прямой.

Пространственное размещение кимберлитов и пикритов зависит от строения земной коры, проявляющегося в особенностях гидросети: из 85 известных на этой территории трубок и даек лишь 4 располагаются в пределах площади первого типа,



причем удаление от пограничной линии составляет от 0,5 до 6,0 км (см. рис. 24). Не исключено, что попадание в пределы площади первого типа по крайней мере двух тел, наименее удаленных (0,5—1,0 км) от границы с площадью второго типа, обусловлено недостаточной точностью проведения пограничной линии. Для повышения точности определения границы между указанными типами площадей необходимо уменьшить шаг и несколько сократить размер элементарной ячейки осреднения.

Общая субмеридиональная вытянутость площади второго типа и резко выраженный перекрим в средней и южной частях изученной территории подтверждают принципиальную справедливость ранних, по существу интуитивных представлений о конфигурации в целом и целесообразности выделения здесь двух самостоятельных кимберлитовых полей [46].

Второй из упоминавшихся районов располагается в центральной части Сибирской платформы. Он сложен преимущественно карбонатными породами нижнего палеозоя, и лишь на юго-западе его широко распространены мощные (до 150 м) силлы триасовых долеритов, залегающие среди терригенных отложений перми (рис. 25). На карбонатных породах рельеф представлен полого-увалистым плато с небольшими абсолютными (до 300 м) и относительными (до 100 м) высотами. В той части района, где распространены траппы, наблюдаются бронированное плато и столовые горы, абсолютные отметки которых достигают 750 м, а относительные превышения — 400 м.

Существенные отличия геологического строения отдельных частей района отразились не только на рельефе, но и на мегатрещиноватости. Так, если на площадях развития нижнепалеозойских карбонатных пород розы-диаграммы ориентировки гидросети свидетельствуют о наличии кольцевых и спирально-вихревых структур, то области распространения траппов по указанному признаку расчленяются лишь на отдельные блоки с прямо- и криволинейными границами (рис. 26). Вполне вероятно, что последнее обстоятельство обусловлено искажающим влиянием мощных пластовых интрузий траппов, контракционная трещиноватость которых маскирует тектоническую трещиноватость чехла и фундамента платформы. Окончательно этот вопрос может быть решен при более детальных исследованиях.

---

Рис. 24. Среднемасштабная площадная схема роз-диаграмм гидросети и основанное на ней районирование в пределах участка детализации, показанного на рис. 19. Построения выполнены методом «скользящего окна» при 10-градусном интервале отсчетов и параметрах осреднения, использованных на предыдущих схемах этого участка (см. рис. 22 и 23).

1 — границы блоков земной коры, существенно различающихся по характеру мегатрещиноватости; 2 — границы участков, различающихся по структурному рисунку мегатрещиноватости; 3 — кимберлитовые тела.

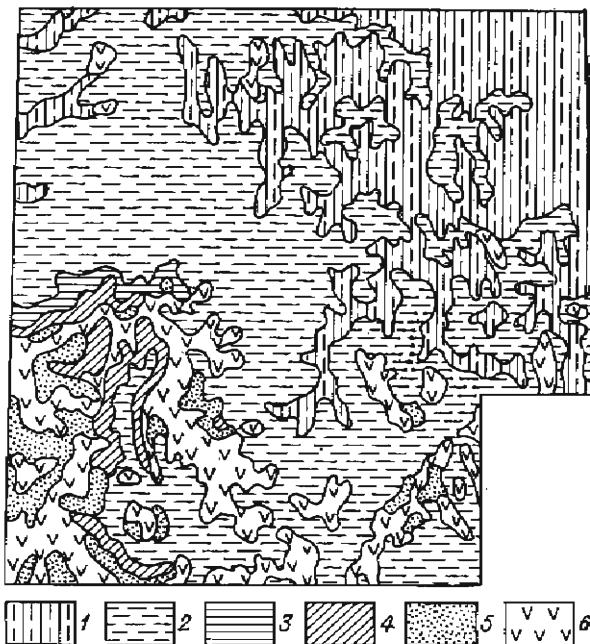


Рис. 25. Схема геологического строения одного из центральных районов Сибирской платформы.

1—4 — карбонатные отложения: 1 — верхнего кембрия ( $\text{O}_1$ ), 2 — нижнего ордовика ( $\text{O}_2$ ), 3 — среднего ордовика ( $\text{O}_3$ ), 4 — нижнего силура ( $\text{S}_1$ ); 5 — терригенные отложения карбона и перми ( $\text{C}+\text{P}$ ); 6 — породы трапповой формации триаса ( $\text{BUT}$ ).

Кольцевые и радиальные структурные зоны трещиноватости, достигающие многих километров в диаметре, отмечаются и на смежных территориях за пределами кимберлитовых полей [56]. Кольцевые, спирально-вихревые разломы различного порядка описаны также в других частях, в том числе и на северо-западе Сибирской платформы, где с ними связывается локализация медно-никелевых месторождений [14].

Пространственное размещение кимберлитов в изученном районе также имеет определенную связь со структурным планом, выявляемым по розам-диаграммам гидросети. Наиболее хорошо это выражено в северо-восточном квадранте, где все без исключения трубки и дайки размещаются в пределах крупной четко выраженной спирально-вихревой структуры. Тем самым подтверждается справедливость выделения данного участка в качестве самостоятельного кимберлитового поля. При более внимательном рассмотрении можно заметить, что трубки и дайки располагаются главным образом во внешней и частично в центральной зонах спирали, в то время как промежуточная зона ее полностью лишена выходов кимберлитовых пород.

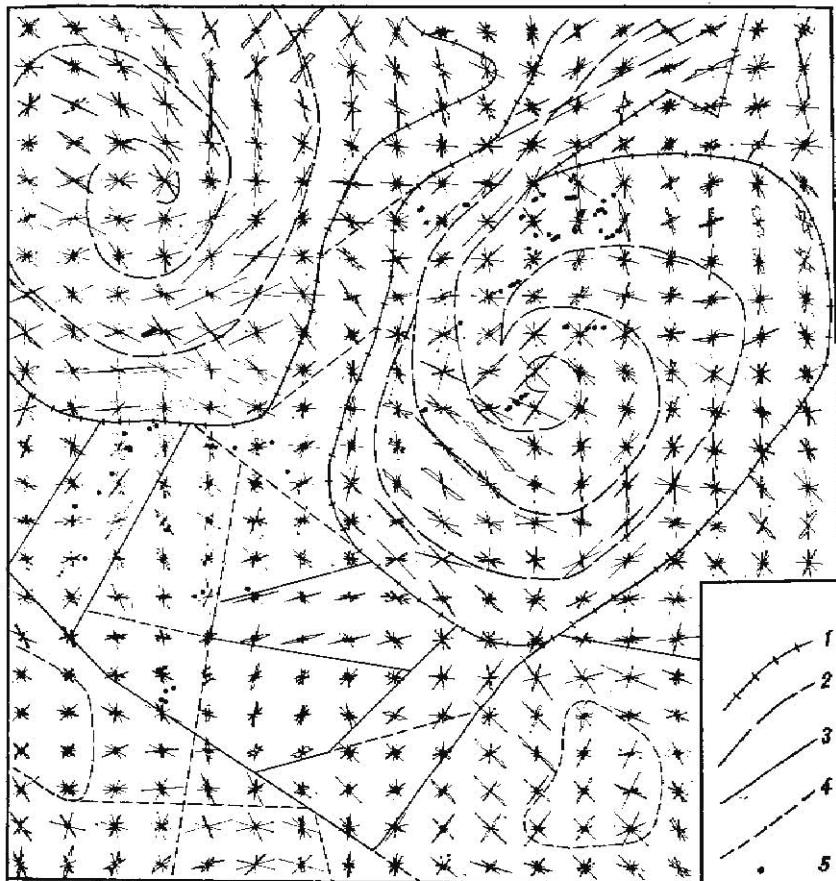


Рис. 26. Среднемасштабная площадная схема роз-диаграмм гидросети и основанное на ней районирование одного из центральных районов Сибирской платформы. Построения выполнены методом «скользящего окна» при 10-градусном интервале отсчетов, площади элементарной ячейки около  $100 \text{ км}^2$ , шаге перемещения 4,5 км в меридиональном и 5,5 км в широтном направлении.

1 — внешние границы спирально-вихревых структур земной коры; 2 — направления главнейших структурных элементов в спирально-вихревых структурах; 3 — границы блоков земной коры, существенно различающихся по характеру мегатрециноватости; 4 — границы участков, различающихся по структурному рисунку мегатрециноватости; 5 — кимберлитовые тела.

Кимберлитовые тела встречены также в западной части района, причем наибольшее число их обнаружено на юго-западе и лишь одна обособленная группа диатрем — в северо-западном квадранте. В пределах юго-западной части района, характеризующейся широким развитием траппов, кимберлиты не имеют видимой связи с какими-либо из выделенных здесь

блоков. Конфигурация последних, как уже отмечалось, вероятнее всего, отражает строение лишь трапповой «маски», которая скрывает глубинное строение территории.

Вышеупомянутая обособленная группа диатрем на северо-западе района залегает среди нижнепалеозойских карбонатных пород, мегатрешиноватость которых позволяет заключить о наличии здесь крупной кольцевой или спирально-вихревой структуры. Южная граница структуры проходит, по-видимому, вблизи северной окраины траппового плато, и поэтому находящиеся в его пределах кимберлитовые тела, вероятно, имеют иную тектоническую позицию. Если это так, то при дальнейших, более детальных исследованиях следует рассмотреть вопрос о правомерности отнесения всех диатрем западной части района к единому кимберлитовому полю.

Площадные схемы роз-диаграмм гидросети помогают выделять разнородные блоки земной коры, позволяют трассировать системы разрывных нарушений и оценивать количественное соотношение разноориентированных дизьюнктивов на отдельных участках территории. Характер получаемых оценок определяется целями исследований и зависит от методики анализа роз-диаграмм. При визуальном анализе оценки будут носить сугубо качественный характер, а применение даже простейших математических приемов позволяет получать полукачественные и количественные оценки с различной степенью приближения.

Переход к полукачественным и количественным оценкам открывает возможность для построения схем в изолиниях по избранному признаку или комплексу признаков. Так, например, до получения информации о простирациях главнейших рудо-контролирующих нарушений на различных участках каждого отдельно взятого кимберлитового поля потенциально самыми благоприятными должны быть признаны те площади с максимальной плотностью гидросети, где последняя равномерно ориентирована по наибольшему числу направлений.

Определение меры изотропности ориентировки лучей, слагающих розы-диаграммы, в зависимости от целей и задач проводимых исследований может быть выполнено различными способами, различающимися относительными оценками значимости и детальностью отражения отдельных характеристик, трудоемкостью вычислительных операций и другими признаками.

Для массовых вычислений при анализе специфических особенностей гидросети на обширных площадях распространения кимберлитов можно применять следующую простую формулу, позволяющую в первом приближении определять безразмерный показатель изотропности ( $q$ ) роз-диаграмм:

$$q = \sqrt{(IVn) : L} , \quad (1)$$

где  $L$  — длинная и  $l$  — перпендикулярная к ней короткая оси круговой диаграммы,  $n$  — число лучей в «розе» при 10-градусном интервале разбивки окружности (интервалы с длиной водотоков менее 1 км малопредставительны, поэтому в состав диаграммы не включаются и при подсчете числа лучей не учитываются).

Характерные типы роз-диаграмм и показатели их изотропности, вычисленные по формуле (1), приведены на рис. 27.

С помощью этой формулы были вычислены также показатели меры изотропности всех 558 роз-диаграмм, показанных на рис. 24, и на основе этих данных построена схема площадного распределения степени изотропности ориентировки водотоков в пределах избранного района (рис. 28). Наглядность такого способа обобщения материалов очевидна: если при визуальном анализе многочисленных роз-диаграмм закономерности различий их изотропности в пределах всей территории улавливаются с достаточными трудностями, то на иллюстрируемой рис. 28 схеме площадное распределение нескольких градаций изотропности в ориентировке гидросети выявляется предельно легко и четко.

Участки с максимальными значениями названного признака определено тяготеют к средней части территории. Напомним, что максимальная плотность гидросети и проявления кимберлитового вулканизма также располагаются в субмеридиональной полосе, протягивающейся от северной и почти до южной границы площади (см. рис. 22 и 23).

Поскольку проявления кимберлитового вулканизма тяготеют к участкам с повышенными значениями изотропности ориентировки и плотности водотоков, поскольку обе эти характеристики примерно равнозначны и обобщающий показатель специ-

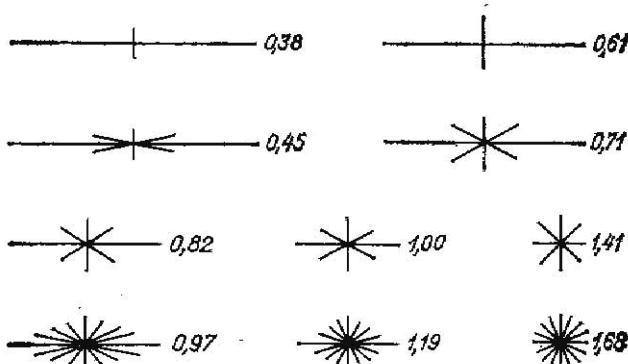


Рис. 27. Некоторые типы роз-диаграмм и показатели их изотропности, вычисленные по формуле (1).

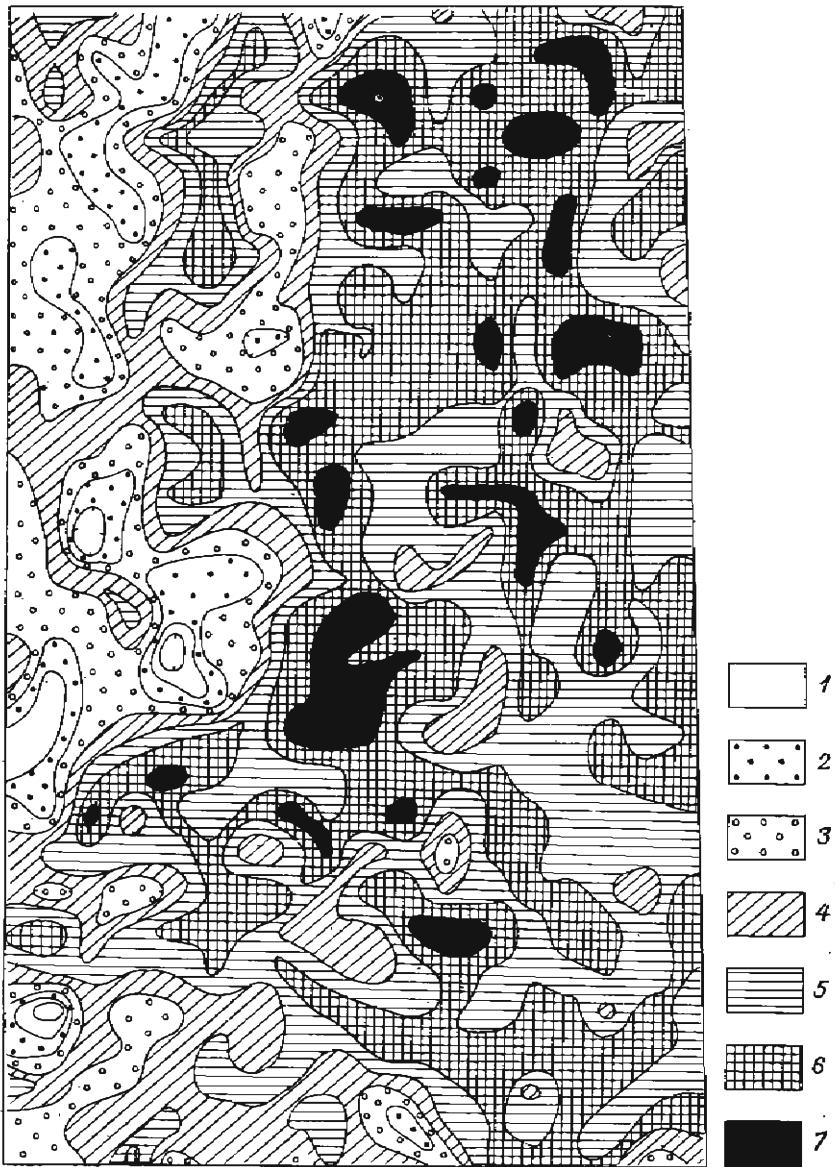


Рис. 28. Среднемасштабная схема степени изотропности ориентировки водотоков в пределах участка детализации, показанного на рис. 21—23.

Мера изотропности ориентировки, вычисленная по формуле (1): 1 —  $<0,6$ ; 2 —  $0,6—0,8$ ; 3 —  $0,8—1,0$ ; 4 —  $1,0—1,2$ ; 5 —  $1,2—1,4$ ; 6 —  $1,4—1,6$ ; 7 —  $>1,6$ .

фичности гидросети ( $\rho$ ) в первом приближении может быть представлен их произведением, т. е.

$$\rho = \sigma q, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — мера плотности (густоты) водотоков, вычисленная путем деления суммарной длины их на площадь элементарной ячейки в принятой сети наблюдения и осреднения;  $q$  — безразмерный показатель изотропности ориентировки водотоков, вычисленный по формуле (1).

По численным значениям плотности и ориентировки гидросети, использованным для построения соответствующих площадных схем (рис. 22 и 28), была вычислена по формуле (2) мера специфичности гидросети в 558 точках и составлена схема распределения этого показателя в пределах упоминавшегося района Сибирской платформы (рис. 29).

Даже визуальное сравнение рисунков 22—24, 26 и 27 не только позволяет заключить о предпочтительном расположении кимберлитов на площадях с повышенными значениями плотности и изотропности ориентировки водотоков, но определенно свидетельствует также о целесообразности применения предложенной меры специфичности гидросети в качестве показателя благоприятности различных участков территории для локализации и обнаружения кимберлитовых тел за пределами известных кимберлитовых полей, а отчасти и в пределах уже установленных площадей их развития.

Четкая связь между локализацией кимберлитов, плотностью и ориентировкой гидросети наблюдается также во многих других районах. Однако необходимо отметить, что сила связи между особенностями гидросети и локализацией кимберлитов, как правило, обратно пропорциональна возрасту последних: наиболее выражена она в районах проявления позднемезозойского вулканизма, слабее — на площадях развития раннемезозойских и обычно едва улавливается в полях палеозойских кимберлитов. Не требует особых доказательств тот факт, что в общем случае чем древнее кимберлиты изучаемого поля, тем более существенные преобразования структурного плана могли произойти в его пределах с момента образования диатрем до наших дней. При этом наиболее разительные преобразования происходили в районах проявления более молодого, чем кимберлитовый, магматизма и в первую очередь в районах массового развития позднепалеозойских — раннемезозойских траппов.

Плотность и ориентировка гидросети в таких районах даже на выходах нижнепалеозойских толщ отражают суммарную картину тектонической трещиноватости рамы, из которой выделить «предкимберлитовую» составляющую затруднительно или почти невозможно. На площадях развития пород трапповой формации картина еще более усложнена за счет контракционной трещиноватости.

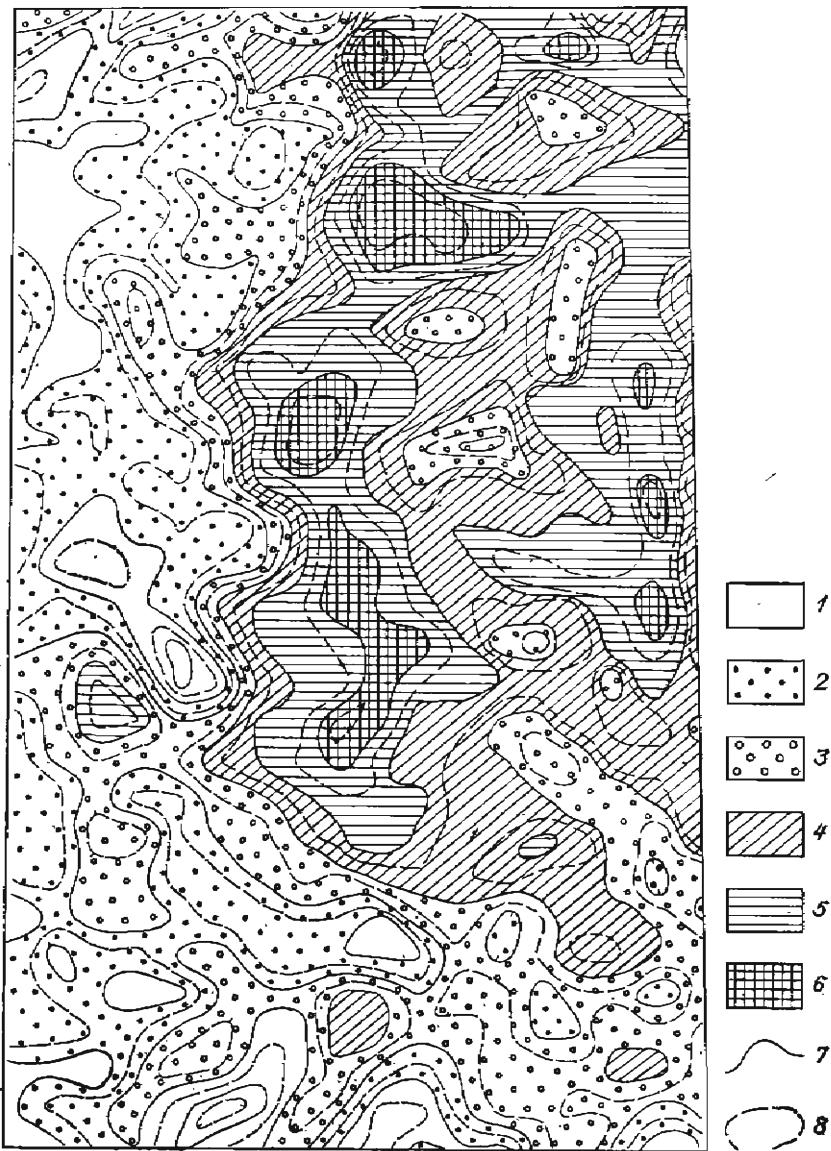


Рис. 29. Среднемасштабная схема специфичности (изотропности в ориентировке и густоте) гидросети в пределах того же (см. рис. 26) участка.

Мера специфичности гидросети, вычисленная по формуле (2): 1 —  $<0,2$ ; 2 — 0,2—0,4; 3 — 0,4—0,6; 4 — 0,6—0,8; 5 — 0,8—1,0; 6 —  $>1,0$ ; 7—8 — основные и промежуточные изолинии.

Сложность реставрации главнейших систем разрывных нарушений к началу вулканической деятельности в полях палеозойских кимберлитов не исключает, а лишь затрудняет исследования палеотектонической обстановки на соответствующих участках территории. В условиях характерной для большинства платформенных областей плохой обнаженности коренных пород исследования гидросети с помощью вышеизложенных и других методов могут сыграть немаловажную роль при анализе блокового строения, трассировании зон дизъюнктивных дислокаций рамы даже в древних кимберлитовых полях и поэтому заслуживают самого широкого применения в практике детальных тематических и геологоразведочных работ.

### **ПРАВОМЕРНОСТЬ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПО МЕГАТРЕЩИНОВАТОСТИ**

Тектоническое районирование, в основе которого лежит анализ мегатрещиноватости, имеет целью выделение блоков земной коры, отличающихся по характеру разрывных нарушений в горных породах. Есть основания считать, что, несмотря на территориальную близость, каждый из таких блоков подвергался ощутимо различным по силе и направлению тектоническим воздействиям, которые обусловили образование различной по характеру трещиноватости слагающих блоки горных пород, что в свою очередь сказалось на степени проницаемости их для магматических расплавов.

Такое районирование правомерно проводить и использовать для дальнейших построений при условии, что мегатрещиноватость отражает действительные особенности геологического строения соответствующих участков территории и в первую очередь согласуется с главнейшими особенностями макротрещиноватости, наблюдаемой в обнажениях коренных пород. Это принципиально важное положение было проверено и подтверждено в итоге специальных полевых работ.

Перед исследованиями по сравнительному изучению мега- и макротрещиноватости ставились две главные задачи: а) проверка выдержанности принципиальных особенностей макротрещиноватости на единых блоках и существенные различия ее на различных блоках земной коры, выделяемых по мегатрещиноватости, а следовательно, и геологической правомерности проведения границ между такими блоками; б) выяснение ширины и тектонофизического типа пограничной зоны между блоками, отличающимися по характеру и (или) структурному рисунку мегатрещиноватости.

Итоги решения первой задачи покажем на примере двух участков из средней и северной части района, структурная схе-

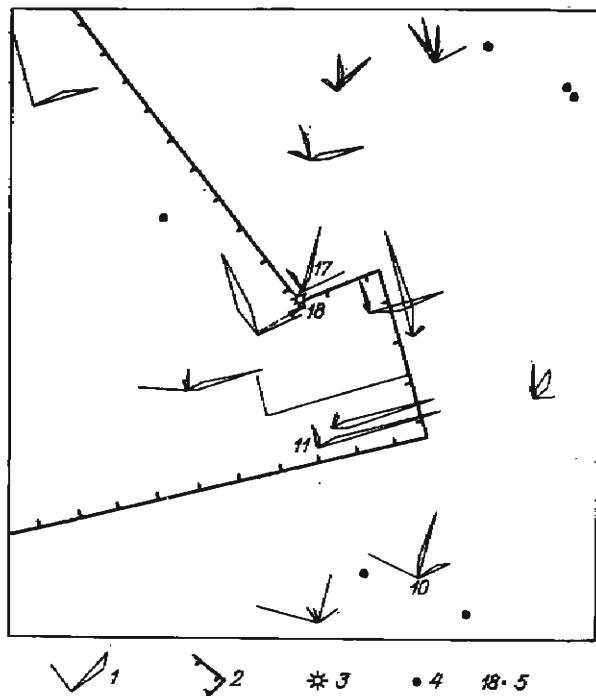


Рис. 30. Крупномасштабная схема макротрещиноватости в средней части района, показанного на рис. 24.

1 — розы-диаграммы макротрещиноватости в средне- и толстоплитчатых доломитах верхней подсвиты билляхской свиты ( $PR_d$ ); 2 — граница блоков земной коры, существенно различающихся по мега- и макротрещиноватости; 3 — жерло позднепротерозойского вулкана; 4 — кимберлитовые тела; 5 — номера точек наблюдения, упоминаемые в тексте.

ма которого приведена на рис. 24. Участки интересны тем, что здесь наблюдается клиновидное сочленение блоков земной коры, существенно отличающихся по характеру мегатрещиноватости.

Приведенная на рис. 30 крупномасштабная схема одного из указанных участков с розами-диаграммами макротрещиноватости свидетельствует о правомерности выделения здесь двух разнородных блоков. Небольшое уточнение контура этих блоков по сравнению с предварительно построенной мелкомасштабной схемой (рис. 24) является естественным результатом более детальных работ. Главнейшие различия макротрещиноватости одинаковых по возрасту и составу пород в пределах каждого из указанных блоков четко устанавливаются даже при визуальной оценке (рис. 31 и 32).

В целях повышения надежности выводов полевые наблюдения не ограничивались визуальными оценками и подсчетами числа трещин различного простирания, а сопровождались еще



Рис. 31. Тектоническая трещиноватость среднеплитчатых доломитов верхней подсвиты билляхской свиты ( $PR_4$ ) в западной части территории, показанной на рис. 30. Длина компаса 11 см.

а — деталь коренного выхода в точке наблюдения I8; б — деталь коренного выхода в точке наблюдения II.

измерениями длины различно ориентированных трещин. Для этого выбирались наиболее обширные по площади участки горизонтальных выходов коренных пород («полы»). Суммарная длина трещин по каждому участку принималась за 100%, и поэтому лучи роз-диаграмм на рис. 30 отражают относительную длину трещин соответствующего простирания. Одновременно вычислялись плотность (густота) трещин ( $\text{м}/\text{м}^2$ ), которая тем или иным способом также может быть отражена на схемах. Практически полное сходство систем мега- и макротрещиноватости на описанном участке нельзя объяснить случайностью, но следует рассматривать как подтверждение теснейшей связи между ними.

Другим весомым, по нашему мнению, подтверждением достоверности и геологической значимости выделения блоков на этом участке является приуроченность к излому границы между ними древнего (позднепротерозойского) вулкана. Описание наблюдавшего в береговом обрыве жерла и выполняющих его трахитовых туфобрекций даны более 15 лет назад [10]. Однако геоструктурное положение и причины локализации вулкана в данной точке до последнего времени оставались не известны.

Существенно различный характер роз-диаграмм макротрещиноватости вмещающих пород по обе стороны от вулкана и

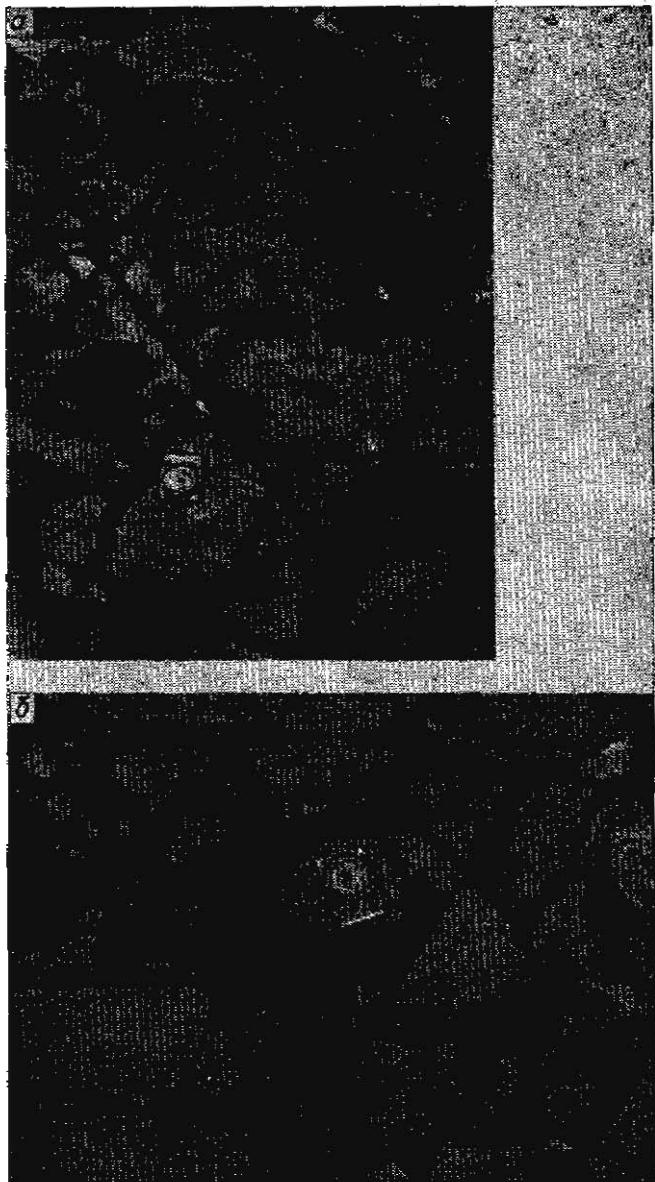


Рис. 32. Тектоническая трещиноватость среднеплитчатых доломитов верхней подсвиты билляжской свиты ( $PR_3$ ) в восточной части территории, показанной на рис. 30.

а — деталь коренного выхода в точке наблюдения 17; б — деталь коренного выхода в точке наблюдения 10.

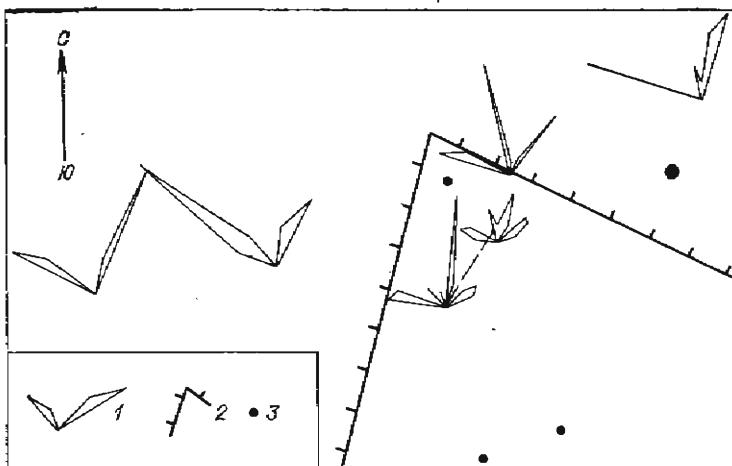


Рис. 33. Крупномасштабная схема макротрещиноватости в пределах участка из северной части района, показанного на рис. 24.

1 — розы-диаграммы макротрещиноватости в доломитах биляхской свиты; 2 — граница блоков земной коры, существенно различающихся по мега- и макротрещиноватости; 3 — кимберлитовые тела.

прохождение здесь выделенной по мегатрещиноватости границы разнородных блоков земной коры позволяют заключить о причинной связи всех перечисленных фактов. Если выделенная по трещиноватости структурная граница объясняет локализацию вулкана, то по принципу обратной связи наличие последнего является определенным свидетельством в пользу существования и намеченного положения данной границы в пространстве. Наблюдения над макротрещиноватостью по обе стороны палеовулкана имеют также значение для некоторых аспектов второй задачи. К ним мы вернемся при обсуждении итогов решения последней.

Участок Вулкан является не единственным примером теснейшей парагенетической связи макро- и мегатрещиноватости. Столь же хорошая сходимость ориентировки макро- и мегатрещиноватости пород осадочного чехла, правомерность выделения разнородных блоков земной коры и вполне удовлетворительная надежность определения границ между ними по площадным схемам мегатрещиноватости установлена в итоге специализированных исследований еще и в северной части того же района (рис. 24 и 33).

Решение задачи о ширине и тектонофизической модели пограничных зон между блоками, различающимися по характеру и (или) структурному рисунку мегатрещиноватости, затрудняется слабой обнаженностью всех изученных районов. Коренные выходы здесь малочисленны и обычно не превышают в длину

первых десятков метров. Наиболее выигрышной в этом отношении является северная часть района, схема мегатрециноватости которого приведена на рис. 24. Здесь находятся три участка, наблюдения на которых позволяют сделать определенные выводы по обсуждаемым вопросам.

Один из этих участков размещается на субширотном отрезке течения р. Анабар, немного ниже устья р. Улахан-Тюлень. Через расположенное здесь крупное обнажение коренных пород проходит граница двух блоков, выделяемых по структурному рисунку мегатрециноватости (штриховая субмеридиональная линия вблизи сочленения ее с аналогичной линией юго-восточного простирания в верхней части рис. 24).

Коренные выходы тонкопереслаивающихся красно-бурых и зеленовато-серых глинистых известняков нижнего кембрия (куранахский горизонт) слагают здесь обрыв длиной около 2 км и высотой до 100 м. На отдельных участках скальные выходы прерываются узкими (5—20 м) полосами осыпей, часть из которых протягивается от подножия до бровки берегового уступа. На отдельных участках заливаемого в половодье подножия встречаются горизонтальные коренные выходы («полы»). Вся толща полого ( $\sim 3^\circ$ ) наклонена на восток. Благодаря яркой и контрастной окраске отложений отдельные прослои и пачки без труда прослеживаются на всю длину обнажения. При этом устанавливается, что моноклинальное залегание их нигде не осложняется какими-либо пликативными дислокациями или сбросами.

Вместе с тем даже при визуальном наблюдении подмечаются существенные различия тектонической трещиноватости пород в западной и восточной частях обнажения Улахан-Тюлень: если в западной части его породы секутся несколькими примерно одинаковыми по распространенности системами трещин, то в пределах восточной части обнажения резко преобладают трещины субмеридиональных простираций при незначительном количестве почти перпендикулярных к ним (рис. 34 и 35). Об этом же свидетельствуют и результаты измерений макротрециноватости (рис. 36).

Непосредственный контакт или переход между двумя указанными типами трещиноватости пород в едином скальном выходе не наблюдается. Западная и восточная части обнажения, различающиеся по характеру тектонической трещиноватости, разделены заполняющей небольшой ложок осыпью, ширина которой около 30 м. На расстоянии первых десятков метров к западу от ложка среди крупных скальных выходов с трещиноватостью западного типа встречено несколько небольших, окруженных осыпями останцов с трещиноватостью, характерной для восточной части обнажения.

Принимая во внимание предпочтительное заложение ложковой сети в местах повышенной дезинтегрированности корен-



Рис. 34. Проявление нескольких примерно равноценных систем тектонических трещин в пестроцветных глинистых известняках нижнего кембрия. Деталь западной части обнажения Улахан-Тюлень.

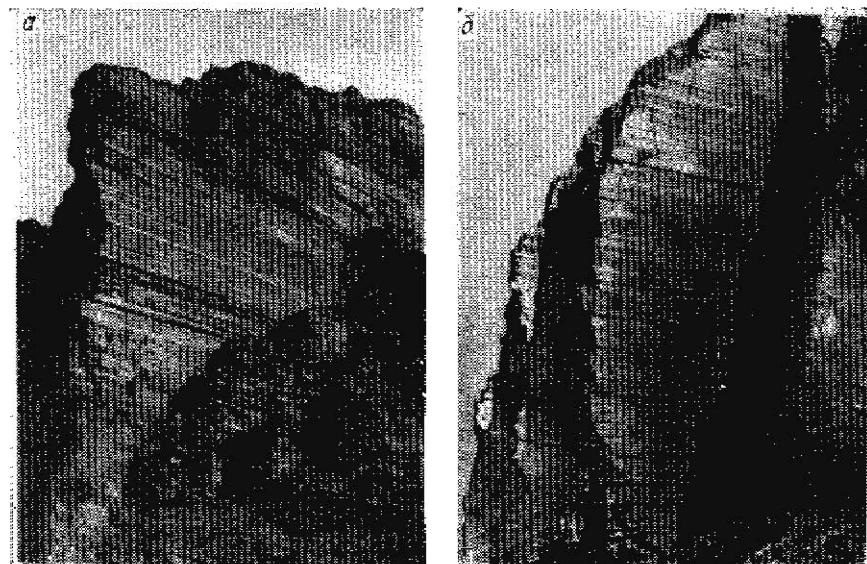


Рис. 35. Проявление одной главвой и второй подчиненной системы тектонических трещин в пестроцветных глинистых известняках нижнего кембрия. Две детали (а, б) восточной части обнажения Улахан-Тюлень.

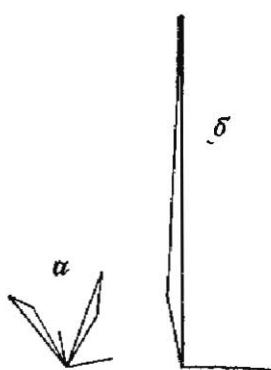


Рис. 36. Розы-диаграммы относительной длины разноориентированных тектонических трещин в пестроцветных глинистых известняках нижнего кембрия.

Обнажение Улахан-Тюлень: а — западная часть, б — восточная часть.

ных пород, можно предполагать, что упомянутый ложок в средней части обнажения Улахан-Тюлень проходит по контактовой зоне между блоками с различными типами тектонической трещиноватости. Узколокальные, незначительные по масштабам проявления трещиноватости восточного типа в западном блоке, по всей вероятности, следует относить к особенностям приграничной полосы. Отдельные участки с трещиноватостью западного типа в принципе возможны и в пределах восточного блока на небольшом удалении от границы.

Места замеров тектонической трещиноватости в обнажении Улахан-Тюлень, по которым построены приведенные на рис. 36 розы-диаграммы, расположены в 130 м друг от друга и примерно в 50 м по обе стороны от пограничного ложка (более близких к ложку горизонтальных выходов найти не удалось).

Изложенное позволяет заключить, что ширина пограничной зоны между блоками с различным характером тектонической трещиноватости не превышает нескольких десятков метров. Уже непосредственно по обе стороны от этой зоны тектоническая трещиноватость не отличается от трещиноватости, характерной для каждого из таких блоков.

Увеличение ширины пограничной зоны на участке Вулкан (см. рис. 30) до 170 м обусловлено наличием там вулканического жерла, формирование и деятельность которого сопровождались, по всей вероятности, образованием дополнительных систем трещин. Для исключения искажающего влияния «вулканических» трещин точки измерения трещиноватости (17 и 18 на рис. 30) расположены в 50—70 м от жерла.

В тех случаях, когда пограничные зоны между разнородными блоками земной коры отличаются особо сильными нарушениями сплошности и повышенной дезинтеграцией горных пород, к ним тяготеют ручьи и речки. Водотоки такого заложения на всем протяжении или на значительных отрезках своего течения характеризуются исключительной прямолинейностью. Примером может служить пограничная зона северо-западного

простирания, находящаяся на крайнем северо-востоке рассматриваемого района (см. рис. 24). В пределах изученной территории эта зона прослежена на 27 км, причем на протяжении 19 км она четко трассируется на местности и топокартах по сильно врезанным прямолинейным долинам р. Курунгих (юго-восточная часть зоны), противоположного ей левого безымянного притока р. Анабар и спрямленному отрезку долины р. Ньюекюлээх (у северо-западного окончания зоны).

В некоторых случаях на границах раздела между разнородными блоками имели место значительные тангенциальные напряжения. Такие напряжения могли возникать при радиальных движениях блоков на участках с наклонным положением плоскости раздела.

Ярким примером подобного взаимодействия разнородных по мегатрециноватости блоков земной коры может служить участок на крайнем северо-востоке упоминавшегося района развития кимберлитов (см. рис. 24). Здесь в непосредственной близости от протягивающейся с юга субмеридиональной границы на участке излома и поворота ее к северо-востоку располагается крупное коренное обнажение сильно дислоцированных пород, слагающих восточный блок.

Серия асимметричных складок, обладающих одинаково крутыми западными и пологими восточными крыльями, осложняющие их узкие (1—1,5 м) зоны смятия, имеющие вид флексурообразных перегибов слоев с наклоном на запад, а также общее «запрокидывание» самих флексур к западу вверх по разрезу (рис. 37) со всей очевидностью свидетельствуют о том, что источник тангенциальных напряжений располагался на западе в непосредственной близости от изученного обнажения. Резкая асимметрия, крупные масштабы и территориальная приуроченность наблюдаемых пликативных дислокаций к установленной по мегатрециноватости границе разнородных блоков исключают идентификацию этих структур с обычными складками платформенного типа.

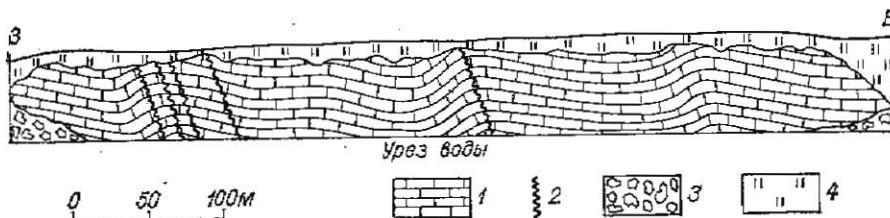


Рис. 37. Пликативные дислокации карбонатных пород у границы между разнородными блоками земной коры, выделенными по особенностям мегатрециноватости осадочного чехла платформы на крайнем северо-востоке района, показанного на рис. 24.

1 — карбонатные породы среднего кембрия; 2 — узкие ( $\sim 1$  м) флексурообразные перегибы слоев с наклоном ( $\angle 35-40^\circ$ ) их на запад; 3 — осьпи; 4 — почвенный слой.

В тектонофизическом отношении пограничные зоны между блоками, различающимися по характеру и (или) структурному рисунку мега- и макротрещиноватости, могут рассматриваться как линейные проявления повышенной дезинтеграции пород осадочного чехла платформы. Они связаны, по всей вероятности, с перманентной пульсацией фундамента и более глубоких горизонтов земной коры («дыхание планеты»).

Пограничные зоны между блоками, существенно различающимися по характеру мегатрещиноватости, связаны, по-видимому, с нарушениями более глубокого заложения по сравнению с зонами, ограничивающими блоки с различным рисунком мегатрещиноватости. О связи зон первой группы с глубинными нарушениями земной коры свидетельствует приуроченность к отдельным участкам их магматических, и в частности вулканических, проявлений.

В заключение отметим, что идентичность макротрещиноватости в однотипных блоках и различный характер ее в различных блоках земной коры, выделенных по особенностям мегатрещиноватости, свидетельствует о правомерности тектонического районирования обширных и в первую очередь закрытых территорий по этому признаку. Незначительная ширина пограничных зон между блоками с различной трещиноватостью позволяет даже на крупномасштабных схемах и картах показывать границы между ними одной линией.

---

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ И ПОИСКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

После открытия первых кимберлитовых трубок на Сибирской платформе встало необходимость поисков аналогичных объектов вблизи от известных и в других районах этой обширной территории. Наряду с геологическими методами, в первую очередь шлиховым опробованием, применялись также и геофизические. Последние сначала включали лишь наземную магнитную и гравитационную съемки, а с 1956 г. — и аэромагнитную. Детальная аэромагнитная съемка применяется для непосредственных поисков аномалий трубочного типа. Последние детализируются с воздуха. На участках детализированных аэромагнитных аномалий и на перспективных по геологическим признакам площадях производится наземная магниторазведка. Оконтурованные наземной магнитной съемкой аномалии трубочного типа уточняются горными и буровыми работами.

Такая методика геофизических поисков хотя и обладает существенными недостатками, позволяет находить кимберлитовые тела, залегающие среди практически немагнитных пород осадочного чехла платформы. Укажем два главных недостатка описанной методики. Во-первых, оказалось, что аномалии трубочного типа часто (примерно в 70% случаев) имеют иную, чем кимберлиты, геологическую природу при сходных внешних признаках. В результате горных и буровых работ по проверке аномалий трубочного типа установлено, что возмущающими телами кроме кимберлитовых днатрем являются жерла, заполненные базальтовыми туфами, останцы траппов, карбонатитовые штоки, изометричные в плане участки ожелезнения карбонатных пород и скарны, скопления магнетита в терригенных отложениях, а также «горелики» — магнитные породы, образовавшиеся в зонах обжига при выгорании участков угольных пластов или битуминозных сланцев.

Во-вторых, существенный недостаток широко распространенного геофизического способа поисков коренных месторождений алмазов связан с тем, что наибольшей магнитностью обладают слабоалмазоносные и лишенные алмазов кимберлиты, в то время как кимберлиты с промышленным содержанием алмазов практически немагнитны и, как правило, не улавливаются ни аэро-, ни наземной магнитной съемкой.

Еще более затруднены поиски кимберлитов в районах, характеризующихся наличием сильномагнитных горных пород, которые залегают на небольшой глубине от дневной поверхности (например, породы кристаллического фундамента платформы) или перекрывают кимберлитовые трубы (силлы траппов). Не менее сложны поиски кимберлитовых тел, прорывающих пластовые интрузии или покровы траппов.

Для повышения эффективности и надежности геофизических методов поисков коренных месторождений алмазов исследования и опытно-методические работы ведутся в двух главных направлениях. Одно из них заключается в совершенствовании и комплексировании традиционных геофизических методов в различных модификациях (например, магнитометрии с гравиметрией) и в применении новых, ранее не использовавшихся для поисков алмазных месторождений способов (индукции, электропрофилирования, радиопросвещивания, теплового потока и др.). Второе направление работ ориентировано на выяснение структурно-тектонических условий размещения кимберлитов с помощью комплекса геофизических методов — магнитометрии, гравиметрии, сейсморазведки и электроразведки.

Повышение эффективности магниторазведки неразрывно связано с поисками слабомагнитных кимберлитов. Д. И. Саврасов [62] показал, что современной магниторазведочной аппаратурой слабомагнитные кимберлитовые трубы (табл. 4) могут быть отмечены при детальных наземных и аэромагнитных съемках

ТАБЛИЦА 4

## Магнитные свойства слабомагнитных разновидностей кимберлитовых пород, по Д. И. Саврасову [62]

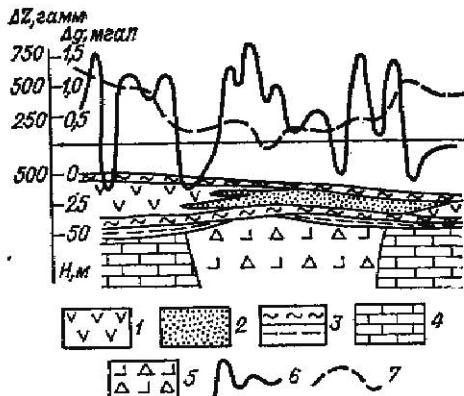
Порода, трубка	Количество изученных образцов	Наиболее часто встречающиеся значения	
		$\times 10^{-4}$ СГС	Q
Кимберлитовая слюдяная брекчия, «Флогопитовая»	34	30—40	1,0
Кимберлитовая брекчия, «Немагнитная»	10	25—35	1,0
Кимберлитовая брекчия, «Ява»	3	25—35	0,7—0,9
Кимберлитовая брекчия, «Мамбо»	5	15—25	1,0
Кимберлит, «Полярная»	15	40—80	1,0
Кимберлитовая брекчия, «Победа» и «Нева»	8	15—25	1,0
Кимберлитовые породы, «Лира»	69	5—20	1,0
Кимберлитовая брекчия, «Коллективная»	10	70—90	0,1—0,3
Кимберлитовая порода, северо-восточная часть трубы «Айхал»	87	10—20	0,2—0,4
Кимберлитовая порода, юго-западная часть трубы «Айхал»	30	20—30	0,2—0,4
Выветрелые кимберлитовые брекчии, № 1	37	30—50	1,0
То же, в интервале 80—300 м	98	80—90	0,2—0,4
Голубые и голубовато-серые кимберлитовые брекчии, им. XXIII съезда КПСС	28	20—30	0,1
Приконтактовая кимберлитовая брекчия, «Мир»	18	70—110	0,7—2,5

на уровне наблюдений не более 1,5—2,0 радиусов трубки. Этого, конечно, недостаточно, и поэтому следует согласиться с предложениями Н. Н. Романова и Ю. М. Эринчека [60] о необходимости дальнейшего повышения чувствительности аппаратуры, укрупнения масштабов съемки и применения классификации аномалий на основе комплексирования геофизических методов или путем распознавания особенностей магнитного поля, характерных для объектов определенной геологической природы.

В районах широкого развития пород трапповой формации поиски погребенных и залегающих среди траппов кимберлитовых тел предлагается вести путем комплексной гравимагнитной съемки и совместного анализа гравитационных и магнитных аномалий. Установлено (рис. 38), что над погребенными кимберлитовыми трубками с глубиной верхней кромки не более 50 м фиксируются, как правило, минимумы силы тяжести и преимущественно положительные аномалии магнитного поля [7]. Эффективность метода совместного анализа гравитационных и магнитных аномалий при поисках трубок, по-видимому,

Рис. 38. Соотношение магнитной и гравитационной аномалий над кимберлитовой трубкой, по И. Я. Богатых и Н. Н. Романову [7].

1 — траппы триаса; 2—3 — алевролиты и углистые сланцы каменноугольно-пермского возраста; 4 — карбонатные породы нижнего силура; 5 — кимберлитовые брекчи; 6 — график  $\Delta Z$ ; 7 — график  $\Delta g$ .



может быть значительно повышена путем комбинации этого метода с частотной фильтрацией. Для этого рекомендуется изучить частотные характеристики гравитационных и магнитных полей траппов, что для кимберлитовых трубок не представляет труда [16].

Высокоточная наземная магниторазведка, как уже отмечалось, позволяет выявлять и оконтуривать аномалии трубочного типа интенсивностью 10 гамм и более. Такие аномалии обусловлены не только кимберлитовыми диатремами, но также трубчатыми телами базальтовых туфов, штоками и останцами долеритов и т. п. Для предварительной разбраковки магнитных аномалий Н. Ф. Клименко и Т. Г. Широкой [18] опробованы методы электроразведки дипольно-осевого зондирования (ДОЗ) и сверхдлинноволновой радиокип (СДВ-радиокип). Результаты работ показали, что на разрезах ДОЗ минимумы сопротивлений совпадают с кимберлитовыми, базальтовыми трубками, а также с разрывными нарушениями (рис. 39). Поскольку стоимость наблюдений методом ДОЗ, выполняемых для разбраковки магнитных аномалий, примерно равна стоимости разведочных буровых работ, применение его нецелесообразно.

Метод СДВ-радиокип производительнее магнитной съемки с прибором М-27 примерно на 20%. Однако аномалии «радиокип» обусловлены не только кимберлитовыми (рис. 40) и базальтовыми трубками, но также и неоднородностями, образованными неравномерностью оттаивания многолетнемерзлых пород — мощностью деятельного слоя. Применение метода ограничено также небольшой глубинностью СДВ-радиокип (15—20 м) и очень низкой его эффективностью в районах с промышленными помехами, связанными с линиями электропередачи, телеграфными линиями и т. п.

Предпринимались и другие попытки использовать для поисков коренных месторождений алмазов различия в электропроводности кимберлитов и вмещающих горных пород. Резуль-

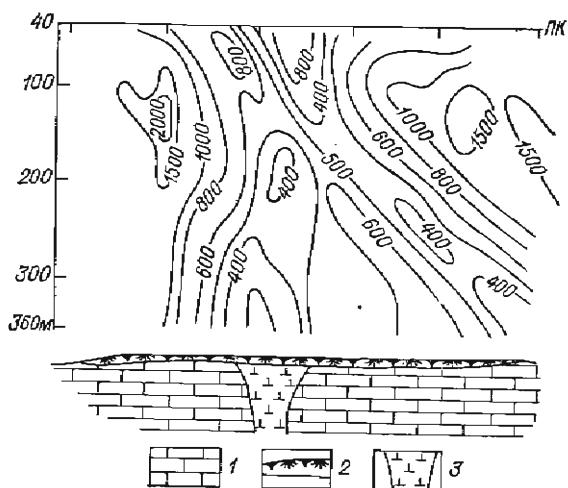


Рис. 39. Разрез  $\rho_k$  по данным ДОЗ (по Н. Ф. Клименко и Т. Г. Широкой [18]).

1 — карбонатные породы ордовика; 2 — песчано-глинистые отложения юры; 3 — кимберлитовые породы.

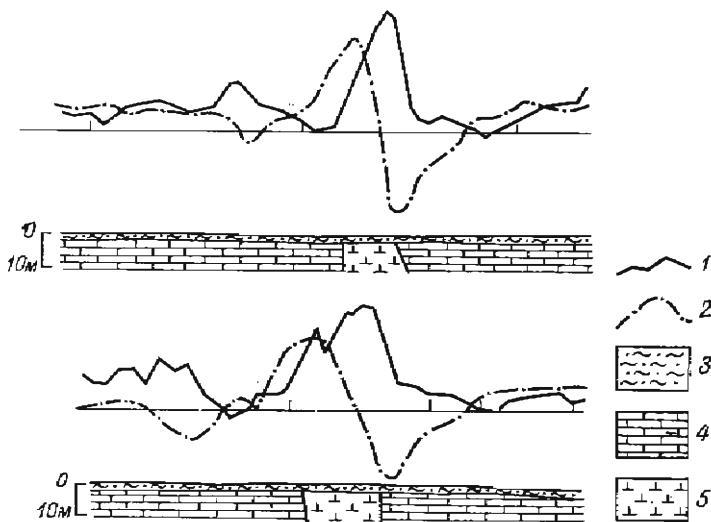


Рис. 40. Графики напряженности магнитного поля, составленные по данным метода СДВ-радиокопки над кимберлитовыми трубками, по Н. Ф. Клименко и Т. Г. Широкой [18].

1 — горизонтальная составляющая; 2 — вертикальная составляющая; 3 — песчано-глинистые отложения; 4 — карбонатные породы; 5 — кимберлиты.

таты теоретических и экспериментальных исследований Г. А. Исаева и Ю. А. Нима [15] свидетельствуют о принципиальной возможности применения метода переходных процессов (МПП) для поисков кимберлитовых трубок в изученных районах (рис. 41). Согласно методике зондирования МПП, физических и геометрических особенностей кимберлитовых тел геоэлектрический разрез может быть аппроксимирован двухслойной или трехслойной моделью. При этом количественная и качественная интерпретация полевого материала может проводиться по методике, разработанной для квазистационарного поля, и все достоинства МПП могут быть реализованы в микросекундном диапазоне времени при поисках слабопроводящих объектов. Кимберлитовые тела могут быть выделены как в более высоких, так и в более низкоомных средах. Однако практические достоинства МПП требуют дальнейшего изучения.

Всесторонний анализ геофизических полей и аномалий при работах на алмазы проводится не только для прямых поисков кимберлитовых тел, но также и с целью выявления геофизических критериев локализации кимберлитов и рудоконтролирующих дислокаций.

Работами В. А. Биланенко и др. [66], В. М. Мишина и др. [1977 г.] показана преимущественная приуроченность кимберлитовых полей к участкам с пониженными значениями силы тяжести (рис. 42). К. Б. Мокшанцев и др. [67] указывают на расположение большинства кимберлитовых полей в пределах площадей с отрицательными, иногда слабо дифференцированными магнитными аномалиями. Часть из них находится в зонах сочленения положительных и отрицательных аномалий. На участках расположения кимберлитовых полей наблюдаются отклонения ориентировки магнитных аномалий от преобладающих простираний: поле осложнено изгибами, поворотами изодинам и смещениями осей аномалий.

Четкая связь аномалий гравитационного поля и разломной тектоники Малобутубинского района описана Г. Д. Бабаяном и др. [5]. Ранее известные региональные разломы на территории этого района отражаются на карте в гравитационном поле линейными цепочками положительных аномалий  $\Delta g$ , совпадающими с магнитными аномалиями. По аналогии с этим на материалах высокоточной крупномасштабной гравиметрической съемки выявлены и прослежены новые разломы, составлены карта разломной тектоники (рис. 43) и геолого-геофизические разрезы (рис. 44 и 45) района.

Расчеты показали, что разломы, к которым приурочены кимберлитовые трубы, характеризуются минимальными гравитирующими массами, что свидетельствует о более интенсивной раздробленности и разуплотненности земной коры на участках таких разломов. Степень соответствия выделенных разломов

Рис. 41. Геолого-геофизический разрез трубы «Молодость» по Г. А. Исаеву и Ю. А. Ним [15].  
 1 — известники; 2 — глинистые известники; 3 — долериты; 4 — базальтовые туфы; 5 — элювиально-делювиальные отложения; 6 — кимберлиты; 7 — гравитки МПП совместной установкой (СУ); 8 — графики МПП дипольной установкой (ДУ); 9 — наблюдение магнитное поле  $\Delta Z$ ; 10 — усредненное магнитное поле  $\Delta Z_{ср}$ ; II — стокастическое поле.

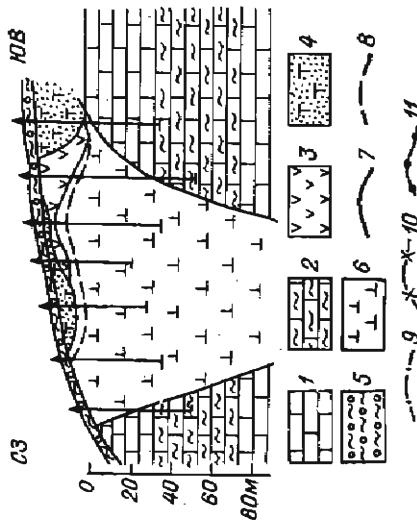
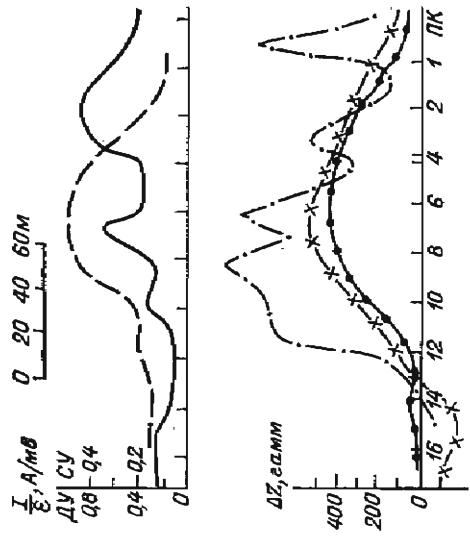


Рис. 42. Схема элементов гравитационного поля центральной части Якутской кимберлитовой провинции, по В. А. Быланенко и др. [16].  
 1 — максимумы силы тяжести; 2 — минимумы силы тяжести; высокой интенсивности; 3 — кимберлитовые поля.

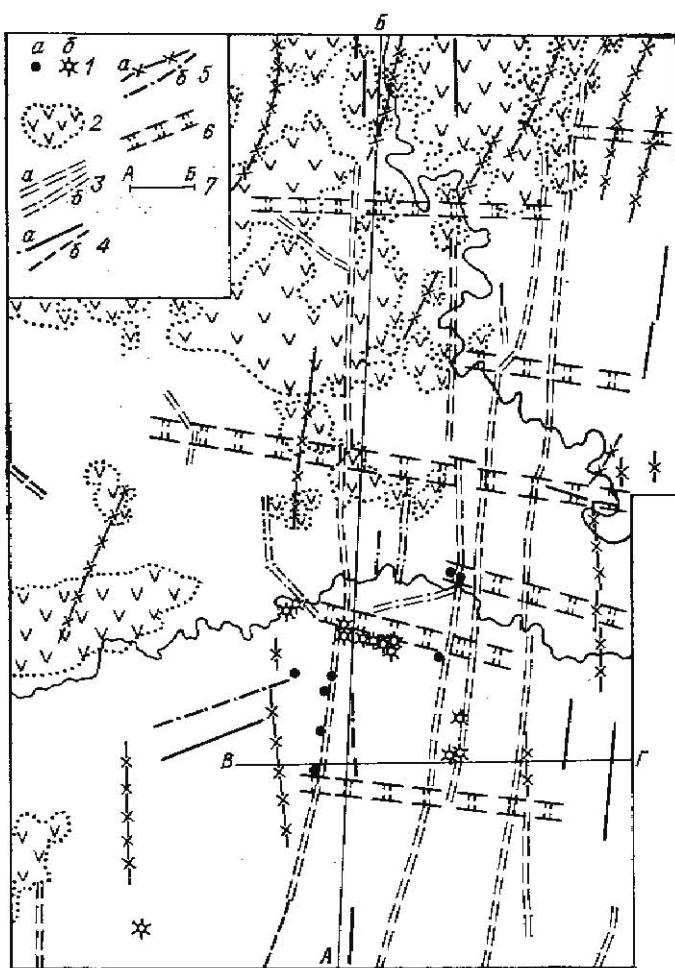


Рис. 43. Карта разломной тектоники и магматизма Малоботубинского района, по Г. Д. Бабаяну и др. [5].

1 — химберлитовые (а) и базальтовые (б) трубы взрыва; 2 — пластовые интрузии долеритов; 3 — разломы, выделенные положительными линейными аномалиями  $\Delta g$  и  $\Delta T$  уверенно (а) и неуверенно (б); 4 — разломы, выделенные положительными линейными аномалиями  $\Delta g$  уверенно (а) и неуверенно (б); 5 — разломы, выделенные (неуверенно) по изгибам изоаномал и линейным цепочкам локальных аномалий силы тяжести (а) и по изгибам изодинам (б); 6 — эрозионно-тектонические уступы кристаллического фундамента, выделенные по зонам повышенных значений  $\Delta g$ ; 7 — линии, по которым составлены геолого-геофизические разрезы.

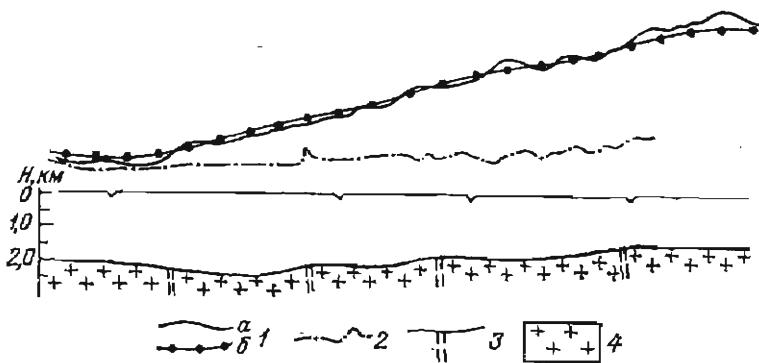


Рис. 44. Геолого-геофизический разрез по линии А—Б на рис. 43, по Г. Д. Бабаяку и др. [5].

1 — графики  $\Delta g$ : наблюденный (а) и пересчитанный на высоту 2,5 км (б); 2 — график  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ); 3 — предполагаемые разломы фундамента; 4 — поверхность фундамента.

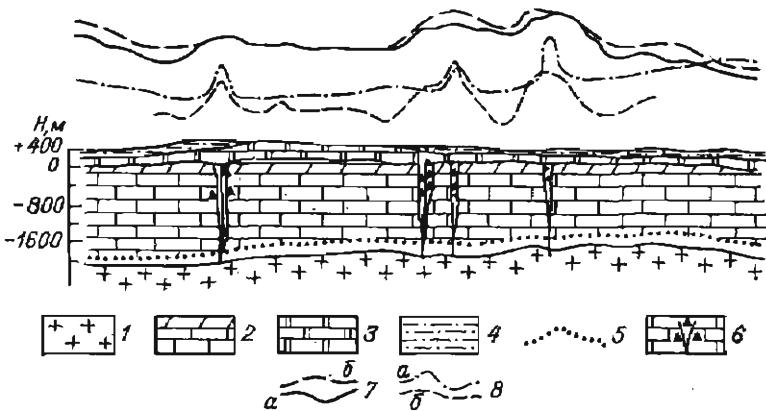


Рис. 45. Геолого-геофизический разрез по линии В—Г на рис. 43, по Г. Д. Бабаяку и др. [5].

1 — породы кристаллического фундамента платформы; 2—4 — осадочные породы: 2 — кембрия, 3 — ордовика, 4 — юры; 5 — сейсмический (отражающий) горизонт КВ; 6 — региональные разломы, заполненные дайками траппов; 7 — графики  $\Delta g$ : наблюденный (а) и со снятием влияния юрских отложений (б); 8 — графики вертикальной (а) и горизонтальной (б) производных силы тяжести.

категории рудоконтролирующих и рудовмещающих, а тем более возможность и эффективность применения детальной гравиразведки в других алмазоносных районах для поисков кимберлитов до проведения соответствующих контрольных и опытно-методических работ остаются дискуссионными.

## ВОПРОСЫ ТЕРМОДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Температурный режим и давление при эволюции кимберлитовых и пикритовых магм имели исключительно большое, а подчас и решающее значение для формирования многих важных особенностей порфировых ультраосновных пород и структуры образуемых ими полей. Кимберлитовые и пикритовые магмы зарождались в верхней мантии, а эволюционировали на всем пути движения из подкоровых глубин к приповерхностным горизонтам.

В итоге специальных исследований были определены термодинамические параметры последовательных этапов сложного процесса формирования расплавов алмазной и пироповой субфаций в целом (рис. 46). Однако для расплавов, сформировавших отдельные диатремы в кимберлитовых полях, даже приближенные количественные оценки температуры и давления на всех главнейших этапах их образования при современном уровне знаний невозможны.

Вместе с тем относительная величина этих характеристик, и в первую очередь сравнительная изменчивость давления магмы на некоторых этапах ее эволюции, могут быть определены

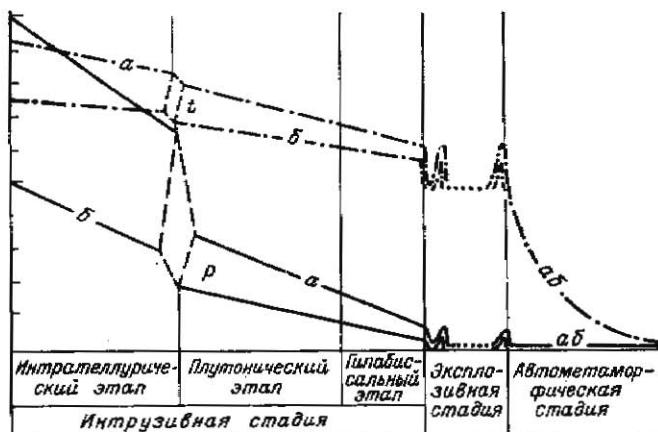


Рис. 46. Принципиальный характер изменения температуры  $t$  и давления  $p$  в процессе формирования кимберлитов алмазной (а) и пироповой (б) субфаций (по В. А. Милашеву [37], с некоторыми уточнениями).

Поле, располагающееся ниже линии б, характеризует термодинамические параметры образования порфировых ультраосновных и щелочно-ультраосновных пород пикритовой фации. Цена одного деления по оси ординат для  $t=200^{\circ}\text{C}$ , для  $p=7,5 \text{ кбар}$ .

по нескольким косвенным признакам. К числу таких признаков относятся: 1) среднее содержание алмазов в месторождении; 2) средняя масса и соотношение основных морфологических типов кристаллов алмаза; 3) состав лировых гранатов и хромшпинелидов; 4) размеры и глубина заложения диатремы; 5) содержание фенокристаллов оливина второй и третьей генераций в породе.

Принципиальная возможность использования содержаний, средней массы и морфологических особенностей алмазов для оценки термодинамических (фациальных) условий образования кимберлитов была теоретически обоснована при анализе факторов коренной алмазоносности [31]. Из уравнения, выражающего математическую зависимость содержания алмазов ( $a$ ) от численных значений коэффициентов химического и фациального факторов ( $X\Phi$  и  $\Phi\Phi$ ), непосредственно вытекает, что у кимберлитов близкого состава степень алмазоносности является функцией и, следовательно, может служить обобщенным показателем термодинамического режима образования этих пород, т. е. при  $X\Phi = \text{const}$ ,  $a = f(\Phi\Phi)$ .

Требования к идентичности или минимальным различиям химического состава пород существенно ограничивают потенциальное число сопоставимых объектов и в конечном счете — возможные масштабы использования степени алмазоносности для сравнительного анализа условий образования кимберлитов различных диатрем.

Гораздо шире область применения метода оценки относительной изменчивости фациальных условий образования кимберлитов по морфологическим особенностям кристаллов алмаза. Принципиально этот метод может быть использован на любом алмазоносном теле, из которого извлечено минимально необходимое для морфологической характеристики число кристаллов. Теоретической основой названного метода служит известное положение генетической минералогии о том, что на кристаллах алмаза, как и других минералов, отражены все важнейшие особенности сложных природных процессов от момента выделения кристаллов до экзогенного этапа включительно. Другими словами, морфология алмазов в каждом месторождении может рассматриваться как алгебраическая сумма изменчивости физико-химических условий на протяжении всего процесса образования и последующих изменений его.

Фациальные условия формирования кимберлитов в одних трубках были благоприятны для выделения и сохранности большого числа кристаллов, а в других — приводили к почти полному растворению их. Значит, степень сохранности кристаллов (ССК) является функцией, а следовательно, и показателем относительной изменчивости фациальных условий образования кимберлитов, выполняющих различные трубы и дайки.

В морфологическом отношении алмазы представлены в основном октаэдрическими, додекаэдрическими и переходными кристаллами. В незначительном количестве встречаются кристаллы кубического и тетраэдрического габитусов, а также микро- и скрытокристаллические агрегаты. Принимая за основу теорию, согласно которой кривограные кристаллы алмаза образуются в результате частичного растворения плоскограных форм, и учитывая результаты экспериментального растворения алмазов, предложена формула, позволяющая по количественному соотношению основных морфологических типов кристаллов алмаза определять относительную изменчивость фациальных условий образования кимберлитов в алмазоносных телах [31]. В упрощенном виде эта формула может быть записана следующим образом:

$$ССК \approx о + 0,45п + \frac{0,45}{1 + 11gd} д, \quad (3)$$

где буквами обозначено содержание, %: о — октаэдров, п — переходных форм, д — додекаэдроидов.

Смысл коэффициента ССК заключается в том, что при идеальных условиях все выделившиеся алмазы сохраняются полностью, являются плоскограными и ССК=100. По мере изменения фациальных условий все большие количества кристаллов алмаза растворяются и ССК убывает.

Превращение плоскограных кристаллов в кривограные («растворение») являлось результатом графитизации алмаза, которая носила характер каталитического процесса, начинавшегося с вершин, распространявшегося на ребра и затем охватывавшего грани кристаллов. Этот процесс начинался с того момента, когда давление и температура магмы опускались ниже уровня стабильности алмаза, и продолжался до застывания расплава.

У магм, продуцировавших кимберлиты алмазной субфации, термодинамические параметры опускались ниже указанного уровня при внедрении в зоны глубинных разломов [37]. Чем дальше содергавшая алмаз магма поднималась по глубинным разломам до земной поверхности, где быстрое охлаждение обеспечивало консервацию неустойчивой в этих условиях модификации углерода, тем сильнее проявлялись процессы графитизации, итогом которых явилось превращение плоскограных кристаллов в кривограные. Следовательно, количественное соотношение плоскограных и кривограных алмазов является показателем термодинамического режима в процессе внутрикоровой эволюции алмазоносных кимберлитовых магм.

Кристаллы кубического габитуса по комплексу экспериментальных и теоретических данных должны быть отнесены к наи-

более низкотемпературной генерации монокристаллов алмаза. Если так, то относительное количество их позволяет оценивать роль сравнительно низкотемпературного периода в общем процессе кристаллизации алмазов изучаемого месторождения.

Образование микро- и скрытозернистых агрегатов (баллы, карбонадо) связано, по всей вероятности, с бурной кристаллизацией, обусловленной резким падением термодинамических параметров, сопровождавших прорыв кимберлитовой магмы из пород верхней мантии в ослабленные зоны земной коры. Итогом резкого перепада давления при внедрении магмы в зоны глубинных разломов явилось также возникновение внутренних напряжений в кристаллах алмаза, отрицательно сказывающихся на их качестве [37].

Оценки термодинамических условий образования кимберлитовых магм на интрателлурическом и плутоническом этапах могут быть получены по данным об особенностях состава пироповых гранатов и хромшпинелидов. Фактические данные по этим вопросам приведены в специальных работах [58, 64].

Хромсодержащие гранаты из кимберлитов и постоянно присущих в них родственных включений разделяются при этом на три группы. К первой группе относятся малокальциевые хромистые гранаты:  $\text{CaO} < 7\%$ , в среднем около 3%;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — до 15%, в среднем 10%;  $\text{TiO}_2 < 0,2\%$ . Высокая хромистость при небольшом количестве кальция обуславливает наличие в составе таких гранатов примеси кноррингитового компонента, содержание которого изменяется от 15 до 45, в среднем около 33 мол. %.

Вторая группа объединяет хромовые пиропы с умеренным содержанием кальция.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в них достигает 13% при среднем содержании около 6%,  $\text{TiO}_2$  до 1,5%, а кноррингитовый компонент составляет 2—30, в среднем около 15 мол. %.

К третьей группе относятся богатые кальцием хромовые гранаты, в которых  $\text{CaO}$  достигает 20, в среднем примерно 15%;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — 10—15, в среднем 13%;  $\text{TiO}_2$  — 0,2—0,5%. Высокие кальциевость и хромистость гранатов этой группы обусловили появление у большинства из них существенной примеси (30—45 мол. %) уваровитового, а у отдельных разновидностей — кноррингитового (до 10 мол. %) компонентов.

Гранаты первой группы типичны для содержащих алмаз родственных включений гардбургит-дунилового состава, а также для гранатовых включений в якутских алмазах. Отсюда с несомненностью можно заключить, что кристаллизация таких гранатов протекала при весьма высоких термодинамических параметрах, соответствующих области устойчивости алмаза. При температурах кимберлитовой магмы на интрателлурическом этапе минимальные давления в области равновесной кристаллизации алмаза, по всей вероятности, не опускались ниже 40 кбар.

Гранаты второй группы в срастании и в непосредственном парагенезисе с алмазом не наблюдались. Однако значительная примесь кноррингитового компонента (до 30 мол. %) является указанием на кристаллизацию этих гранатов при давлениях около 30—35 кбар.

Гранаты третьей группы в парагенезисе с алмазом также не наблюдались. Практическое отсутствие примеси кноррингитового компонента у большинства их разновидностей, содержащих большое количество уваровитового и андрадитового компонентов, свидетельствует о кристаллизации гранатов этой группы при сравнительно низких термодинамических параметрах.

Н. Н. Соболев и Н. П. Похilenко связывают перечисленные группы гранатов с гарцбургит-дунитовыми, лерцолитовыми и верлитовыми парагенезисами родственных включений. Подчеркивается, что, имея данные о химическом составе, можно относить к соответствующим парагенезисам гранаты мономинеральных желваков и сильно измененных включений гранатовых гипербазитов из кимберлитов.

Исследования, в результате которых удалось выделить три группы хромовых гранатов и охарактеризовать химический состав каждой из них, несомненно, имеют очень большое значение для дальнейшего развития учения о коренных месторождениях алмаза. Вместе с тем нельзя не отметить, что представления и выводы новосибирских геологов, базирующихся на материалах лишь по центральным полям Якутской кимберлитовой провинции, не вполне согласуются, а частично и противоречат фактическим данным по минералогии и петрологии кимберлитов, развитых в промежуточных и периферийных зонах той же провинции.

Так, гранаты содержащие включения дунитового, гарцбургитового, лерцолитового и верлитового составов широко распространены и в полностью лишенных алмаза кимберлитовых дигатремах на северо-восточной окраине Якутской (Центрально-сибирской) провинции. Одним из таких примеров может служить хорошо изученная трубка «Обнаженная». Пироповые гранаты не только в желваках верлитов и лерцолитов, но также и в дунит-гарцбургитовых включениях данной трубки практически лишены кноррингитового компонента [17].

Следовательно, благоприятный химический состав системы является важным, но не достаточным условием возникновения кноррингитового граната. Кристаллизация его требовала соответствующих физико-химических условий и обязательно высокого давления в системе. Значит, наличие в пироповых гранатах значительной примеси кноррингитового компонента свидетельствует в первую очередь о высоких термодинамических параметрах, которые соответствуют области стабильной кристаллизации алмаза и поэтому могут быть охарактеризованы

ранее введенным термином «алмазная субфация кимберлитовой фации» или, короче, «алмазная субфация». Пироповый гранат, лишенный или содержащий незначительную примесь кноррингитового компонента, в свою очередь не является однозначным указанием на верлитовый или лерцолитовый парагенезисы, и его правильнее считать типоморфным минералом низшей (пироповой) субфации кимберлитовой фации.

Поскольку термодинамические параметры кимберлитовых и пикритовых расплавов неуклонно снижались от ранних к поздним этапам и стадиям сложного процесса их эволюции (см. рис. 46), постольку не оставались постоянными видовой и химический состав кристаллата на различных этапах. Так, например, в расплавах, сформировавших алмазоносные кимберлиты, алмазы и обогащенные кноррингитом гранаты выделялись лишь на раннем, «внутримантийном», периоде их эволюции. В дальнейшем, по мере подъема магмы и снижения общего давления, алмаз начинал замещаться стабильным в новых условиях графитом, а в кристаллизовавшихся на этом этапе гранатах сокращалась и постепенно исчезала примесь кноррингитового компонента.

Следовательно, в каждой алмазоносной трубке наряду с алмазом и высококноррингитовым гранатом неизбежно должны присутствовать лиропы, почти и полностью лишенные кноррингитового компонента. И действительно, среди гранатов всех без исключения изучавшихся алмазоносных трубок высококноррингитовые пиропы составляют лишь незначительную часть от общего количества содержащихся в кимберлите пироповых гранатов.

Тот факт, что в расплавах, из которых формировались кимберлиты алмазной субфации, термодинамические параметры на последовательных этапах эволюции постепенно снижались от алмазной к пироповой субфации кимберлитовой фации и далее до пикритовой фации, очевидно, не противоречит упоминанию в фациальной характеристике лишь самого высокопараметрического режима, достигавшегося в процессе образования изучаемой породы. Тот же принцип, как известно, лежит и в основе диагностики фациальной принадлежности метаморфических пород.

Площадь в плане и глубина заложения трубок взрыва зависят от давления (напора) магмы и прочности прорванных ею толщ горных пород. Обратно пропорциональная зависимость размеров диатремы от механических свойств вмещающих пород очевидна и не требует специального обсуждения. Поскольку в пределах каждого отдельно взятого поля геологическое строение и, следовательно, механические свойства горных пород в первом приближении могут считаться достаточно выдержаными, то для данной работы наибольший ин-

терес представляет вопрос о возможности оценок давления магмы по размеру сформированной ею диатремы.

Ранее было установлено закономерное уменьшение средних размеров диатрем и коренной алмазоносности при переходе от полей алмазной субфации к полям пироповой субфации. При этом особо подчеркивалось, что неуклонное снижение размеров диатрем от центральных к периферийным полям кимберлитовых провинций обусловлено существенно более низким давлением магм пироповой субфации по сравнению с давлением магм алмазной субфации и не имеет в целом причинной связи с эрозионным срезом [31, 33, 37, 39].

С. М. Табунов [69] для каждого из 13 полей северо-восточного сектора Центральносибирской провинции вычислил среднюю площадь алмазоносных, лишенных алмаза кимберлитовых и пикритовых диатрем. Оказалось, что кимберлитовые трубы обычно крупнее пикритовых, а средняя площадь алмазоносных диатрем, как правило, больше, чем неалмазоносных кимберлитовых трубок. В семи из этих 13 полей установлено совместное развитие кимберлитов алмазной и пироповой субфаций и комагматических им порфировых ультраосновных пород пикритовой фации. Средняя площадь кимберлитовых диатрем в полях данной группы (0,44 га) в 1,5 раза превосходит площадь трубок взрыва, выполненных пикритовыми породами (0,29 га). Наибольшей средней площадью обладают алмазоносные диатремы (0,67 га).

Таким образом, размеры диатремы, и в первую очередь легко определяемая площадь ее в плане, при прочих равных условиях, несомненно, связаны прямой пропорциональной зависимостью с давлением магмы и поэтому должны быть отнесены к числу важных показателей термодинамического режима образования кимберлитовых и пикритовых пород.

Термодинамический режим кимберлитовых и пикритовых расплавов в процессе подъема их от подошвы коры до земной поверхности не оставался постоянным не только при формировании различных полей, но также и отдельных диатрем в пределах единого поля. Показателями термодинамического режима на внутреннем периоде эволюции расплавов могут служить плутонические и гипабиссальные порфировые вкрапленники, кристаллизация которых обусловлена потерей тепла расплавами при движении среди относительно холодных толщ земной коры.

Поднимаясь по ослабленным зонам литосферы, кимберлитовые и пикритовые магмы расходовали тепловую энергию главным образом на прогревание окружающих пород. При этом у них, как и у всех частично закристаллизовавшихся расплавов, проявлялись черты, свойственные саморегулирующимся системам. Саморегуляция выражалась в том, что, несмотря на сокращение запасов тепла, температура магмы поддерживалась

на оптимальном уровне путем частичной кристаллизации, сопровождавшейся значительным выделением тепловой энергии.

Подавляющая масса порфировых вкрапленников, кристаллизовавшихся из кимберлитовых и пикритовых магм на плутоническом этапе, представлена оливином II (92—94% форстерита), сопровождающимся небольшим количеством ильменита I, а в слюдяных разновидностях — сравнительно немногочисленными выделениями флогопита I. Следовательно, анионы ортокремневой кислоты, катионы магния и отчасти железа служили тем «топливом», «сгорание» которого поддерживало необходимую температуру магмы. Если содержание оливина II связано функциональной зависимостью с тепловым балансом расплава, то его можно использовать для оценок относительной изменчивости термодинамического режима на плутоническом этапе образования кимберлитов и пикритов каждой отдельно взятой трубы и дайки.

При дальнейшем подъеме по ослабленным зонам кимберлитовые и пикритовые расплавы достигали верхних горизонтов земной коры. Несмотря на то, что с геологических позиций четкое разграничение плутонического и гипабиссального этапов затруднительно, минералого-петрологические данные определенно свидетельствуют о наличии перелома в процессе кристаллизации, а следовательно, и в режиме формирования расплавов. Вкрапленники оливина II, ильменита и флогопита I, выделявшиеся на плутоническом этапе, оплавлены и корродированы. Оливин III, ильменит и флогопит II, уступая первым по размеру, всегда идиоморфны, а иногда и нарастают на порфировые выделения ранних генераций, дополняя их до идиоморфных очертаний. Оптические свойства свидетельствуют о близости состава обеих генераций оливина и, вероятно, о несколько большей железистости ильменита и флогопита [17, 24]. Количественные соотношения различных генераций названных минералов в отдельных разновидностях пород существенно различны, но отмеченные морфологические особенности их кристаллов выдерживаются во всех без исключения кимберлитовых и пикритовых породах.

Оплавление порфировых вкрапленников происходило, очевидно, не из-за разогрева поднимавшейся магмы, а в связи с тем, что падение давления приводит к снижению температуры кристаллизации (плавления) минералов. Быстрое снижение давления в ходе радиального перемещения расплавов приводило к тому, что температура плавления ранее выделившихся вкрапленников снижалась быстрее, чем температура самого расплава. Такие условия достигались на сравнительно небольших глубинах, и поэтому период относительного перегрева магмы является, по-видимому, естественным рубежом между плутоническим и гипабиссальным этапами магматической стадии. В ходе снижения температуры на гипабиссальном этапе

кристаллизация кимберлитовых и пикритовых магм носила в основном тот же характер, что и на плутоническом, т. е. выделялся главным образом оливин, но теперь уже третьей генерации.

Общие потери тепла и определяемое ими количество выделившихся вкраепленников оливина II и III зависели от разности температуры между окружающими породами и магмой, а также от продолжительности их соприкосновения. Поскольку площадь кимберлитовых полей обычно не превышает первых тысяч квадратных километров, то в пределах каждого из них температурный градиент без особых натяжек может быть принят одинаковым для соответствующих частей разреза земной коры. Значит, относительная изменчивость теплового режима в период внутрикоровой эволюции расплавов, формировавших кимберлитовые и пикритовые породы каждого отдельно взятого поля, зависит практически лишь от продолжительности подъема, обратной величиной которого является скорость подъема магмы.

Таким образом, от содержания и количественного соотношения оливина различных генераций в породе той или иной диатремы можно перейти к оценкам относительной скорости подъема расплава на плутоническом и гипабиссальном этапах, а также к средней относительной скорости подъема магмы в период ее внутрикоровой эволюции.

Вычислив по содержанию оливина II и III относительную скорость подъема, а по размерам трубки взрыва — примерное количество избыточного давления ( $\Delta p$ ) расплава, можно ориентировочно оценить относительную проницаемость ослабленных зон коры для движения магмы на плутоническом, гипабиссальном этапах и осредненную проницаемость на всем протяжении таких зон от подошвы до верхних горизонтов земной коры. Строго говоря, при этом следовало бы учитывать и различия вязкости расплавов, формировавших различные диатремы. Однако ввиду сравнительно небольших колебаний химического состава даже у крайних разновидностей кимберлитов из различных провинций [30, 31, 39, 46] нет оснований допускать существенных различий вязкости расплавов, сформировавших трубки и дайки единого поля.

Более подробно все эти вопросы рассмотрены в специальной работе автора [38]. Там же приведена и формула для приближенных оценок относительной проницаемости земной коры ( $v$ ) по содержанию оливина второй и третьей генераций (Оли II и Оли III) в кимберлитах с учетом площади диатремы ( $S$ ), которая в общем виде записывается следующим образом:

$$v \approx \left( \frac{200}{\text{Оли}_{\text{II}}} + \frac{100}{\text{Оли}_{\text{III}}} \right) : \lg S. \quad (4)$$

В некоторых случаях помимо общего коэффициента относительной проницаемости ослабленных зон на всем пути подъема

магмы от подошвы до приповерхностных горизонтов земной коры могут представлять интерес также частные коэффициенты, отражающие проницаемость коры на глубинах, где протекали плутонический и гипабиссальный этапы эволюции. При расчетах частного коэффициента проницаемости, характеризующего ослабленные зоны на нижних и средних горизонтах земной коры, где протекал плутонический этап формирования расплава ( $v_p$ ), из вышеприведенной формулы должен быть исключен показатель скорости подъема магмы на гипабиссальном этапе (100/Олп), после чего формула примет вид

$$v_p \approx 200 / (\text{Олп} \lg S). \quad (5)$$

При расчетах второго частного коэффициента проницаемости, относящегося к верхним горизонтам коры, где протекал гипабиссальный этап формирования кимберлитовых и никритовых расплавов  $v_t$ , из общей формулы исключается показатель относительной скорости подъема магмы на плутоническом этапе, в результате чего получается выражение следующего вида

$$v_t \approx 100 / (\text{Олп} \lg S). \quad (6)$$

Применение этих показателей для анализа структуры кимберлитовых полей рассматривается в последующих разделах данной работы.

---

## РЕЖИМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ РАСПЛАВОВ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

Петрохимические особенности пород и специфика режима дифференциации расплавов относятся к числу характеристик, имеющих большое значение для расшифровки условий образования и закономерностей внутреннего строения кимберлитовых и никритовых полей. Кимберлитовые и никритовые породы почти всех диатрем претерпели сильные постмагматические изменения и на 90–99% сложены вторичными минералами. Интенсивное пропаривание агрессивными высокотемпературными эманациями и продолжительная обработка кислыми гидротермами приводили не только к массовому новообразованию различных гидросиликатов и карбонатов в породах, но и сопровождались также существенным выносом и перераспределением многих пордообразующих элементов.

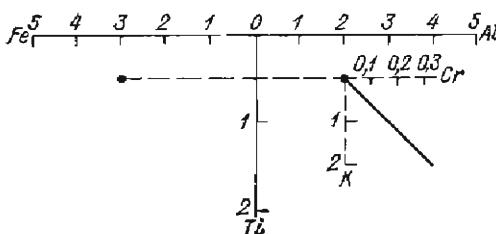
Вынос и перераспределение таких элементов, как кремний, магний, кальций и некоторые другие, являются серьезными препятствиями для сравнительного анализа первичных особенностей химизма кимберлитов и пикротов с помощью традиционных петрохимических методов, которые основаны на учете количественного соотношения всех главнейших породообразующих элементов. В связи с этим изучение специфических особенностей первичного состава столь сильно измененных пород рекомендовалось проводить, опираясь на содержание и количественное соотношение лишь тех элементов, концентрация которых не претерпевала существенных изменений при постмагматических процессах [27, 29, 30, 31]. Такие элементы предложено называть «показательными». Важнейшими показательными элементами кимберлитовых и пикротовых пород являются железо, титан, алюминий, хром, калий, а также цирконий и некоторые другие.

Средние содержания показательных элементов были вычислены для основных типов кимберлитовых и пикротовых пород по всем главнейшим полям и по Центральносибирской провинции в целом. Значимость расхождений вычисленных величин оценивалась с помощью статистических критериев согласия. Установлено закономерное возрастание средних содержаний большинства показательных элементов и убывание концентрации хрома в кимберлитах от центра к периферии провинций при одновременном падении степени алмазоносности пород [31, 46].

Для сравнения химического состава пород, изучения процессов дифференциации расплавов и некоторых других исследований в ряде случаев более удобным является графический анализ петрохимических данных. Число даже важнейших показательных элементов кимберлитов, как видно из вышеприведенного перечня, равно 5. Для графического изображения многокомпонентных систем требуется многомерное пространство, причем если требуется представлять состав в виде точки, то для системы из  $n+1$  компонентов необходимо пользоваться  $n$  измерениями. Однако при графическом изображении петрохимических особенностей кимберлитов целесообразно ограничиться трехмерным пространством, поскольку более чем трехмерное пространство не может быть представлено наглядно.

Для изучения петрогенетических особенностей кимберлитов и пикротов в качестве оптимального избран вариант Т-образной диаграммы с осями Ti, Fe и Al. Мотивы, по которым «предпочтение» отдано перечисленным элементам по сравнению с остальными показательными элементами, подробно рассмотрены в специальной работе автора [37]. Содержание титана в кимберлитах, как правило, значительно уступает количеству железа и алюминия, поэтому для большей наглядности диаг-

Рис. 47. Каркас и схема построения диаграммы для графического анализа петрохимических особенностей кимберлитов по содержанию важнейших показательных элементов, по В. А. Милашеву [37].



раммы масштаб «титановой» оси следует увеличить по сравнению с масштабом двух других осей (рис. 47).

Количественное соотношение хрома и калия можно локализовать с помощью вектора, длина и наклон которого определяются содержанием названных элементов в породе. Отношение средних содержаний хрома и калия в кимберлитах составляет около 1 : 6. В прямоугольной системе координат вектор, соответствующий такому отношению, образует с осью К угол около 10°. Однако наглядность векторного изображения изменчивости количественных соотношений максимальна при углах наклона вектора, близких к 45°. Этого можно достигнуть, например, 6-кратным укрупнением масштаба оси для нанесения содержания хрома по сравнению с масштабом оси калия.

Вектор **Cr—K** достаточно поместить у одной из проекций фигуративной точки соответствующей разновидности кимберлита. Ввиду некоторого кристаллохимического сходства хрома и алюминия, а также определенной близости геохимической истории названных элементов вектор **Cr—K** целесообразно располагать у той проекции фигуративной точки породы, одной из координат для которой служит содержание алюминия. При необходимости учета количественных соотношений других показательных элементов они могут быть отражены с помощью векторов в левой части диаграммы, т. е. у проекций фигуративных точек, одной из координат для которых служит содержание железа (рис. 47).

Распределение на диаграмме такого типа проекций фигуративных точек, отражающих средние содержания важнейших показательных элементов в кимберлитах главнейших полей Центральносибирской провинции, иллюстрируется рис. 48. Даже при беглом просмотре диаграммы видны основные тенденции изменения химического состава кимберлитов в пределах провинции. Фигуративные точки располагаются в виде полос, свидетельствуя о наличии корреляционных зависимостей между содержанием железа, титана и алюминия. Отчетливо выступают отличительные особенности химического состава кимберлитов, сформировавшихся в различных фациальных условиях: figurativные точки их группируются на сравнительно обособленных участках диаграммы, что наиболее хорошо видно в

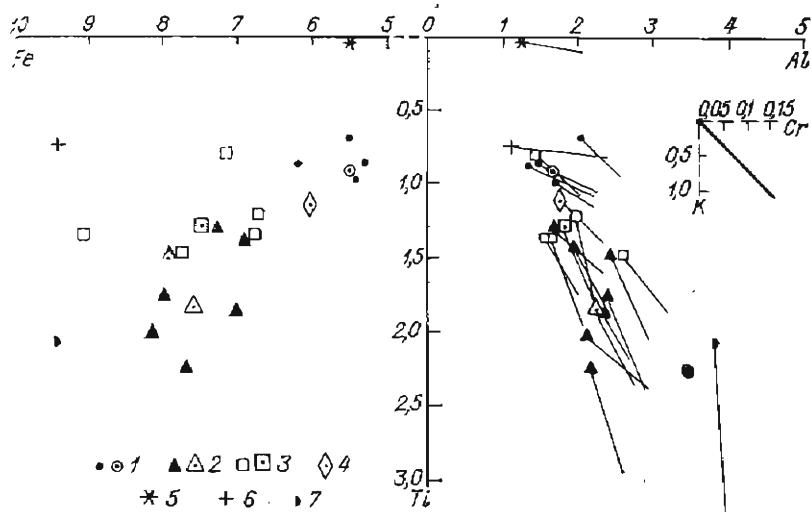


Рис. 48. Диаграммы средних химических составов кимберлитов важнейших полей Центральносибирской провинции, по В. А. Милашеву [37].

Средний химический состав пород отдельных полей и субфациональных групп кимберлитов в целом: 1 — алмазной субфации; 2 — совместного развития алмазной и пироповой субфаций; 3 — пироповой субфации; 4 — средневзвешенный состав кимберлитов Центральносибирской провинции; 5 — гранатового перидотита, принимаемого в качестве модели вещества верхней мантии; 6 — меймечита (среднее по 13 анализам); 7 — альнента (среднее по 3 анализам) Котуй-Маймечинского района Сибирской платформы.

проекции Fe—Ti. Кимберлиты алмазной субфации существенно отличаются от пород, образовавшихся в иных фациальных условиях, не только по координатам фигуративных точек, но также и по величине и наклону вектора Cr—K. Особняком располагаются фигуративные точки меймечитов и альнентов Котуй-Маймечинского района и гранатового перидотита, принимаемого в качестве модели вещества верхней мантии платформенных областей.

Преимущества графического сравнения петрохимических особенностей кимберлитов перед визуальным сопоставлением и статистическими оценками значимости расхождения содержаний показательных элементов во многих случаях очевидны. Использование диаграммы Fe—Al—Ti—(Cr—K) может оказать существенную помощь при изучении внутреннего строения кимберлитовых полей. Однако еще более необходимо при таких исследованиях располагать специализированными характеристиками, каждая из которых в виде одной величины позволяла бы осуществлять количественные оценки химического состава или важнейших петрологических особенностей изучаемой породы.

В качестве таких характеристик могут быть рекомендованы: показатель степени дифференциации, общий и частные (по-

элементные) показатели контрастности дифференциации, а также «объемный показатель» дифференциации кимберлитовых и пикритовых магм. Приведенный перечень характеристик вытекает из комплексного анализа петрологических, геохимических и минералогических данных, на основе которых следует заключить, что определяющим фактором наблюданной изменчивости химического состава кимберлитов несомненно является дифференциация кимберлитовых расплавов, происходившая главным образом в процессе подъема магмы по механизму зонной плавки в породах верхней мантии. Значительно меньшие (на 1–2 порядка) последствия имели локальные неоднородности состава верхней мантии, кристаллизационная дифференциация и частичная ассимиляция некоторых компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и др.) при движении магмы по разломам в сиалической оболочке.

Однаковое содержание показательных элементов в кимберлитовых и пикритовых расплавах могло быть достигнуто как в результате «переработки» сравнительно большого объема пород верхней мантии по механизму зонной плавки при относительно невысокой контрастности процесса (т. е. при незначительных отличиях вновь кристаллизовавшихся фаз от состава проплавляемых пород), так и при обратном соотношении этих величин. Другими словами, степень дифференциации кимберлитовых и пикритовых расплавов при подъеме их в породах верхней мантии по принципу зонного плавления зависела от контрастности процесса и от соотношения объемов переплавленного вещества и магматического очага, что можно записать в следующем виде:

$$СД = КД \cdot ОД, \quad (7)$$

где СД — показатель степени дифференциации магмы; КД — показатель контрастности процесса дифференциации; ОД — «объемный показатель» дифференциации.

На фоне общего закономерного изменения химического состава кимберлиты различных полей Центральносибирской провинции, даже в случае близости содержаний одного или двух показательных элементов, как правило, отличаются по количественному соотношению других компонентов (см. рис. 48). Значит, контрастность дифференциации кимберлитовых магм по отдельным элементам в различных полях не была постоянной и зависела от специфики формирования расплавов (в первую очередь от особенностей термодинамического режима их эволюции), и поэтому она может служить показателем данной специфики.

Относительную изменчивость концентрации любого из показательных элементов за весь период эволюции расплава можно получить, разделив разность между наблюдаемым содержанием данного элемента в кимберлите ( $J_i^e$ ) и содержанием его

в начальной (исходной) магме на содержание избранного элемента в породах субстрата ( $I_i^*$ ). Состав исходной магмы принимается идентичным составу субстрата [37].  $(I_i^* - I_i^c)/I_i^*$  не характеризует контрастность дифференциации, поскольку одинаковые значения этого отношения могут быть получены при различной контрастности за счет изменчивости объема переплавляемого вещества, согласно уравнению (7). Следовательно, для определения контрастности процесса дифференциации кимберлитовых и пикритовых расплавов необходимо выбрать меру, позволяющую оценивать интенсивность накопления (относительную «ассимилятивность») каждого показательного элемента в ходе эволюции избранной порции магмы.

Способы независимого определения интенсивности накопления химических элементов в кимберлитовых расплавах неизвестны, и поэтому предложено проводить оценки относительной интенсивности накопления важнейших показательных элементов по сравнению с каким-либо одним из них. Эталонным элементом, интенсивность накопления которого в расплаве должна быть принята за единицу, в принципе может быть выбран любой из показательных элементов. Однако наиболее удобно в качестве эталона принять титан, поскольку он не образует интэррателлурических вкраплеников и отличается поэтому максимальной интенсивностью при сублинейном законе накопления в кимберлитовых и пикритовых расплавах.

Принимая ассимилятивность титана в процессе эволюции кимберлитовых магм по принципу зонного плавления за единицу, легко вычислить относительную интенсивность изменения содержаний и остальных показательных элементов. При конечном возрастании количества титана в магме сравнительно с содержанием его в исходном расплаве ( $Ti_c$ ) относительная интенсивность приращения массы каждого из остальных показательных элементов выражается следующим образом:

$$\frac{(I_i^* - I_i^c) Ti_c}{I_i^c (Ti_k - Ti_c)}.$$

Общая относительная контрастность процесса дифференциации магмы в численном выражении может быть приравнена сумме показателей относительной интенсивности накопления отдельных элементов, и поэтому в случае, когда за эталонный элемент принимается титан, выражение для расчетов КД в общей форме имеет следующий вид:

$$K\Delta_{Ti}^{(n)} = \frac{(I_1^* - I_1^c) Ti_c}{I_1^c (Ti_k - Ti_c)} + \dots + \frac{(I_{n-1}^* - I_{n-1}^c) Ti_c}{I_{n-1}^c (Ti_k - Ti_c)} + 1, \quad (8)$$

где  $K\Delta_{Ti}^{(n)}$  — показатель контрастности процесса дифференциации кимберлитовых расплавов, вычисляемый по  $n$  элементам (вклю-

чая титан} и при условии, что ассимилятивность Ti равна 1; сокращенное название его — титановый показатель контрастности по n элементам.

Теоретические предпосылки и вывод приближенного выражения для оценок относительного значения объемных показателей дифференциации кимберлитовых расплавов в процессе эволюции их в подкоровых глубинах содержатся в специальной работе автора [37]. Не останавливаясь еще раз на этих вопросах, приведем лишь конечную формулу для вычисления так называемого объемного показателя дифференциации по титану ОД<sub>Ti</sub>:

$$\text{ОД}_{\text{Ti}} = \frac{\text{Ti}_k}{\text{Ti}_c}. \quad (9)$$

Подставив в формулу (7) развернутые выражения соответствующих показателей согласно формулам (8) и (9), получим выражение для приближенных оценок относительной изменчивости «титанового» показателя степени дифференциации кимберлитовых расплавов, которое в общем виде записывается следующим образом:

$$\text{СД}_{\text{Ti}}^{(n)} = \left[ \frac{(I_1^k - I_1^c) \cdot \text{Ti}_c}{I_1^c (\text{Ti}_k - \text{Ti}_c)} + \dots + \frac{(I_{n-1}^k - I_{n-1}^c) \cdot \text{Ti}_c}{I_{n-1}^c (\text{Ti}_k - \text{Ti}_c)} + 1 \right] \frac{\text{Ti}_k}{\text{Ti}_c}. \quad (10)$$

Необходимые для расчетов СД<sub>Ti</sub><sup>(n)</sup> значения  $I_i^c$ , т. е. содержания отдельных показательных элементов в исходном расплаве, согласно представлениям о зарождении кимберлитовых магм в результате локального плавления поднимавшегося конвективными потоками субстрата, должны быть приравнены содержанию соответствующих элементов в породах верхней мантии. При вычислении титанового показателя степени дифференциации по пяти важнейшим показательным элементам и при гранат-перидотитовой модели вещества верхней мантии [37, 39] формула (10) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \text{СД}_{\text{Ti}}^{(5)} = & \left[ \frac{(\text{Fe}_k - 5.50) \cdot 0.036}{5.50 (\text{Ti}_k - 0.036)} + \frac{(\text{Al}_k - 1.25) \cdot 0.036}{1.25 (\text{Ti}_k - 0.036)} + \right. \\ & \left. + \frac{(\text{K}_k - 0.12) \cdot 0.036}{0.12 (\text{Ti}_k - 0.036)} + \frac{(\text{Cr}_k - 0.13) \cdot 0.036}{0.13 (\text{Ti}_k - 0.036)} + 1 \right] \frac{\text{Ti}_k}{0.036}. \end{aligned} \quad (11)$$

Абсолютное значение СД<sub>Ti</sub><sup>(n)</sup>, получаемое по формулам (10) и (11), зависит от  $I_i^c$ , значения которых определяются принимаемой моделью вещества верхней мантии. И хотя из-за относительного характера СД абсолютное значение его само по себе смысловой нагрузки не несет, следует иметь в виду, что в силу отмеченных обстоятельств сравнение относительных значений СД<sub>Ti</sub><sup>(n)</sup> для кимберлитов отдельных диатрем, полей и провинций правомочно лишь при вычислении их с использованием единой модели субстрата.

Результаты вычисления СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> кимберлитов на основе выведенной автором химико-минералогической модели вещества верхней мантии приведены в табл. 5. Примечательно, что как степень дифференциации, так и общие и частные показатели контрастности дифференциации разнофациальных кимберлитов из всех важнейших полей Центральносибирской провинции существенно и вполне закономерно изменяются.

Кимберлиты алмазной субфации характеризуются невысокими значениями СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> (22,36—28,98) и минимальными средневзвешенными значениями этого коэффициента (27,37). В полях совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> колеблется в пределах 36,94—73,63, составляя в среднем 57,72. СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> кимберлитов пироповой субфации изменяется от 25,50 до 47,28, а в среднем по этой группе значение данного коэффициента составляет 44,37.

Существенные особенности процесса дифференциации магм, формировавших кимберлиты в различных полях, выявляются также при сравнении частных показателей контрастности и в первую очередь КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>. В силу того что тепловой баланс кинематической дифференциации ультраосновных магм определяется главным образом соотношением Mg:Fe у вновь кристаллизовавшихся фаз и проплавляемых пород субстрата, КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> является одним из важнейших показателей физико-химической обстановки процесса формирования кимберлитовых расплавов, характеризуя, в частности, энергетическую направленность эволюции их в подкоровых глубинах.

Приведенные в табл. 5 значения КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> для кимберлитовых пород различных полей Центральносибирской провинции свидетельствуют в пользу предположения о том, что продвижение по механизму зонной плавки магматических очагов, располагавшихся в периферийных частях конвективных потоков субстрата, требовало высокой генерации тепла в процессе кинематической дифференциации их, в то время как аналогичные процессы в приосевых зонах потоков могли идти при незначительном выделении или даже с поглощением тепла. Так, у кимберлитов алмазной субфации, расплавы которых формировались в приосевых частях мобилизованных масс субстрата, средневзвешенный КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> близок к нулю (0,0002), а частные значения данного коэффициента по большинству полей выражаются даже отрицательными цифрами.

Существенно более высокими КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> обладают породы в полях совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций, а также «чисто» пироповой субфации. У кимберлитов, развитых в полях первой из указанных групп, КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> составляет 0,0052—0,0102, в среднем 0,0080; у кимберлитов из полей второй группы — 0,0064—0,0178, а в среднем 0,0103.

ТАБЛИЦА 5

## Средние показатели контрастности и степени дифференциации кимберлитов различных полей Якутии

Поле	Частные показатели контрастности процесса			КД <sub>T1</sub> <sup>(5)</sup>	ОДТ <sub>1</sub>	СД <sub>T1</sub> <sup>(5)</sup>
	(T <sub>1</sub> -5,50) · 0,036	(A <sub>1</sub> -1,25) · 0,036	0,12(T <sub>1</sub> -0,036)	(CR-0,12) · 0,036	0,13(C <sub>1</sub> -0,036)	0,036(T <sub>1</sub> -0,036)
Кимберлиты алмазной субфации						
Малоботубинское	-0,0028	0,0221	0,1807	-0,0163	1	1,1837
Далдынское	-0,0002	0,0135	0,0740	-0,0115	1	1,0758
Мархино-Алакитское	-0,0001	0,0076	0,0892	-0,0057	1	1,0910
Верхнемунское	0,0058	0,0021	0,1009	0,0092	1	1,1180
Средневзвешенное	0,0002	0,0121	0,0916	-0,0090	1	1,0949
Кимберлиты алмазной и пироповой субфаций						
Омонос-Укукитское, Омонос-Суханское	0,0066	0,0119	0,1827	-0,0072	1	1,1940
Чоурдахское	0,0080	0,0112	0,1142	-0,0120	1	1,1214
Моторчунское	0,0052	0,0170	0,0773	-0,0074	1	1,0921

Лучакансское	0,0083	0,0193	0,794	—3,0003	1,2163	43,14
Куранахское	0,0075	0,0275	0,2480	—0,0044	1	1,2786
Среднекуонамское	0,0086	0,0140	0,0979	—0,0073	1	1,1132
Нижнекуонамское	0,0102	0,0216	0,1819	—0,0072	1	1,2065
<b>Средневзвешенное</b>	<b>0,0080</b>	<b>0,0173</b>	<b>0,1236</b>	<b>—0,0073</b>	<b>1</b>	<b>1,1416</b>
						50,56
						57,72

**Кимберлиты пироповой субфации**

Джюкенское	0,0178	0,0077	0,1495	—0,0142	1	1,1608	37,22	43,21
Нижнеукукитское	0,0106	0,0271	0,1183	—0,0059	1	1,1501	41,11	47,28
Мерчимденское	0,0064	0,0080	0,2530	—0,0106	1	1,2568	37,22	46,79
Куйинско-Бесентимское	0,0143	0,3068	0,1374	—0,0111	1	1,1474	22,22	25,50
Верхнемолодинское	0,0068	0,0175	0,2632	—0,0182	1	1,2693	33,89	43,02
<b>Средневзвешенное</b>	<b>0,0103</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,2195</b>	<b>—0,0134</b>	<b>1</b>	<b>1,2287</b>	<b>36,11</b>	<b>44,37</b>
<b>Средневзвешенное по Якутии</b>	<b>0,0092</b>	<b>0,0132</b>	<b>0,1026</b>	<b>—0,0088</b>	<b>1</b>	<b>1,1092</b>	<b>30,88</b>	<b>34,20</b>

Тот факт, что кимберлиты пироповой субфации при умеренном СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> характеризуются максимальными значениями КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>, находится в полном соответствии с представлениями о минимальной глубине зарождения (а значит, и пути подъема до коры) сформировавших эти породы расплавов и о необходимости максимальной (по сравнению с кимберлитами других субфаций) генерации тепла для осуществления подъема в процессе кинематической дифференциации по механизму зонной плавки.

Дополнительным подтверждением предположения об энергетической причине отличий КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> у разнофациальных кимберлитов может служить тот факт, что контрастность дифференциации их расплавов по алюминию и калию, элементов малозависящих от теплового баланса процесса, колеблется в узких пределах (см. табл. 5).

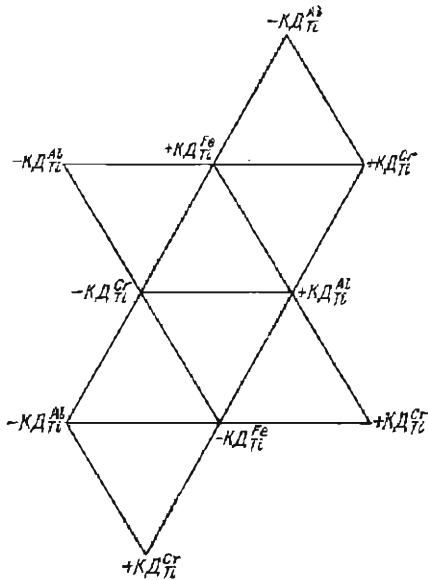
Различия относительной контрастности дифференциации расплавов по алюминию, хрому и калию, не будучи тесно связаны с энергетикой подкоровой эволюции магмы, обусловили ряд петрологических и геохимических особенностей пород. Следовательно, наиболее полная характеристика специфических особенностей режима дифференциации кимберлитовых магм может быть получена при учете значения и знака контрастности дифференциации каждого из показательных элементов.

Число важнейших показательных элементов, как уже упоминалось, равно 5. Однако частные показатели контрастности по вышеизложенной методике вычисляются относительно концентрации титана, ассимилятивность которого во всех случаях принимается за единицу. Калий при процессах подкоровой эволюции накапливался в расплаве, а степень конечной концентрации его обычно определяют по содержанию флогопита, выделяя по этому признаку слюдяные (>5% флогопита) и бесслюдяные разновидности пород. По трем остальным элементам контрастность дифференциации кимберлитовых магм может выражаться положительными и отрицательными значениями.

Изложенное позволяет заключить, что для получения даже далеко не полной характеристики режима дифференциации кимберлитовых магм, формировавших слюдяные и бесслюдяные разновидности пород, необходим комплексный учет знака (направленности) и меры контрастности их дифференциации не менее чем по трем элементам — железу, хрому и алюминию. Одновременный учет изменчивости трех частных знакопеременных показателей контрастности и выделение на этой основе соответствующих типов дифференциации кимберлитовых расплавов могут осуществляться различными способами, например табличным, графическим и т. п.

При графическом способе анализа всей совокупности сочетаний по трем из шести показателей определение их удобно выполнять с помощью восьми равносторонних треугольников,

Рис. 49. Компоновка мультисистемы треугольных диаграмм, учитывающих изменчивость трех знакопеременных показателей контрастности дифференциации кимберлитовых и пикритовых магм, в виде развертки октаэдра.



которые для компактности чертежа и удобства пользования могут быть размещены в виде развертки октаэдра. Вследствие упоминавшейся высокой информативности  $\text{КД}_{\text{Ti}}^{\text{Fe}}$  частные диаграммы для большей наглядности целесообразно скомпоновать таким образом, чтобы вершины  $+\text{КД}_{\text{Ti}}^{\text{Fe}}$  располагались в верхней, а вершины  $-\text{КД}_{\text{Ti}}^{\text{Fe}}$  в нижней части мультисистемы (рис. 49). Размещение фигуративных точек пород в пределах соответствующего треугольника определяется относительным значением показателей контрастности процесса дифференциации по Fe, Cr и Al у магм, формировавших изучаемые кимберлиты.

Повышенное или пониженное содержание каждого из трех рассматриваемых элементов в изучаемых породах по сравнению с концентрацией их в исходных магмах, состав которых отождествляется с принимаемой нами моделью вещества верхней мантии [37], позволяет выделять 8 основных и 12 промежуточных типов дифференциации кимберлитовых расплавов на подкоровой стадии их эволюции. Границы промежуточных типов дифференциации целесообразно проводить по линиям, соответствующим  $\pm 10\%$  каждого из выбранных показателей контрастности процесса. Тогда рассматриваемая система диаграмм примет вид, иллюстрируемый рис. 50.

Информативность таких диаграмм может быть повышена путем показа на них также и степени дифференциации расплавов, изменчивость которой легко отобразить, например, различным значением или формой figurativных точек. Вполне удов-

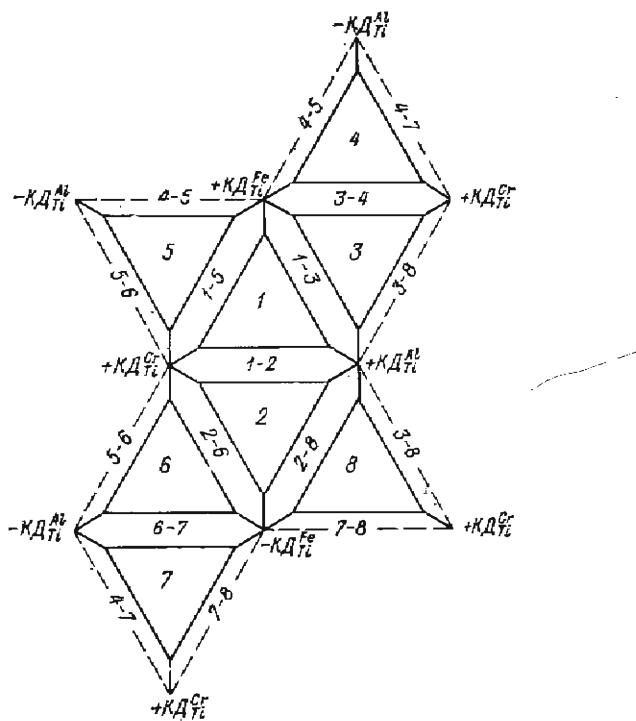


Рис. 50. Основные и промежуточные типы дифференциации кимберлитовых магм и соответствующие им петрохимические типы пород, выделяемые с учетом знака и относительного значения показателей контрастности этого процесса по Fe, Cr и Al.

Летворительная детальность оценок достигается при трех-пяти градациях СД, которые условно могут применяться в качестве ступеней дифференциации кимберлитовых расплавов. Применимельно к породам Центральносибирской кимберлитовой провинции в целом оптимальным представляется выделение четырех ступеней дифференциации, которые выражаются следующими численными значениями СД<sub>ти</sub><sup>(5)</sup>: I < 25, II — 25—62, III — 62—100 и IV > 100. При изучении кимберлитов каждого отдельно взятого поля число ступеней и граничные значения для них СД могут быть откорректированы с учетом конкретных материалов.

При формировании пород Центральносибирской кимберлитовой провинции проявились семь основных и почти все промежуточные типы дифференциации расплавов. Однако подавляющее большинство диатрем в 16 главнейших кимберлитовых полях этой провинции выполнено породами, относящимися к

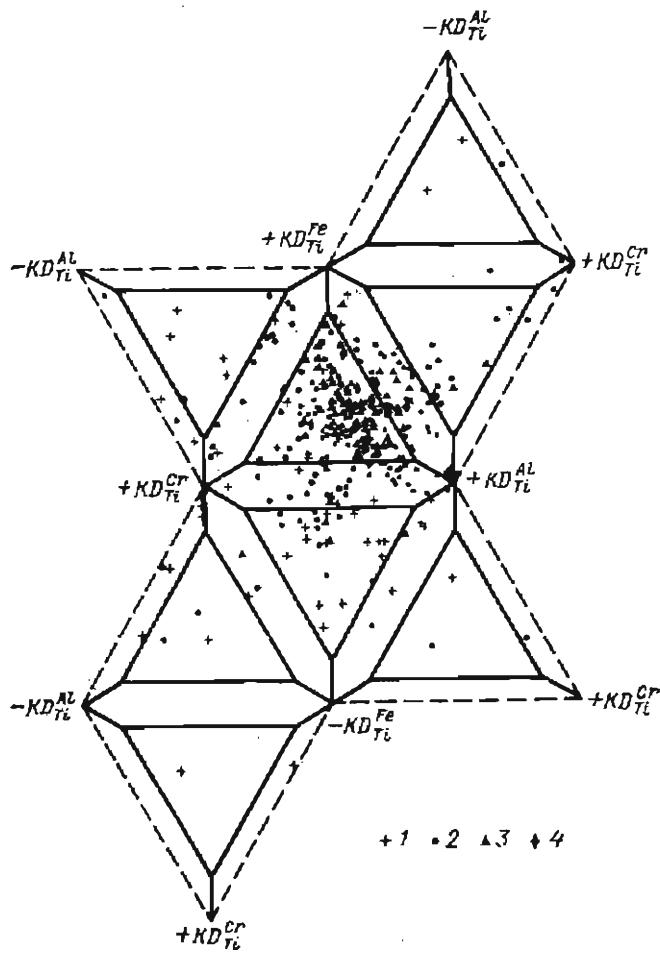


Рис. 51. Распространенность различных петрохимических типов среди пород, выполняющих трубы взрыва и дайки в главнейших полях Центральносибирской кимберлитовой провинции.

Степень дифференциации СД<sub>Tl</sub><sup>(5)</sup>: 1 — <25; 2 — 25—62; 3 — 62—100; 4 — >100.

1, 2, отчасти к 3-му и промежуточным между ними типам (рис. 51). К этому следует добавить, что породы, относимые к 1-му и 3-му типам, характеризуются средней и высокой степенью, в то время как для большей части пород 2-го типа обычны невысокие значения показателей степени дифференциации. Подробнее эти вопросы рассматриваются в последующих главах.

---

## СОСТАВ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ КИМБЕРЛИТОВ

Формирование наиболее изученных кимберлитовых провинций полнозонального типа охватывало эпохи, продолжительность каждой из которых составляла около 250 млн. лет, что определяется по разнице возрастов кимберлитов в центре и на периферии соответствующих провинций [39, 45]. В основе таких оценок обычно лежат геологические данные о возрасте вмещающих и перекрывающих кимберлиты горных пород. Итоги радиогеологических датировок кимберлитов во всех без исключения случаях существенно завышены по сравнению с геологическими данными о времени образования пород. Причины названных расхождений обсуждались в специальной работе автора [32].

Общегеологические данные позволяют определять возраст некоторой (обычно небольшой) части слагающих провинции кимберлитовых полей в целом. Устанавливаемый при этом диапазон достигает десятков миллионов лет. Так, например, формирование кимберлитов Мархино-Алакитского поля относится к интервалу времени от среднего девона до раннего карбона включительно; внедрение кимберлитов Моторчунского поля произошло между ранним триасом и началом юры. Какие-либо данные о столь длительном (десятки миллионов лет) непрерывном протекании вулканических процессов в пределах отдельно взятого поля отсутствуют. Вместе с тем исключается и одноактное извержение ультраосновных магм даже на ограниченных (в среднем около  $1000 \text{ км}^2$ ) территориях, которые выделяются по комплексу признаков в качестве самостоятельных кимберлитовых полей.

Имеющиеся пока, к сожалению, немногочисленные данные позволяют заключить, что длительность времени между начальным и заключительным этапами вулканических процессов при формировании каждого отдельно взятого кимберлитового поля измерялась, по всей вероятности, многими миллионами лет. О значительных интервалах времени между внедрениями последовательных порций кимберлитовой магмы свидетельствуют наблюдения над различными генерациями пород в сложно построенных диатремах. Установлено, что относительно более молодые кимберлиты прорывали затвердевшие и подвергшиеся интенсивному автометаморфизму ранние генерации этих пород. Вывод о значительном разрыве во времени формирования отдельных генераций кимберлитов в телах сложного строения вполне согласуется и с результатами палеомагнитного анализа

их: в некоторых диатремах различные генерации кимберлитовых пород обладают намагниченностью противоположного знака, что с позиций палеомагнитной теории свидетельствует о существенных (0,25—10,0 млн. лет) различиях во времени их образования.

Таким образом, процесс образования кимберлитового поля складывался из большого числа существенно разорванных во времени вспышек ультраосновного магматизма, в ходе которых отдельные порции магмы формировали самостоятельные трубы и дайки или прорывали ранее возникшие диатремы, превращая их в тела сложного строения.

Методы, которые позволили бы установить общую последовательность внедрения кимберлитовых пород, слагающих различные диатремы в пределах единого поля, в известной автору литературе не упоминаются. Радиологический способ датировки для этой цели совершенно неприменим, поскольку погрешности его (десятки и сотни миллионов лет) намного превышают ожидаемые различия интересующих нас величин. Надежно устанавливаемая последовательность образования различных генераций кимберлитовых пород в трубках сложного строения не может быть использована для оценки относительного возраста пород даже из смежных тел. Безрезультатным оказывается и привлечение данных по намагниченности кимберлитов.

Принимая тезис о возникновении трубок взрыва и даек каждого кимберлитового поля в ходе длительного развития ультраосновного магматизма на соответствующем участке территории, логично предположить, что состав последовательно внедрявшихся порций магмы не оставался постоянным. Существенные различия текстуры и структуры, окраски и других физических свойств, минералогического и химического состава наблюдаются у различных генераций кимберлитовых пород во всех без исключения сложно построенных диатремах. Геолого-структурные соотношения между породами различных текстурно-генетических групп в хорошо изученных трубках взрыва определенно свидетельствуют, что формирование их обычно протекало в такой последовательности: туфобрекчи — эруптивные брекчи — массивные разновидности кимберлитов или пикритов.

При анализе петрохимических особенностей целесообразно опираться на показатели контрастности и степени дифференциации расплавов. Среди частных показателей контрастности дифференциации наиболее информативным в интересующем нас аспекте должен быть признан  $KD_{Ti}^{Fe}$ , который наиболее тесно связан с энергетикой зарождения и эволюции, а следовательно, с режимом и временем возникновения соответствующих порций магмы при подкоровых процессах в эпохи кимберлитового вулканизма.

В табл. 6 приведены важнейшие петрологические данные о последовательных генерациях кимберлитовых пород из наибо-

ТАБЛИЦА 6  
Петрологические особенности различных генераций кимберлитовых пород  
в некоторых сложно построенных диатремах Якутии

Номер п/п.	Диатремы	Порядковый номер генерации	Породы	Тип дифференциации	$K_{d\text{Fe}_{\text{Ti}}}$	$C.d.\text{Fe}_{\text{Ti}}$
1	«Удачная-Западная»	1*	см эр бр **	2—6***	-0,0152	17,45
2	«Удачная-Восточная»	2	бб к	5—6	-0,0002	26,05
3	«Аэрогеологическая»	1	сб эр бр	1—2	0,0021	42,03
		2	бб эр бр	1	0,0052	64,16
4	«Искорка»	1	бм эр бр	2—6	-0,0036	73,35
		2	бм к	1	0,0125	64,52
5	«Флоголитовая»	1	сб эр бр	5—6	-0,0001	50,05
		2	сб к	1	0,0073	73,62
6	«Дальняя»	1	сб эр бр	1—2	-0,0009	43,60
		2	бб к	1—2	0,0008	52,97
7	«Сибирская»	1	бб эр бр	1—2	-0,0009	27,76
		2	бб к	3	0,0036	39,85
8	«Аномалия 48»	1	сб г бр	1—2	-0,0023	67,95
		2	см т бр	1—2	0,0003	61,64
9	«Фестивальная»	1	бм эр бр	6	-0,0074	29,85
		2	бб эр бр	5—6	0,0006	33,26
10	«Чомур»	1	сб эр бр	1	0,0039	37,09
		2	см к	1	0,0064	74,47
11	«Куранахская»	1	сб к	1—3	0,0083	42,10
		2	см к	1—3	0,0113	49,71
12	«Университетская»	1	сб эр бр	1—3	0,0102	29,33
		2	см к	1	0,0103	38,03
13	«Аномалия 135/63»	1	сб пп	1	0,0427	33,62
		2	монт п	1—5	0,0790	25,68
14	«Сенюк-Северная»	1	сб т бр	1—3	0,0049	43,32
		2	сб к	1—3	0,0105	60,68
15	«Подснежная»	1	см эр бр	1	0,0221	21,41
		2	бм эр бр	1	0,0376	16,16
16	«Геофизическая»	1	бб эр бр	2	-0,0085	27,10
		2	бб к	1	0,0082	26,51
17	«Молодежная»	1	бб эр бр	2	-0,0128	26,77
		2	бм к	4	0,0035	23,52
18	«Спутник»	1	сб эр бр	2	-0,0331	21,06
19	Дайка между трубками «Спутник» и «Мир»	2	сб к	6	-0,0075	34,44
20	«Мир»	3	бб эр бр	1—5	0,0042	27,08
		4	бб эр бр	1—5	0,0077	23,57
		5	бб к	5	0,0111	26,70
21	«Снежинка»	1	сб эр бр	7—8	-0,0144	24,64
		2	сб к	3—4	0,0014	30,21
22	«Январская»	1	сб т бр	2	-0,1156	9,22
		2	бб эр бр	6—7	-0,0647	7,80

\* См. также табл. 7, рис. 52 и 53.

\*\* Сокращенные петрографические названия пород согласно классификации автора [28]: бб к — бесследянной безмикролитовый кимберлит, сб к — слюдянной безмикролитовый кимберлит, бм к — бесследянной микролитовый кимберлит, см к — слюдянной микролитовый кимберлит, бб эр бр — эруптивная брекчия бесследянного безмикролитового кимберлита, сб эр бр — эруптивная брекчия слюдянного безмикролитового кимберлита, бб т бр — туфобрекчия бесследянного безмикролитового кимберлита, сб пп — слюдянной безмикролитовой пикртовый порфирит, монт п — монтанеллитовый пироксенит и т. д.

\*\*\* Цифры соответствуют нумерации полей на мультисистеме треугольных диаграмм, приведенной на рис. 50.

лее изученных диатрем Якутии. Уже при беглом просмотре этих данных устанавливаются вполне четкие отличия относительно более поздних пород от ранее образовавшихся пород той же диатремы. Обращает на себя внимание тот факт, что если ранние генерации пород в большинстве диатрем представлены, как правило, эруптивными брекчиями или туфобрекчиями, то среди поздних генераций определенно преобладают массивные разновидности кимберлитов. Встречаются трубы, обе генерации пород в которых представлены брекчевыми («Фестивальная», «Подснежная», «Январская») или значительно реже массивными («Аномалия 135/63») разновидностями. Обратных соотношений (т. е. ранняя генерация — массивная, а поздняя — брекчевая разновидности пород) не наблюдалось.

У последовательных генераций пород, относящихся к различным группам по контрастности процесса дифференциации, СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> может быть различным, хотя намечается тенденция к возрастанию этого показателя у относительно более поздних генераций пород. Если же обе генерации породы в изучаемой диатреме относятся к единой группе по КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>, то породы ранних генераций характеризуются относительно меньшими значениями СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> («Дальняя», «Чомур», «Сенкю-Северная» и др.) или не имеют существенных (свыше ± 20%) расхождений по СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> с более молодыми породами.

Значительно более четкие зависимости, определенно имеющие характер закономерности, наблюдаются между относительным возрастом кимберлитовых пород и значением КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>. Породы ранней генерации во всех без исключения случаях обладают меньшим КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> по сравнению с породами поздней генерации, время внедрения которых надежно устанавливается по геологическим наблюдениям.

Нередко различия КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> у пород одной трубы настолько велики, что с несомненностью свидетельствуют о существенных различиях типа дифференциации у материнских расплавов («Удачная», «Геофизическая», «Молодежная» и др.). Однако даже в тех случаях, когда обе генерации породы относятся к единому типу дифференциации, КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> у относительно более поздней из них заметно больше, чем у ранней генерации породы, залегающей в пределах той же трубы («Дальняя», «Чомур», «Подснежная» и др.).

В графической форме указанные тенденции и закономерности представлены на рис. 52. В верхней части его находятся схемы структурных соотношений между различными генерациями пород в отдельных диатренах, а снизу помещен «ключ», имеющий вид октаэдра, развертка которого показана на рис. 49. Верхняя и нижняя вершины октаэдра соответствуют 100% положительных и отрицательных значений КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>, а на горизонталь-

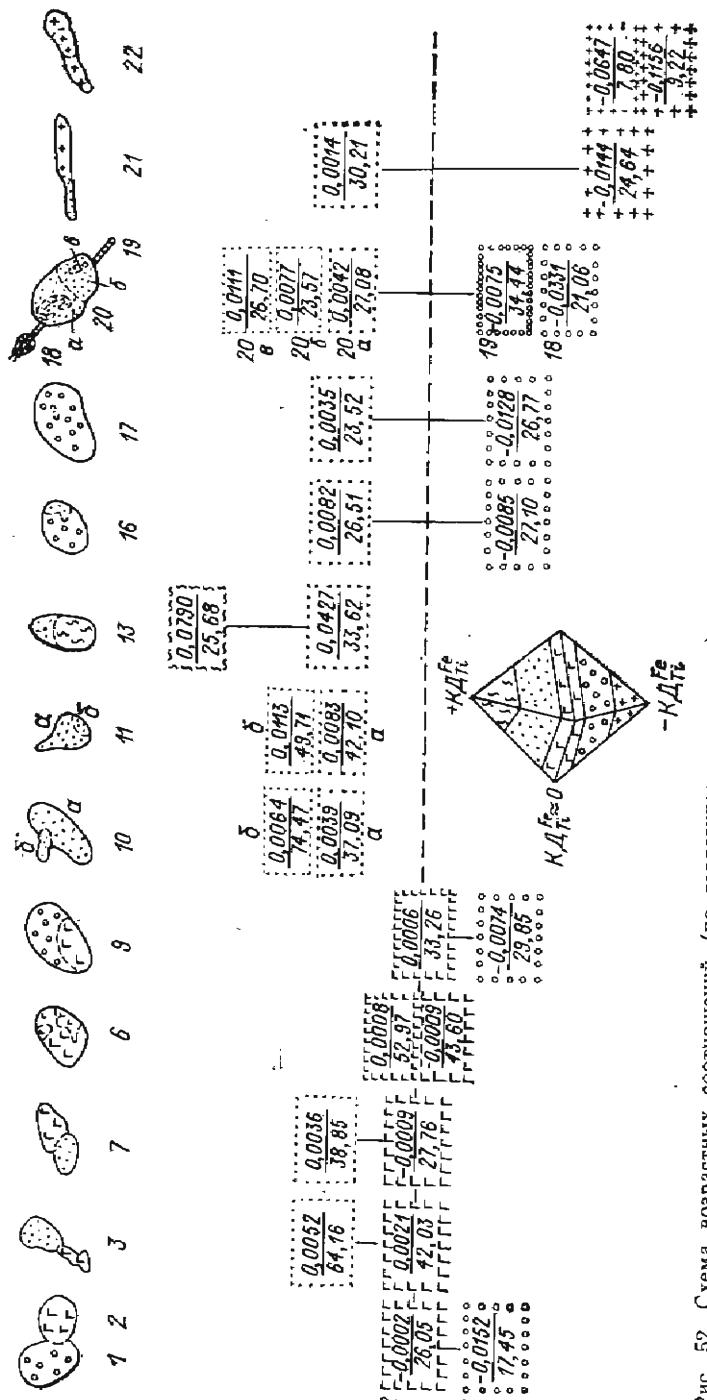


Рис. 52. Схема возрастных соотношений (по геологическим данным) и петрохимических особенностей различных генераций кимберлитовых пород в некоторых сложно построенных диатренах Центральносибирской провинции. В прямоугольных ячейках приведены значения  $K\Delta T_l Fe$  (в числителе) и  $C\Delta T_l$  (в знаменателе) кимберлитовых пород из диатрам, цифры у планов которых соответствуют порядковым номерам в табл. 6. Раамещение ячеек относительно пульсовой (нитриковой) линии отражает корреляцию между  $K\Delta T_l$  и относительным возрастом образования пород.

ной плоскости, проходящей через четыре другие вершины ( $\pm KД_{T1}^{Cr}$  и  $\pm KД_{T1}^{Al}$ ), значения этого показателя равны нулю. Для большей наглядности и повышения детальности расчленения пород по значению  $KД_{T1}^{Fe}$  на «ключе» помимо зоны  $\pm 10\%$  выделены также зоны положительных и отрицательных значений этого показателя  $> |50\%|$ .

Зависимость между  $KД_{T1}^{Fe}$ ,  $СД_{T1}^{(5)}$  и относительным временем образования различных генераций кимберлитовых пород проявляется, естественно, не только на поверхности, на современном уровне эрозионного среза, но и на глубине. Хорошой иллюстрацией изложенному может служить пример двух сопряженных трубок — «Удачной-Западной» и «Удачной-Восточной» [53,

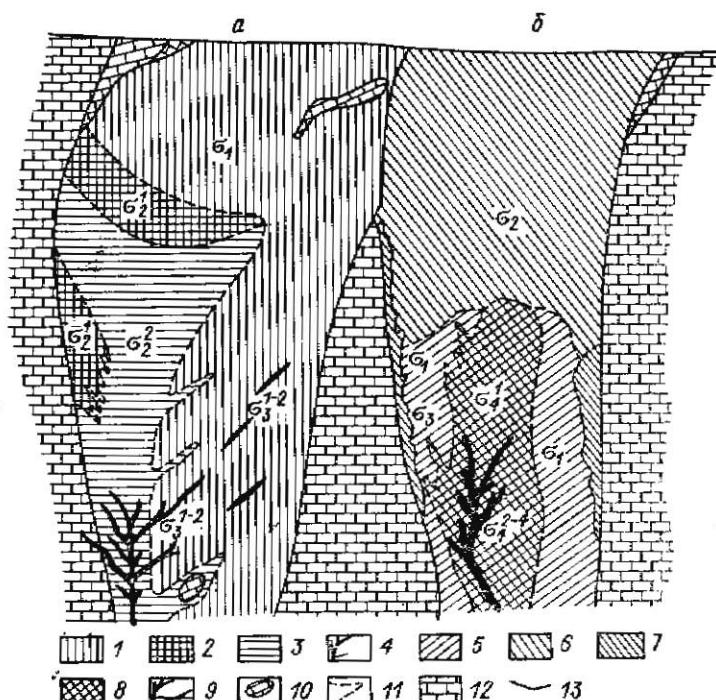


Рис. 53. Схематический разрез кимберлитовых трубок «Удачная-Западная» (а) и «Удачная-Восточная» (б), по В. Ф. Свиридову, 1972 г., В. К. Маршинцеву и др. [53, 54], с уточнениями.

По трубке «Удачая-Западная»: 1 — кимберлитовая брекчия I-го этапа; 2 — кимберлитовая брекчия 2-го этапа с первичными текстурами течения; 3 — кимберлитовая брекчия 2-го этапа с массивной текстурой связующей массы; 4 — жильные кимберлиты за ключительного этапа.

По трубке «Удачая-Восточная»: 5 — автолитовая кимберлитовая брекчия I-го этапа; 6 — кимберлитовая брекчия 2-го этапа с массивной текстурой связующей массы; 7 — кимберлит 3-го этапа; 8 — кимберлитовая брекчия 4-го этапа; 9 — жильные кимберлиты 4-го этапа; 10 — крупные ксенолиты («лавочные рифы») осадочных пород; 11 — контакты различных генераций кимберлитовых пород; 12 — вмещающие карбонатные породы; 13 — разрывные нарушения.

54]. Конфигурация названных диатрем, размещение, структурные соотношения и петрологические особенности различных генераций кимберлитовых пород на современном срезе показаны на рис. 52 и в табл. 6, а соответствующие характеристики по разрезу — на рис. 53 и в табл. 7.

На основе четких структурных соотношений кимберлитов в трубках «Удачная-Западная» и «Удачная-Восточная» надежно устанавливается последовательность формирования каждой из них, а сопряженность жерл и петрологические особенности пород позволяют рассматривать обе диатремы как единое сложно построенное тело и оценивать относительный возраст всех семи генераций кимберлита совместно (табл. 7). Как видно из таблицы, результаты исследований полностью согласуются с зависимостью между относительным временем образования,  $KDT_{Ti}$  и  $CDT_{Ti}^{(6)}$  кимберлитовых пород, установленной на других примерах (рис. 52 и табл. 6).

Запаздывание кимберлитовых расплавов с повышенными значениями показателей контрастности и степени дифференциации и последующее застывание их преимущественно в виде массивных разновидностей пород не только находит объяснение, но и рассматривается как неизбежное следствие процессов, модель которых была предложена в итоге всестороннего анализа физико-химических условий образования кимберлитов [37]. Согласно названной модели очаги кимберлитовой магмы возникали в различных частях восходящих конвективных по-

ТАБЛИЦА 7

Петрологические особенности различных генераций кимберлитовых пород, ная-Восточная» (см. рис. 53)

Этап внедрения	Породы	Число хим. анализов	Содержание, вес. %				
			Fe	Ti	Al	K	Cr
«Удачная-							
1	Кимберлитовая брекчия	89	4,35	0,53	1,26	0,50	0,075
2	Кимберлитовая брекчия	14	4,26	0,57	1,37	0,61	0,075
3	Массивный кимберлит (жилы)	9	4,02	0,76	1,47	0,59	0,082
«Удачная-							
1 (4)	Автолитовая кимберлитовая брекчия	14	4,89	0,74	1,18	0,89	0,062
2 (5)	Кимберлитовая брекчия	32	5,48	0,87	1,07	0,41	0,068
3 (6)	Кимберлит	5	5,33	0,99	0,99	0,48	0,062
4 (7)	Кимберлитовая брекчия	13	6,12	0,91	1,05	0,81	0,068

токов вещества верхней мантии при существенно изменчивых термодинамических параметрах.

Изменчивость термодинамического режима зарождения и подкоровой эволюции кимберлитовых расплавов обусловливалась неравномерной степенью нагрева вещества верхней мантии во внутренних и периферийных зонах конвективных потоков. Во внутренних зонах, где температура субстрата была максимальной, плавление начиналось при существенно более высоких давлениях и, следовательно, на больших глубинах, чем в краевых частях восходящего потока.

Магматические очаги поднимались к подошве земной коры не только за счет восходящего течения вмещающего их субстрата, но также и за счет автономного движения по механизму зонной плавки. Наибольшей скоростью течения обладали центральные части конвективных потоков, где благодаря повышенной температуре субстрат отличался наименьшей вязкостью. Повышенная температура окружавшего материнские очаги субстрата активизировала процессы зонного плавления, которые не требовали в этих условиях больших энергетических затрат, протекали поэтому с минимальной контрастностью по железу и приводили в итоге к относительно невысокой общей степени дифференциации расплавов. Кимберлитовые магмы таких очагов раньше других достигали подошвы, а при благоприятных тектонических условиях — и верхних горизонтов земной коры, где они формировали преимущественно крупные

наблюдаемых в разрезе сопряженных трубок «Удачая-Западная» и «Удач-

Частные показатели контрастности дифференциации				КД <sub>Ti</sub> <sup>(5)</sup>	ОДТ <sub>i</sub>	СДТ <sub>i</sub> <sup>(5)</sup>	Тип дифференциации
КД <sub>Ti</sub> <sup>Fe</sup>	КД <sub>Ti</sub> <sup>Al</sup>	КД <sub>Ti</sub> <sup>K</sup>	КД <sub>Ti</sub> <sup>Cr</sup>				
<b>Западная»</b>							
-0,0152	0,0006	0,2308	-0,0308	1,1854	14,72	17,45	2-6
-0,0152	0,0065	0,2753	-0,0249	1,2417	15,83	19,66	2
-0,0134	0,0088	0,1948	-0,0184	1,1718	21,11	24,74	2
<b>Восточная»</b>							
-0,0057	-0,0029	0,3281	-0,0269	1,2926	20,56	26,58	2-6
-0,0002	-0,0062	0,1044	-0,0204	1,0776	24,17	26,05	5-6
-0,0012	-0,0078	0,1132	-0,0199	1,0843	27,50	29,82	5-6
0,0046	-0,0066	0,2712	-0,0195	1,2497	25,28	31,59	1

трубки взрыва, заполненные туфобрекчиями или эруптивными брекчиями.

Таким образом, установлены и получили теоретическое объяснение определенные зависимости между особенностями химического состава и относительным возрастом кимберлитов. По результатам этих исследований установлено, что начало кимберлитового вулканизма в каждом поле характеризовалось формированием наименее дифференцированных кимберлитов с резко выраженной отрицательной контрастностью дифференциации по железу. В дальнейшем возникали разновидности кимберлитовых пород, значения  $KD_{Ti}^{Fe}$  у которых постепенно изменялись от небольших отрицательных через близкие к нулю до крупных положительных. При равных  $KD_{Ti}^{Fe}$  среди пород одного петрохимического типа самыми поздними являются, по всей вероятности, наиболее дифференцированные из них, т. е. разновидности с максимальными значениями  $CD_{Ti}^{(5)}$ .

Поскольку результаты детального изучения структурных взаимоотношений и химического состава различных генераций кимберлитовых пород во всех сложно построенных диатремах Якутии не только не противоречат, но в полной мере подтверждают вытекающее из теоретических построений наличие причинной связи между петрохимическими особенностями и последовательностью внедрения кимберлитовых расплавов, поскольку установленная зависимость может быть использована для решения и обратной задачи. Условность определений таким способом относительного возраста пород очевидна. Вместе с тем до разработки более надежных способов массовой датировки кимберлитов вышеизложенные принципы позволяют в первом приближении оценить последовательность образования пород и попытаться расшифровать наиболее общие черты структуры кимберлитовых полей.

---

## ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СТРОЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ

Среди многочисленных проблем в геологии алмазных месторождений следует выделить три группы вопросов, связанных с познанием процессов формирования и внутреннего строения кимберлитовых полей, которые до сих пор слабо изучены или не ставились совсем, но чрезвычайно важны и имеют

решающее значение в плане наших исследований. К первой группе могут быть отнесены вопросы, касающиеся вероятного числа и последовательности активизации магматических очагов, генерировавших расплавы при формировании каждого отдельно взятого поля. Вторая группа вопросов охватывает различные стороны внутриструктурной эволюции и тектонической обстановки внедрения кимберлитовых магм. В третьей группе следует объединить вопросы о рудоконтролирующих и рудо-локализующих дислокациях.

### **ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РАСПЛАВОВ И ЧИСЛО МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ**

В подавляющем большинстве оригинальных и сводных работ по геологии, петрологии, минералогии и геохимии кимберлитов источником кимберлитовых расплавов справедливо называется верхняя мантия планеты, но проблемы генерации расплавов и какие-либо особенности магматических очагов не обсуждаются. И даже те немногочисленные работы, где рассматриваются параметры и энергетический режим магматических процессов в подкоровых [37] или гипабиссальных промежуточных [9] очагах, не затрагивают вопросы о вероятном числе таких очагов при формировании отдельного кимберлитового поля.

Очевидно, что если при региональных исследованиях кимберлитового вулканизма оценки вероятного числа магматических очагов могли иметь лишь теоретический интерес, то при детальных работах по расшифровке внутреннего строения кимберлитовых полей результаты таких оценок помимо научного приобретают и прикладное значение.

Первым шагом в этом направлении, естественно, должен явиться анализ пространственного размещения различных по химическому составу кимберлитов в наиболее изученных полях. Результаты сравнительных исследований петрохимических особенностей кимберлитов, развитых на различных участках поля, в принципе должны явиться базой для оценки числа, примерного местоположения и специфики магматических очагов, сформировавших породы изучаемого поля. Обнаружение зональности распределения важнейших показательных элементов в масштабе поля или отдельных участков его могло бы рассматриваться как указание на эволюцию единого для всего поля очага или на специфику нескольких разобщенных в пространстве локальных очагов.

Первым на возможность зонального распределения химических элементов в кимберлитовых полях обратил внимание

Ю. А. Осипов [1976 г.]. На основе визуального анализа размещения кимберлитов с различным содержанием показательных элементов он построил схемы распределения титана, алюминия и железа на территории одного из центральных полей Сибирской платформы. Согласно Ю. А. Осипову, содержание железа убывает в южном направлении. Наиболее сложный характер распределения наблюдается в северо-восточной части поля, которая характеризуется максимальной концентрацией кимберлитовых тел.

Однако из-за общей неравномерности размещения трубок и даек в пределах любого поля, характерной для значительного числа их тенденций к группировке в виде «цепочек» и «кустов» и сильной изменчивости расстояний между отдельными телами визуальная интерпретация и основанные на ней схемы в изолиниях содержаний показательных элементов являются в значительной мере субъективными.

Более надежные результаты и выводы могут быть получены в итоге проведения тренд-анализа. Применение тренд-анализа к решению геологических задач заключается в выделении и описании различных составляющих изменчивости площадных переменных с целью интерпретации или интерполяции между нерегулярно расположеными точками наблюдения и опробования. Обычно используемые математические модели тренд-анализа — полиномиальная модель и модель, основанная на рядах Фурье, — естественно дополняются неполиномиальными моделями, основанными на использовании пошаговой регрессивной процедуры. Метод пошаговой регрессии позволяет отбирать функции, входящие в уравнение тренд-поверхности, в соответствии с их вкладом в суммарную дисперсию зависимой переменной или исключать функции, если они либо вносят малый вклад, либо сильно коррелируют между собой [55].

На рис. 54 приведена поверхность тренда содержаний главных показательных элементов в породах кимберлитового поля, которое параллельно с нами изучалось Ю. А. Осиповым, а на рис. 55 — содержания тех же элементов в породах двух кимберлитовых полей северо-восточной части Сибирской платформы. При достоверности тренда 25% тенденции зонального распределения показательных элементов в кимберлитах не проявляются: на окраинах всех изученных полей наблюдаются и минимумы и максимумы содержаний рассмотренных элементов. Более того, характер полученных поверхностей тренда не дает оснований считать, что зональность может проявиться при дальнейшей генерализации исходных данных (т. е. при вычислении тренда с достоверностью 50 или 100%).

Несомненным свидетельством в пользу справедливости полученных результатов является почти полная аналогия трендов железа и титана, обладающих сходной геохимией, при существенно ином, почти противоположном характере тренда

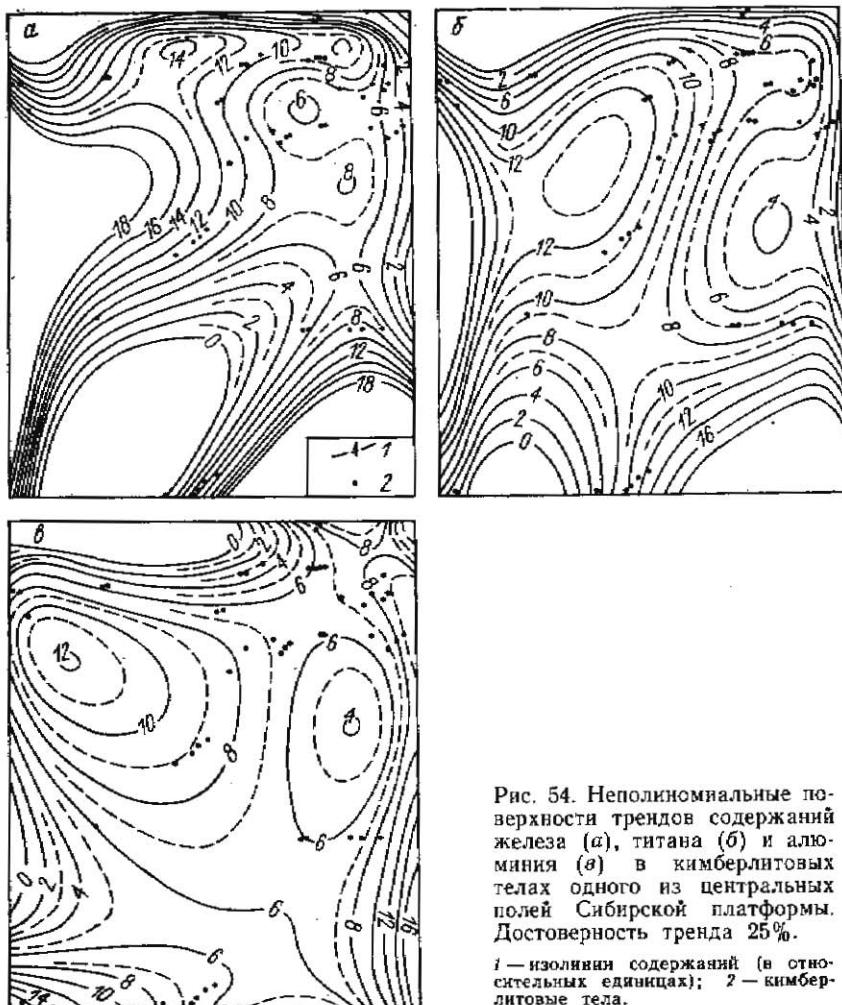


Рис. 54. Неполиномиальные поверхности трендов содержаний железа (α), титана (β) и алюминия (γ) в кимберлитовых телах одного из центральных полей Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%.

1 — изолинии содержаний (в относительных единицах); 2 — кимберлитовые тела.

алюминия, который резко отличается по геохимии от двух предыдущих элементов. Эти различия наиболее четко проявляются в первом из указанных полей.

Анализ полученных трендов распределения важнейших показательных элементов в кимберлитах приводит к выводу о том, что интерпретация их в плане оценки вероятного числа магматических очагов даже в наиболее изученных полях сильно затруднена или невозможна. Следовательно, для выполнения таких оценок надо искать другой путь.

При самых грубых теоретических оценках вероятного числа магматических очагов, ответственных за формирование кимберлитовых тел любого отдельно взятого поля, искомая величина



Рис. 55. Неполиномиальные поверхности трендов содержаний железа (а), титана (б) и алюминия (в) в кимберлитовых телах двух полей, расположенных на северо-востоке Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%. Усл. обозначения см. на рис. 54.

может быть ограничена пределами, определяемыми согласно двум крайним допущениям: 1) все трубы и дайки изучаемого поля возникли из расплавов, генерированных единым очагом; 2) каждое тело простого строения и каждая генерация пород в телах сложного строения возникали из расплавов, сформировавшихся в самостоятельных магматических очагах. Изложенное может быть представлено в виде следующего выражения

$$1 \leq N \leq T + \Gamma, \quad (12)$$

где  $N$  — вероятное число магматических очагов в изучаемом кимберлитовом поле;  $T$  — общее число кимберлитовых тел простого строения;  $\Gamma$  — общее число генераций кимберлитовых пород в телах сложного строения.

Однако достигаемая при этом высокая степень надежности оценки обесценивается чрезмерно широким диапазоном равнодопустимых значений искомой величины. И хотя совершенно очевидно, что действительное количество магматических очагов, генерировавших расплавы в процессе формирования любого кимберлитового поля, заключено в установленном соглас-

но неравенству (12) диапазоне, точнее определить их число с помощью общепринятых и принятых геолого-петрографических методов невозможно.

Подойдем к решению этой задачи другим путем, используя результаты исследований, изложенные в предыдущих разделах данной работы, в первую очередь выявленную зависимость между режимом и степенью дифференциации расплавов, петрохимическими особенностями (типами) и последовательностью образования кимберлитовых пород.

Существенные различия контрастности дифференциации по железу ( $KD_{Ti}^{Fe}$ ), отражающей энергетику подкоровых магматических процессов, позволяют выделять наиболее крупные возрастные группы пород (см. рис. 52), временные интервалы которых в каждом поле могут отождествляться с отдельными стадиями его формирования.

На протяжении каждой отдельно взятой стадии могли возникать породы нескольких ( $\leq 4$ ) петрохимических типов, которые при близких значениях  $KD_{Ti}^{Fe}$  имели сходные или существенно отличающиеся показатели  $CD_{Ti}^{(5)}$ . В последнем случае породы даже одного петрохимического типа согласно изложенным в предыдущей главе принципам и фактическим данным должны быть отнесены к различным этапам единой стадии.

Поскольку на протяжении каждого этапа формировались породы нескольких петрохимических типов, постольку они в свою очередь распадаются на отдельные фазы. Отсюда следует, что фаза — это отрезок времени, на протяжении которого формировался комплекс пород одного петрохимического типа («однотипных пород»), относящихся по значению  $CD_{Ti}^{(5)}$  и  $KD_{Te}^{Fe}$  к единому этапу соответствующей стадии. Последовательность фаз в пределах этапа на современном уровне знаний определять не представляется возможным. Общее число фаз внедрений кимберлитовой магмы в любом поле может быть выражено следующей формулой:

$$\Phi = a\pi_1 + b\pi_{1-2} + \dots + v\pi_8, \quad (13)$$

где  $\Phi$  — число фаз внедрений;  $\pi_1, \pi_{1-2}, \dots, \pi_8$  — наблюдаемые петрохимические типы пород, пронумерованные согласно изложенной выше схеме (см. рис. 50);  $a, b, \dots, v$  — число существенно различных по  $CD_{Ti}^{(5)}$  комплексов среди пород каждого петрохимического типа.

Как следует из результатов изучения физико-химических условий образования кимберлитов, дифференциация расплавов происходила почти исключительно в подкоровых глубинах, причем ведущим механизмом этих процессов являлась зонная плавка. Прорыв магмы в зоны глубинных разломов и быстрый подъем по ним к земной поверхности практически исключали дальнейшие изменения валового состава магмы вместе с выде-

лившимися из нее порфировыми вкрапленниками, а внедрение в полости диатрем и близповерхностные трещины приводило к резкому застыванию расплава, что завершало консервацию глубинного вещества, за исключением летучих компонентов [39].

В едином магматическом очаге, эволюционировавшем по механизму зонной плавки, дифференциация по контрастности процесса для всех главнейших элементов определялась термодинамическим режимом и в целом была достаточно выдержанной. И наоборот, степень дифференциации расплава в верхних и нижних частях камер не могла быть идентичной: обязательным условием и одновременно следствием радиального перемещения магматических очагов путем проплавления кровли и осаждения кристаллата на дне камеры при неуклонном падении температуры и давления являются относительное снижение степени дифференциации магмы в апикальных и повышение в придонных частях камеры по сравнению со средними значениями ее по всей системе.

Выполненные ранее расчеты баланса вещества при кинематической дифференциации кимберлитовых магм свидетельствуют о том, что амплитуда неизбежной изменчивости состава расплава у кровли и дна камеры в любой отдельно взятый момент времени была относительно невелика. Можно считать, что эта амплитуда была значительно меньше колебания показателей степени дифференциации у пород, которые согласно приведенной выше схеме следует относить к единому этапу формирования поля.

На основании изложенного можно значительно сузить интервал равнодопустимых значений вероятного числа магматических очагов  $N$ , ответственных за формирование кимберлитов отдельно взятого поля. Вышеприведенные построения приводят к выводу о том, что искомая величина  $N$ , безусловно, превышает число стадий С, но лишь немного больше или равна числу этапов Э и уступает или равна количеству фаз внедрения кимберлитовой магмы  $\Phi$ , т. е.

$$С < \mathcal{E} \leq N \leq \Phi. \quad (14)$$

Определенную сложность представляет установление граничных значений  $СД_{Ti}^{(5)}$  для комплексов пород одного петрохимического типа, которые можно связывать с самостоятельными магматическими очагами. При корректных оценках значимости расхождения экстремальных и средних  $СД_{Ti}^{(5)}$  у таких комплексов однотипных пород число магматических очагов в изучаемом поле может быть принято равным

$$N \approx an_1 + bn_{1-2} + \dots + un_8. \quad (15)$$

По линейным размерам в плане большинство кимберлитовых полей уступает или примерно равно толщине земной коры

на соответствующих участках платформ. Следовательно, если не исключать возможность того, что кимберлитовые расплавы использовали для подъема к дневной поверхности наряду с вертикальными также и наклонные нарушения в земной коре, то все тела, сложенные близкими по СД комплексами однотипных пород, условно можно связывать с единым магматическим очагом.

И лишь для полей, линейные размеры которых существенно превышают толщину земной коры, нельзя исключать принципиальную возможность существования двух очагов и более, генерировавших расплавы, сходные по всем петрохимическим характеристикам. Для таких полей вычисленные по формуле (15)  $N$  следует рассматривать в качестве минимальной оценки интересующего нас числа. Корректировку его следует проводить с учетом пространственного размещения однотипных пород: нахождение их на двух изолированных и значительно удаленных участках обширного поля может явиться основанием для предположения о связи их с двумя самостоятельными очагами.

Размах дифференциации расплавов и количественные соотношения разнотипных пород свидетельствуют о значительной изменчивости в кимберлитовых полях не только целой провинции, но даже в полях, слагающих единую фациальную зону отдельно взятой провинции (табл. 8).

Приведенные в табл. 8 данные позволяют сделать ряд важных выводов. По показателю  $KDF_T^e$  среди пород большинства (12) полей выделяются 3—4 группы, в четырех полях — 2, а в двух — 5 групп. Примечательно, что большинство кимберлитовых пород каждого поля относится к какой-либо одной группе и только в трех полях количества пород, принадлежащих двум смежным группам, примерно равны (Омонос-Суханское, Джюкенское и Куойкско-Беенчимское поля).

Сходные тенденции выявляются при анализе количественного соотношения пород различных петрохимических типов: в большинстве полей существенно преобладают кимберлитовые породы какого-либо одного (чаще первого) петрохимического типа. В трех полях примерно равные количества пород относятся к двум, а в одном — к трем петрохимическим типам.

Из табл. 8 следует также, что породы в полях алмазной субфации характеризуются преимущественно малой, реже умеренной и как исключение — повышенной степенью дифференциации. В полях совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций большая часть пород имеет умеренную и повышенную степень дифференциации при подчиненном количестве слабо и сильно дифференцированных разновидностей. Поля кимберлитов пироповой субфации как по общему уровню дифференциации, так и по количественному соотношению разно-

ТАБЛИЦА 8

## Количественные соотношения петрохимических групп и типов кимберлитовых пород

Пetroхими-ческие группы и типы кимберлитовых пород	Поля кимберлитов алмазной субфаации				Поля совместного развития субфааций		
	Малоботу-обинское	Маркито-Алавит-ское	Далдан-ское	Верхне-Верхне-Мунское	Чикур-Аахское	Омонас-Укукиг-ское	Омонас-Сукан-ское
Петрохимические группы пород, выделяемые по относительному значению КД Fe (см. рис. 52)							
+ 100							
+ 51							
+ 50							
+ 11							
+ 10							
- 10							
- 11							
- 50							
- 51							
- 100							
Петрохимические типы пород (см. рис. 50) с разбивкой по СД <sub>Tj</sub> <sup>5</sup>							
1	—; 6	—; 1	—; 1	—; 1	1; 46	—; 4	—; —
1-2	64; 5	45; 1	—; 45	—; 1	18; 1	36; 27	35; —
1-3	—; —	—; —	—; —	—; 16	—; 1	—; 5	—; 40
1-5	—	—	2; —	—	—; 2	—; 5	—; 2
2	15; —	8; —	9; 13	—	—; 1	—; 2	—; —
2-6	—; —	—; 1	13; 1	—	—	—; —	—; —
2-8	7; —	—	—	—; 3	—	—; 2	—; —
3	—; —	—	—	—; 1	—	—; —	—; —
3-4	—; 2	—; 1	—; 14	—	—	—; —	—; —
3-8	—; 1	—; 1	—; 28	—	—	—; —	—; —
4	—; 1	—; 1	—	—	4; 4	—; —	—; —
5	—; 1	—; 1	—	—	—; 1	—; —	—; —
6	—; 1	—; 1	—	—	—; 1	—; —	—; —
7	—; 1	—; 1	—	—	—; 1	—; —	—; —
8	—; 1	—; 1	—	—	—; 1	—; —	—; —

пород в главнейших полях Центральносибирской провинции (об: %)

Кимберлитов алмазной и пироповой						Поля кимберлитов пироповой субфации и никритов					
Луганак- ское	Курганак- ское	Средне- куонамк- ское	Нижне- куонамк- ское	Моторчун- ское	Джалмен- ское	Нижне- укуит- ское	Мерким- денское	Верхне- Моло- динское	Куюкско- Беенгим- ское	Орто- Быргах- ское	
6	3	26	5	—	42	—	27	—	49	—	
85	97	63	70	83	44	99	67	24	44	80	
9	—	—	11	18	17	5	1	75	7	20	
—	—	—	—	—	—	9	—	—	—	—	
—; 10	—; 52	—; 34	8; 38	—; 19	—; 26	—; 53	20; 24	—; 16	30; 23	—	
27; 2	—; 1;	—; 40; 1	—; 4	—; 64	—; 5	—; 26	—; 37; 2	—; 6	—; —	—; —	
—; 4	—	—; 9	5; 4	—; 17	—; 5	—; 1	—; 4	—; 73	2; —	20; —	
—; —	—	—; —	—; —	—; —	—; —	—; —	—; 1	—; —	—; —	—; —	
—; 19	—; 48	2; —	—; 7	—	—; 10	—; 14	—	—	—; 18	—	
21; 1	—; 1;	—; 11; 2	6; —	—	—; —	6; —	—	—; 1	—; —	—; —	
—	—	—	—; 4	—	—; —	—; 45	—	—; 1	—	—	
—	—	—	—; 8	—	—; —	3; 5	—	—; 1	—	—; 63	
—; 10	—; 6	—; 1	—; 1	—	—	—	—	—	—	—	
7; —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 8

Петрохимические группы и типы кимберлитовых пород	Поля кимберлитов алмазной субфации				Поля совместного развития субфаций		
	Малобогу- обинское	Мархино- Алакит- ское	Далын- ское	Верхне- мунское	Чокур- дахское	Омюнс- Улукит- ское	Охони- Сухан- ское
Петрохимические типы пород (см. рис. 50) с разбивкой по СД <sub>T1</sub> <sup>(5)</sup>	4	—; 1 —; —	—; 1 —; —	—; 1 —; —	34; — —; —	—; —	—; —
	4—7	—; 9 —; —	—; 10 —; —	—; 1 —; —	—; 1 —; —	12; — —; —	—; —
	5	—; —	6; 1 —; —	—; 9 —; —	—; —	—; —	—; —
	5—6	—; —	—; 1 —; —	—; 1 —; —	—; —	—; —	—; —
	6	—; —	—; 1 —; —	—; —	—; —	—; —	—; —
	6—7	—; —	1; 1 —; —	—; 1 —; —	—; —	—; —	—; —
	7—8	—; —	2; — —; —	—; —	—; —	—; —	—; —
	8	—; —	1; 1 —; —	—; 2 —; —	—; —	—; —	—; —

Примечание. Численные значения относительных количеств пород каждого единой схемы:  $\frac{<25: 25-62}{63-100; >100}$ .

дифференцированных пород занимают промежуточное положение между двумя названными выше группами полей.

Интерпретация помещенных в табл. 8 петрохимических данных на основе изложенных принципов позволяет оценить количество стадий и этапов вулканизма, а также наметить возможное число магматических очагов в 18 главнейших полях Центральносибирской кимберлитовой провинции. Результаты интерпретации приведены в табл. 9.

При анализе полученных результатов следует учитывать, что вследствие принятого в табл. 8 разделения однотипных пород на четыре группы по величине СД<sub>T1</sub><sup>(5)</sup> фактическое количество этапов кимберлитового вулканизма достигало приводимых в табл. 9 значений лишь в некоторых из перечисленных полей. Для повышения точности и надежности оценок по каждому полю группировку однотипных комплексов пород следует

типа с различными  $C_{Dj}^S$ , располагаются в соответствующих ячейках таблицы по

проводить с учетом их естественных граничных значений СД<sub>TI</sub><sup>(5)</sup>. При таком подходе устанавливается, что число подобных («естественных») комплексов среди пород одного петрохимического типа в каждом отдельно взятом поле, как правило, не превышает 2—3. Отсюда следует, что наиболее вероятное количество этапов кимберлитового вулканизма, принимаемое в первом приближении за величину  $N$  [см. формулу (14)], в большинстве полей несколько уступает цифрам, приведенным в табл. 9.

Допуская, что число фаз вулканизма примерно соответствует числу магматических очагов, проанализируем помещенные в табл. 9 цифровые характеристики, отражающие некоторые особенности формирования главнейших кимберлитовых полей Центральносибирской провинции. Поскольку четкость и надежность всякого рода статистических закономерностей в зна-

ТАБЛИЦА 9

Некоторые характеристики формирования главнейших полей  
Центральносибирской кимберлитовой провинции

Поле	Количество			Вероятное число магматических		
	изученных тел (Т)	внедрений (В)*	петро- химиче- ских типов (П)	стадий (С)	этапов (Э)**	фаз (объгов) (Н)***
Малоботубинское	8	11	5	4	5	6
Маркино-Алакитское	33	38	13	4	10	19
Далдынское	52	61	11	4	10	20
Верхнемунское	9	10	8	4	5	8
Чомурдахское	17	19	5	4	6	9
Омонас-Укуйтское	35	37	7	5	10	13
Омонас-Суханское	6	6	3	3	3	4
Лутаканскоe	23	26	4	3	6	8
Куранахское	10	15	2	2	5	4
Среднеекуонамское	36	40	4	4	11	8
Нижнеекуонамское	41	45	7	4	8	11
Моторчунское	3	5	2	2	3	3
Джюкенское	17	19	5	4	6	7
Нижнеукуйтское	8	8	3	2	4	5
Мерчилендское	19	22	6	4	9	10
Верхнемолодинское	13	13	6	3	8	8
Куйтско-Бееничимское	10	10	5	3	5	6
Орто-Быргахское	3	3	3	2	3	3

\* Количество внедрений приравняется равным общему числу кимберлитовых тел простого строения в сумме с числом генераций кимберлитовых пород в телах сложного строения [см. формулу (12)].

\*\* Вычленено при допущении, что все породы Центральносибирской провинции могут быть разделены на четыре комплекса по СД<sub>T1</sub><sup>(5)</sup>: <25; 25–62; 62–100; >100 (см. табл. 8).

чительной степени зависят от числа изученных объектов, представляется целесообразным принимать во внимание результаты, получаемые по кимберлитовым полям с числом изученных тел больше 15.

Таких полей девять, в том числе два поля кимберлитов алмазной субфации, пять совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций, одно поле кимберлитов пироповой субфации и одно поле пород пикритовой фации ультраосновного вулканизма (табл. 10). Количественные соотношения характеристик формирования этих полей свидетельствуют о том, что средние числа магматических этапов, трубок взрыва и даек, «внедрений» и петрохимических типов пород, приходящихся на одну стадию вулканизма, максимальны в полях кимберлитов алмазной субфации, последовательно убывают в полях смешанных и пироповой субфаций, опускаясь до минимума в пикритовых полях.

ТАБЛИЦА 10

Соотношения приведенных в табл. 9 характеристик формирования некоторых полей Центральносибирской кимберлитовой провинции

Фациональная принадлежность	Поле	$\frac{\mathcal{E}^*}{C}$	$\frac{N}{C}$	$\frac{T}{C}$	$\frac{B}{C}$	$\frac{\Pi}{C}$	$\frac{T}{3}$	$\frac{B}{3}$	$\frac{\Pi}{3}$	$\frac{N}{3}$	$\frac{T}{N}$	$\frac{B}{N}$	$\frac{\Pi}{N}$
Кимберлитовая фация Алмазная субфация	Далдынское Мархино-Алакитское	2,5 2,5	5,0 4,8	13,0 8,2	15,2 9,5	2,8 3,2	5,2 3,3	6,1 3,8	1,1 1,3	2,0 1,9	2,6 1,7	3,0 2,0	0,6 0,7
Среднее		2,5	4,9	10,6	12,4	3,0	4,2	5,0	1,2	2,0	2,2	2,5	0,6
Совместно алмазная и пироповая субфации	Чомурдахское Омнос-Укукитское Лучаканское Среднекуонамское Нижнекуонамское	2,0 2,0 2,0 2,8 2,0	2,2 2,6 2,7 2,0 2,8	4,2 7,0 7,7 8,0 10,2	4,8 7,4 8,7 8,8 11,2	1,2 1,4 1,3 1,0 1,8	2,1 3,5 3,8 3,3 5,1	2,4 3,7 4,3 3,6 5,6	0,6 0,7 0,7 0,4 0,9	1,1 1,3 1,3 0,4 0,9	1,9 2,7 2,9 0,7 1,4	2,1 2,8 3,2 4,5 3,7	0,6 0,5 0,5 0,5 0,6
Среднее		2,2	2,5	7,4	8,2	1,3	3,6	3,9	0,7	1,2	3,1	3,4	0,5
Пироповая субфация	Мерчимденское	2,2	2,5	4,8	5,5	1,5	2,1	2,4	0,7	1,1	1,9	2,2	0,6
Пикротовая фация	Джюкенское	1,5	1,8	4,2	4,8	1,2	2,8	3,2	0,8	1,2	2,4	2,7	0,7
Среднее по всем полям провинции		2,0	2,5	5,6	6,4	1,6	2,9	3,3	0,8	1,3	2,2	2,6	0,6

\* Расшифровка буквенных обозначений приведена в табл. 9.

Отношение соответствующих характеристик к числу этапов вулканизма в каждом отдельно взятом поле также неуклонно убывает от полей развития кимберлитов алмазной до пироповой субфации, а в пикритовых полях опять поднимается и даже несколько превышает аналогичные показатели в кимберлитовых полях пироповой субфации.

Связывая формирование каждого однотипного комплекса пород в пределах одного поля с самостоятельным магматическим очагом и учитывая существенные различия объема отдельных комплексов, можно определить наиболее «продуктивные» очаги как по фациальным группам пород в целом, так и в пределах отдельных полей. Проанализировав под таким углом зрения данные, содержащиеся в табл. 8, получим, что наиболее продуктивные очаги в полях совместного развития кимберлитов алмазной и пироповой субфаций генерировали умеренно и повышенно дифференцированные расплавы лишь первого петрохимического типа.

В полях развития кимберлитов «чисто» алмазной субфации самыми продуктивными магматическими очагами «поставлялись» слабо дифференцированные расплавы, относящиеся к двум петрохимическим типам: 1—2 (Малоботуобинское, Мархино-Алакитское и Далдынское поля) и 4 (Верхнемунское поле).

Из четырех полей развития кимберлитов пироповой субфации в трех наиболее продуктивные очаги генерировали слабо, умеренно и повышенно дифференцированные расплавы петрохимического типа 1. В четвертом (Верхнемолодинском) поле самый продуктивный очаг явился источником умеренно дифференцированных расплавов промежуточного типа 1—2.

Наиболее продуктивные очаги в двух пикритовых полях генерировали умеренно дифференцированные расплавы, относящиеся к различным петрохимическим типам: 1—5 (Джюкенское) и 2 (Орто-Брыгахское).

Для воссоздания общей последовательности проявления ультраосновного вулканизма как на отдельных участках, так и на всей площади каждого отдельно взятого поля большую помощь могут оказать тренды показателей контрастности (КД) и степени дифференциации (СД) кимберлитовых расплавов. Вопросы о связи петрохимических особенностей и относительного возраста кимберлитов рассмотрены в предыдущей главе. Напомним лишь, что возрастание КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup> происходит в последовательном ряду кимберлитов от ранних к поздним, что позволяет расчленить всю эпоху формирования изучаемого поля на стадии. По величине СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup> каждая стадия расчленяется на этапы. Поскольку породы, возникшие на заключительном этапе ранней стадии, в общем случае обладают большим значением СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup>, чем породы начального этапа поздней стадии, поскольку

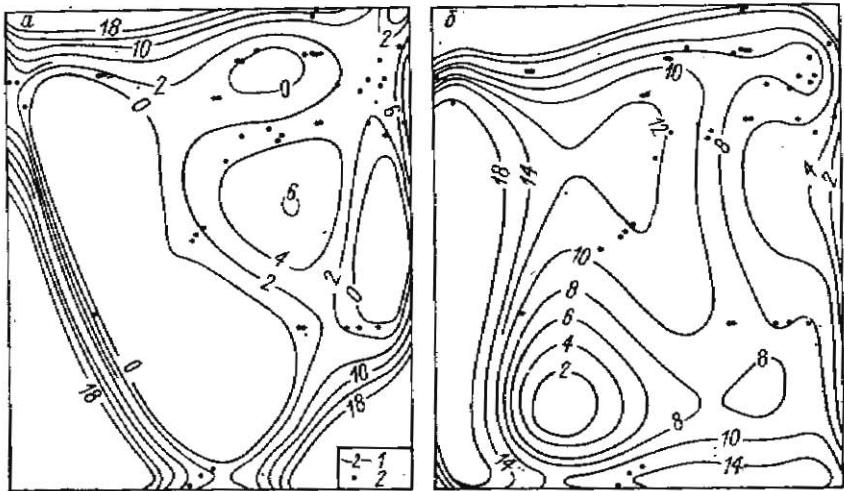


Рис. 56. Неполиномиальные поверхности трендов показателей контрастности (а) и степени дифференциации (б) расплавов, сформировавших породы одного из центральных кимберлитовых полей Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%.

1 — изолинии показателей  $KDT_1^{(5)}$  и  $CDT_1^{(5)}$  (в относительных единицах); 2 — кимберлитовые тела.

принципиальная последовательность формирования (временная развертка) любого поля, как правило, может быть получена при тренд-анализе лишь показателей  $KDT_1^{Fe}$  и  $KDT_1^{(5)}$ .

Хорошой иллюстрацией изложенного могут служить приведенные на рис. 56—58 поверхности трендов  $KDT_1^{(5)}$  и  $CDT_1^{(5)}$  для трех эталонных полей. Даже при беглом взгляде на них легко заметить значительно большую упорядоченность распределения  $KDT_1^{(5)}$  по сравнению с  $CDT_1^{(5)}$ . Главной, общей для всех этих полей тенденцией площадного распределения  $KDT_1^{(5)}$  являются малые значения данного показателя в средней части и возрастание его к периферии каждого поля. При этом в одних случаях  $KDT_1^{(5)}$  возрастает от средней части поля во все или почти во все стороны (см. рис. 56 и 57), а в других — лишь в две стороны (см. рис. 58). Применительно к первому случаю можно говорить о временной структуре (зональности) поля центрального типа, а во втором — о временной структуре линейного типа. Считая полученные тренды разверткой процесса формирования кимберлитовых полей во времени, следует заключить, что в полях центрального типа вулканизм начинался преимущественно в средней части, распространялся во все стороны и затухал на периферии. В полях, временная структура которых может быть отнесена к линейному типу, кимберлитовый

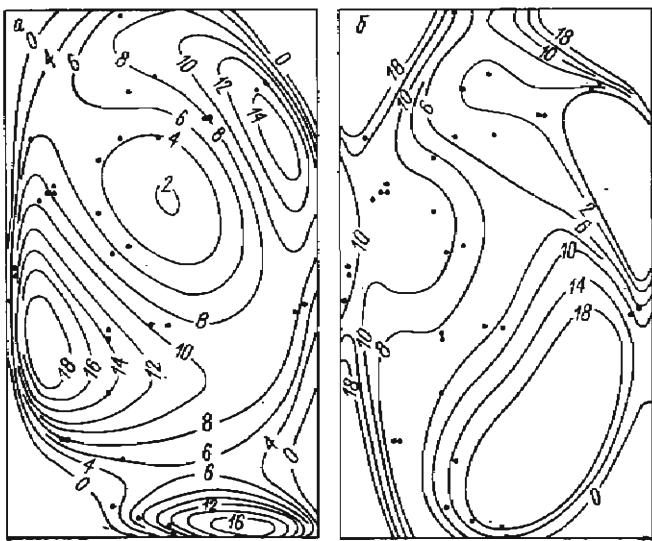


Рис. 57. Неполиномиальные поверхности трендов показателей контрастности (а) и степени дифференциации (б) расплавов, сформировавших породы одного из кимберлитовых полей, расположенных на северо-востоке Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%.

Усл. обозначения см. на рис. 56.

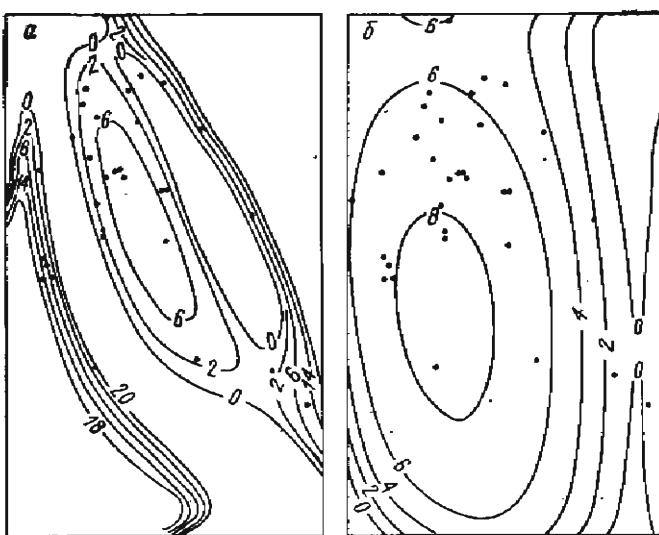


Рис. 58. Неполиномиальные поверхности трендов показателей контрастности (а) и степени дифференциации (б) расплавов, сформировавших породы второго кимберлитового поля, расположенного на северо-востоке Сибирской платформы к югу от предыдущего. Достоверность тренда 25%.

Усл. обозначения см. на рис. 56.

вулканизм начинался главным образом в узкой линейной зоне, проходящей через все поле, и распространялся в обе стороны от нее к противоположным границам его.

Не столь отчетливые и не общие, а индивидуальные тенденции могут проявляться в пространственном распределении СД<sub>T</sub><sup>(5)</sup>, которое не коррелируется с трендом КД<sub>T</sub><sup>(5)</sup>. Так, если в одном из трех детально изученных полей значения СД<sub>T</sub><sup>(5)</sup> уменьшаются от середины к периферии его (см. рис. 58), то в другом оно, наоборот, возрастают в том же направлении (см. рис. 57), а в третьем поверхность тренда рассматриваемого показателя имеет четко выраженную тенденцию подъема к западу и юго-востоку при минимальных значениях на северо-востоке и юго-западе площади (см. рис. 56).

## РЕЖИМ ВНУТРИКОРОВОЙ ЭВОЛЮЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ МАГМ

Прорыв кимберлитовых магм из пород верхней мантии в ослабленные зоны земной коры и подъем к дневной поверхности характеризовали собой новый, качественно отличающийся от подкорового период эволюции, с существенно другими механизмом движения, типом дифференциации, энергетическим балансом и термодинамическими параметрами расплава.

Вследствие избыточного давления у кимберлитовых магм в подкоровый период по сравнению с общим гидростатическим давлением на соответствующих глубинах движение их на последнем отрезке пути к ослабленным зонам носило эруптивный характер. Мощность (толщина) прорывавшихся толщ зависела от разности между давлением магмы и давлением в ослабленной зоне, механических свойств окружающих пород и т. п. Значение  $\Delta p$  составляло, по-видимому, от нескольких тысяч до 20 000—25 000 кгс/см<sup>2</sup>.

Внедрение в ослабленные зоны сопровождалось снижением не только давления, но и температуры кимберлитовой магмы.  $\Delta T$  определялось главным образом разностью между температурой магмы и температурой слагающих тектоническую зону пород, теплофизическими свойствами этих пород и зависела, хотя и в меньшей мере, от  $\Delta p$ . Вероятные значения  $\Delta T$  ограничивались, по-видимому, 200—400°С [37].

Подъем кимберлитовых расплавов по тектоническим зонам в земной коре существенно отличался от радиального перемещения их среди пород верхней мантии не только механизмом, но и как следствие этого — энергетикой процесса и балансом вещества. Если при движении по механизму зонной плавки объем магмы и запасы ее тепловой энергии росли, то в процессе подъема расплава по глубинным разломам объем его (в сумме с порфировыми вкрапленниками) оставался постоянным

или даже несколько сокращался, а запасы тепла неуклонно убывали.

Изменения термодинамического режима и химического баланса эволюции кимберлитовых расплавов на внутрикоровом периоде неизбежно отражались на качественном составе вновь кристаллизовавшихся минералов.

Кимберлитовые расплавы, обладавшие высокой температурой и значительным содержанием летучих компонентов, по всей вероятности, взаимодействовали с резко отличающимися по химическому составу породами земной коры. Наиболее вероятным механизмом взаимодействия следует считать диффузионный обмен, при котором магма теряла главным образом магний и ассимилировала кальций, натрий и, возможно, кремний. Однако в силу диффузионного характера реакции обмена протекали почти исключительно на контакте расплава с окружающими породами, вследствие чего резко ограничивались масштабы процесса привнос-вынос и, несмотря на значительную протяженность пути к земной поверхности, общая масса участвовавших в реакции веществ была относительно невелика.

В процессе внутрикоровой эволюции кимберлитовых магм, включавшем плутонический и гипабиссальный этапы интрузивной стадии, кристаллизовался почти исключительно оливин с резко подчиненным количеством ильменита и флогопита, а в некоторых случаях — еще клинопироксен, хромшпинелиды и, возможно, циркон.

При обсуждении вопросов термодинамики образования кимберлитов была показана принципиальная возможность определения относительной степени изменчивости термодинамического режима на плутоническом и гипабиссальном этапах по содержанию порфировых вкрапленников оливина II и III, а также даны формулы для приближенных оценок относительной проницаемости земной коры по содержанию оливина в кимберлитах и площади диатрем [см. формулы (4), (5), (6)].

Такой подход к изучению каждого отдельно взятого поля открывает путь для выявления главнейших особенностей внутрикоровой эволюции расплавов: 1) сформировавших отдельные петрохимические типы и группы пород на территории как всего поля, так и отдельных участков его; 2) генерированных различными магматическими очагами; 3) извергавшихся на протяжении последовательных стадий и этапов магматизма.

С этой целью по средним содержаниям оливина II и III и размерам диатрем вычисляют  $v$ ,  $v_{\text{п}}$  и  $v_{\text{г}}$  для всех присутствующих в поле петрохимических групп (по КД<sub>Ti</sub><sup>Fe</sup>) и однотипных комплексов пород, близких по СД<sub>Ti</sub><sup>(5)</sup>. Результаты таких вычислений по четырем полям Центральносибирской провинции приведены в табл. 11.

Итоги вычислений позволяют сделать определенные выводы, имеющие важное значение для дальнейших построений. Нельзя не обратить внимание на то, что, несмотря на существенную изменчивость  $v$ ,  $v_p$  и  $v_r$ , у разных петрохимических групп и однотипных комплексов кимберлитов в пределах отдельно взятого поля эти колебания не являются общими для таких пород даже в двух смежных полях, формирование которых протекало в близких фациальных условиях.

Различия в химическом составе даже крайних разновидностей кимберлитов очень невелики и поэтому не могли явиться причиной наблюдаемых разбросов содержания порфировых вкраплеников оливина в этих породах. В связи с этим отсутствие закономерной связи между вычисленными по количеству оливина  $v$ ,  $v_p$ ,  $v_r$ , с одной стороны, и петрохимическими особенностями пород, с другой стороны, представляется вполне естественным.

С учетом изложенного колебания  $v$ ,  $v_p$  и  $v_r$  у идентичных пород в разных полях, по нашему мнению, наиболее логично интерпретировать как следствие изменчивой проницаемости земной коры (и тектонического режима) на соответствующих участках территории в период внутрикоровой эволюции и подъема соответствующих порций кимберлитовых расплавов.

Признавая различную проницаемость земной коры в качестве главной причины изменчивого содержания оливина в кимберлитах, следует заключить, что по результатам петрографического изучения этих пород можно оценивать осредненную проницаемость коры на больших и малых глубинах в пределах территории как всего кимберлитового поля, так и участков развития отдельных групп и одиночных диатрем.

Следует отметить, что визуальный анализ цифровых данных не только по каждой трубке и дайке в отдельности, но даже осредненных значений  $v_p$  и  $v_r$  по компактным группам кимберлитовых тел и обособленным диатремам малоэффективен. При значительном числе тел, неравномерном распределении их в пространстве и существенных вариациях обоих показателей закономерности изменения их в пределах изучаемых полей, как правило, установить не удается.

Для выявления обобщенных тенденций площадного распределения  $v_p$  и  $v_r$  в пределах отдельно взятого поля или нескольких смежных полей целесообразно применять тренд-анализ. Однако совершенно очевидно, что получаемая в итоге целостная картина достигается за счет нивелировки узколокальных особенностей. Отчетливые закономерности выявляются в итоге уже сравнительно небольшой генерализации фактических данных — при достоверности тренда лишь 25% (рис. 59 и 60). В ходе дальнейшей генерализации, например, при достоверности тренда 50, 75 или 100% выявляются более общие тенденции,

ТАБЛИЦА 11

**Общие и частные коэффициенты относительной проницаемости земной коры провинции**

Петрохимические группы и типы кимберлитовых пород	Поля кимберлитов алмазной субфации					
	Маркино-Алакитское			Далдынское		
	v	v <sub>п</sub>	v <sub>г</sub>	v	v <sub>п</sub>	
Петрохимические группы пород, выделяемые по относительному значению КД <sub>Fe</sub>	+100 + 51 + 50 + 11 + 10 - 10 - 11 - 50 - 51 -100	- - 4,12 4,62 5,76 5,28	- - 2,38 2,81 3,72 4,23	- - 1,74 1,81 2,04 1,05	6,18 6,73 6,06 6,62 8,16	4,81 5,51 5,18 5,19 5,44
Петрохимические типы пород с разбивкой на комплексы по СД <sub>Fe</sub>	1	-; 5,79 8,10	-; 4,27 6,74	-; 1,52 1,36	10,00; 7,15 5,46	8,75; 6,08 4,09
	1-2	4,61; - -	2,68; - -	1,93; - -	6,12; 6,10 -	4,83; 5,29 -
	1-3	6,94; - -	5,75; - -	1,19; - -	-; - 6,18	-; - 4,81
	1-5	-	-	-	-	-
	2	5,89; - -	3,59; - -	2,30; - -	8,90; 6,24 -	6,89; 4,73 -
	2-6	-; 3,95 8,87	-; 2,68 5,16	-; 1,27 3,71	5,53; 5,43 -	4,59; 3,37 -
	2-8	-	-	-	4,88; - -	3,56; - -
	3	4,49; 7,04 -	2,56; 4,65 -	1,93; 2,39 -	5,71; - -	4,53; - -
	3-8	10,98; - -	8,71; - -	2,27; - -	61,82; 11,57 -	60,59; 10,13 -
	4	-; - 11,25	-; - 8,35	-; - 2,90	6,10; - -	4,49; - -

для кимберлитовых расплавов в некоторых полях Центральносибирской

Поля кимберлитов алмазной и пироповой субфаций							
Среднекуонамское				Нижнекуонамское			
$\gamma_g$	$\gamma$	$\gamma_p$	$\gamma_r$	$\gamma$	$\gamma_p$	$\gamma_r$	
1,37	18,3	15,8	2,5	12,0	6,7	5,3	
1,22	9,4	6,9	2,5	12,4	10,3	2,1	
0,88	11,8	9,2	2,6	9,4	6,3	3,1	
1,43	—	—	—	10,8	8,8	2,0	
2,72	—	—	—	—	—	—	
<u>1,25; 1,07</u>	<u>6,4; 10,5</u>	<u>3,5; 8,5</u>	<u>2,9; 2,0</u>	<u>8,9; 13,3</u>	<u>6,8; 11,1</u>	<u>2,0; 2,2</u>	
<u>1,37</u>	<u>11,8</u>	<u>10,0</u>	<u>1,8</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>1,29; 0,81</u>	<u>—; 10,1</u>	<u>—; 7,5</u>	<u>—; 2,6</u>	<u>11,0; 8,1</u>	<u>7,9; 5,6</u>	<u>3,1; 2,5</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—; —</u>	<u>—; 5,4</u>	<u>—; 3,4</u>	<u>—; 2,0</u>	<u>13,0; 11,9</u>	<u>10,8; 9,8</u>	<u>2,2; 2,1</u>	
<u>1,37</u>	<u>10,5</u>	<u>7,9</u>	<u>2,6</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—</u>	<u>12,1; —</u>	<u>8,0; —</u>	<u>4,1; —</u>	<u>14,4; 55,6</u>	<u>11,8; 53,6</u>	<u>2,6; 2,0</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>2,01; 1,53</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>10,2; —</u>	<u>7,2; —</u>	<u>3,0; —</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>0,94; 2,06</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>1,32; —</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>1,18; —</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>28,4; 15,4</u>	<u>25,1; 13,7</u>	<u>3,3; 1,7</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>12,3; 1,44</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>1,61; —</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	
<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	<u>—</u>	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 11.

Петрохимические группы и типы кимберлитовых пород	Поля кимберлитов алмазной субфации					
	Мархино-Алакитское			Далдинское		
	$v$	$v_p$	$v_r$	$v$	$v_p$	
Петрохимические типы пород с разбивкой на комплексы по СД <sup>(5)</sup>	5	3,23; — —	1,66; — —	1,57; — —	—	—
	5—6	4,62; — —	3,73; — —	0,89; — —	4,19; 10,55 —	3,22; 9,60 —
	6—7	4,98; — —	2,42; — —	2,56; — —	—	—
	7—8	5,28; — —	4,23; — —	1,05; — —	—	—
	8	7,80; — —	6,43; — —	1,37; — —	—; 8,78 —	—; 6,96 —
	Среднее	4,66	2,87	1,79	6,32	5,20

Примечание: 1. Коэффициенты относительной проницаемости коры:  $v$  — общий,  $v_p$  — для верхних горизонтов коры, где протекал гипабиссаль.  
 2. Численные значения  $v$ ,  $v_p$  и  $v_r$  — для расплавов, соответствующие графам таблицы по схемам для полей: Мархино-

но маскируются и утрачиваются многие важные детали внутреннего строения кимберлитовых полей.

Поверхность тренда у показателя проницаемости земной коры на плутоническом этапе эволюции кимберлитовой магмы  $v_p$  свидетельствует о наличии одного — двух изометричных или несколько вытянутых в плане участков повышенной проницаемости в каждом из хорошо изученных полей.

Существенно иной характер имеет поверхность тренда у показателя проницаемости коры на гипабиссальном этапе эволюции кимберлитовых магм. Результаты тренд-анализа  $v_r$  свидетельствуют о наличии трех—пяти обычно сильно вытянутых в плане участков повышенной проницаемости в приповерхностных горизонтах каждого кимберлитового поля.

Следует подчеркнуть, что различны не только поверхности трендов  $v_p$  и  $v_r$ , но и общая конфигурация их в плане. Так, если общая конфигурация тренда  $v_p$  по изолинии минимальных положительных значений достаточно компактна или даже близка к изометричной, то для аналогичных срезов тренда  $v_r$  характерны извилистые очертания, а нередки и внутриконтурные «окна» нулевых значений его.

Таким образом, результаты тренд-анализа  $v_p$  и  $v_r$  в каждом отдельно взятом кимберлитовом поле позволяют заклю-

## Поля кимберлитов алмазной и пироповой субфаций

		Среднекуонамское			Нижнекуонамское		
$v_T$	$v$	$v_p$	$v_T$	$v$	$v_p$	$v_T$	
—	—	—	—	—	—	—	—
<u>0,97; 0,95</u>	—	—	—	<u>6,4; —</u>	<u>4,4; —</u>	<u>2,0; —</u>	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
<u>—; 1,82</u>	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
1,12	11,7	9,2	2,5	11,7	9,3	2,4	

ший,  $v_H$  — для нижних и средних горизонтов коры, где протекал плутонический этап; ный этап интрузивной стадии.

вавших однотипные комплексы пород, отличающихся по СД<sub>T1</sub><sup>(5)</sup>, располагаются в соот-  
Алакитского и Далдынского —  $\frac{<30: 30-55}{>55}$ . Нижне- и Среднекуонамского —  $\frac{<47: 47-90}{>90}$ .

чить, что путями проникновения расплавов на плутоническом этапе, т. е. на глубине первых десятков километров, являлись один—два изометричных или вытянутых в плане участка (зоны) повышенной проницаемости, а на гипабиссальном этапе, протекавшем на глубине первых километров, — несколько связанных или разобщенных в пространстве сравнительно небольших по площади зон проницаемости. Отсюда можно заключить о разветвлении зон повышенной проницаемости по мере приближения к земной поверхности. Этот вывод вполне согласуется с представлениями других исследователей, изучавших соотношение глубинных и приповерхностных разрывных нарушений [59 и др.]. Примечательно, что в районах блокового строения земной коры изолинии минимальных положительных значений  $v_T$  оконтуривают территорию, которая по очертаниям и размерам площади весьма сходна с участками, отличающимися от окружающих площадей по характеру и структурному рисунку мегатрециноватости, а также по распространенности кимберлитов (см. рис. 24, 59 и 60).

Совпадение очертаний и размеров у площадей, оконтуриваемых по тренду  $v_T$  и рисунку мегатрециноватости, трудно объяснить случайностью. Более того, фактор случайности в данном случае привлекать вообще нет необходимости, поскольку

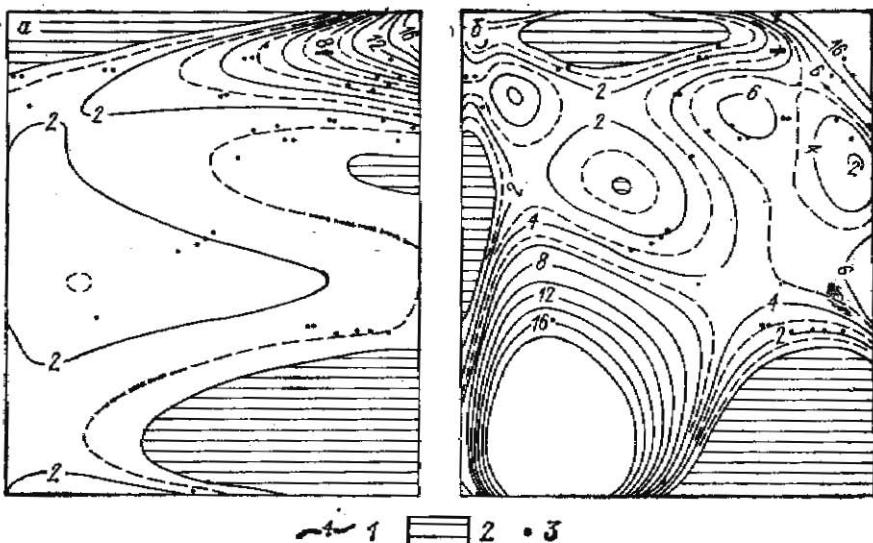


Рис. 59. Неполиномиальные поверхности трендов показателей проницаемости на глубоких (а) и приповерхностных (б) горизонтах земной коры для территории одного из центральных кимберлитовых полей Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%.

1 — изолинии показателей проницаемости (в относительных единицах); 2 — участки нулевых значений  $v_p$  и  $v_f$ ; 3 — кимберлитовые тела.

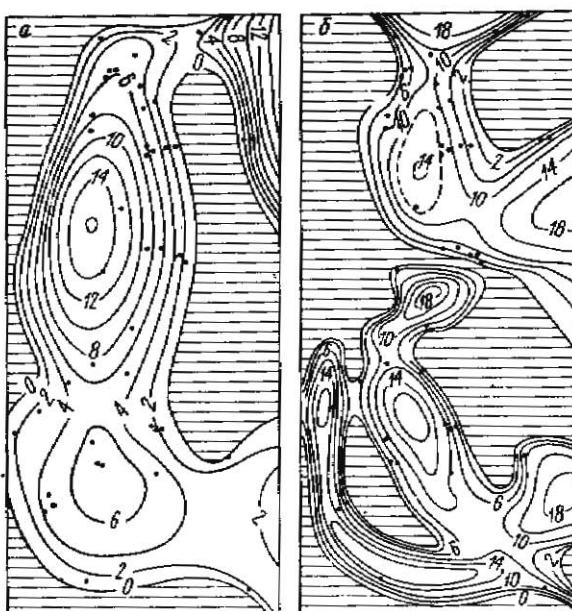


Рис. 60. Неполиномиальные поверхности трендов показателей проницаемости на глубоких (а) и приповерхностных (б) горизонтах земной коры для территории двух кимберлитовых полей, расположенных на северо-востоке Сибирской платформы. Достоверность тренда 25%.

Усл. обозначения см. на рис. 59.

поверхность тренда  $v_g$  в опосредованном виде отражает некоторые специфические особенности тектонической трещиноватости гипабиссальных горизонтов земной коры на территории соответствующих кимберлитовых полей. Отсюда следует, что результаты тренд-анализа  $v_g$  и исследования структурного рисунка тектонической трещиноватости в значительной мере дополняют, а при совпадении и подтверждают друг друга. Последнее особенно важно для взаимоконтроля, поскольку оба метода базируются на совершенно различных фактических данных.

Необходимо остановиться еще на одном весьма важном обстоятельстве. Различия проницаемости земной коры для кимберлитовых расплавов на тех или иных участках территории обусловлены изменчивостью густоты, выдержанности по вертикали и материала разрывных нарушений, а также степени раскрытия или сжатия их в отдельные этапы кимберлитового магматизма. Отсюда следует, что говорить о средней проницаемости земной коры в масштабах целого поля или группы кимберлитовых тел можно лишь при самых общих построениях. При детальных работах оценки проницаемости следует проводить применительно к отдельным этапам магматизма, связанного с конкретными ослабленными зонами в пределах изучаемого кимберлитового поля.

Такие исследования неразрывно связаны с изучением рудо-контролирующих дислокаций и пространственного распределения трубок взрыва, даек и силлов кимберлитов.

### **РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ДИСЛОКАЦИИ, РАЗМЕЩЕНИЕ И РАЗМЕРЫ ДИАТРЕМ**

При обсуждении локальных факторов размещения кимберлитов было показано, что пликативные дислокации всех типов и масштабов не оказывают заметного влияния на пространственное распределение в целом, а также и на локализацию диатрем. Главенствующая роль разрывных нарушений в деле размещения и локализации кимберлитовых тел общепризнана. Фактические данные по этому вопросу и их анализ приведены ранее.

Слабая обнаженность практически всех алмазоносных районов создает неодолимые трудности для непосредственного получения достаточно детальных и равномерно распределенных по площади данных о местах локализации, плотности и ориентировке разрывных нарушений. Возможные методы получения таких сведений по результатам комплексного изучения гидросети, позволяющих проводить среднемасштабное районирование кимберлитовых полей и прилегающих территорий с выделением участков, отличающихся плотностью, ориентировкой и структурным рисунком мегатрещиноватости, изложены на с. 53—80.

К числу косвенных методов изучения структуры рамы в кимберлитовых полях относятся также методы, основанные на результатах комплексного геолого-петрологического изучения кимберлитовых тел. Эти методы в отличие от вышеупомянутых применимы для детальных исследований с разрешающей способностью до рудолокализующих и рудовмещающих дислокаций включительно. Остановимся на этих вопросах подробнее.

Отчетливые тенденции размещения определенной части трубок и даек в виде линейных групп устанавливаются практически во всех кимберлитовых полях. Несомненная связь линейных групп диатрем с разломами земной коры подчеркивается всеми исследователями, хотя полевые наблюдения кимберлитолокализующих нарушений единичны.

Кимберлитовые поля, в пределах которых все тела или большая часть их располагаются в виде четких, исключающих множественность интерпретации линейных групп, достаточно редки. В большинстве случаев четко выраженные линейные группы («цепочки») объединяют незначительное число трубок и даек. Предполагается, что остальные тела в таких полях приурочены к сколовым трещинам или вообще не имеют связи с разрывными нарушениями, контролирующими размещение линейных групп.

Поскольку структурный контроль не входящих в «цепочки» кимберлитовых тел всегда в той или иной мере является дискуссионным, поскольку при анализе распределения трубок и даек в пределах любого поля может быть полезной следующая несложная методика количественного учета и отображения пространственных связей между телами. Суть ее заключается в том, что, визуально наметив в изучаемом поле все прямолинейные комбинации из четырех и более тел, соединяют их прямыми линиями, графические особенности которых отражают определенные количественные характеристики.

Среди последних наименее субъективными должны быть признаны число и площадь тел в расчете на единицу длины предполагаемых рудоконтролирующих нарушений. Оба эти показателя в известной мере взаимосвязаны, но связь не носит строго пропорционального характера, так как размеры кимберлитовых тел даже в одном поле варьируют в широких пределах (с. 21—23). Поскольку минимальные трубы взрыва почти во всех полях примерно равны между собой, то соотношения вышеназванных показателей наиболее изменчивы в полях с повышенными средними и максимальными размерами трубок взрыва (рис. 61 и 62). Без каких-либо измерений уже при визуальном просмотре легко заметить, что угол между осью  $n/l$  и примыкающей к ней линией, ограничивающей рой фигуративных точек, почти одинаков ( $15\text{--}20^\circ$ ) на обеих диаграммах. И, наоборот, угол между осью  $S/l$  и примыкающей к ней ограничи-

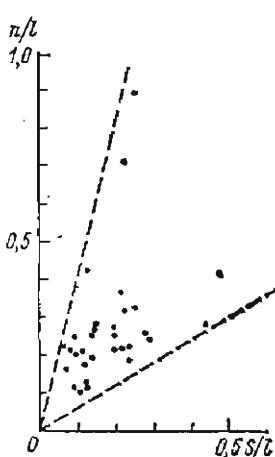


Рис. 61. Соотношение показателей числа ( $n$ ) и площади ( $S$ ) кимберлитовых тел в расчете на 1 км длины ( $l$ ) предполагаемых рудоконтролирующих нарушений в одном из районов северо-восточной части Сибирской платформы.

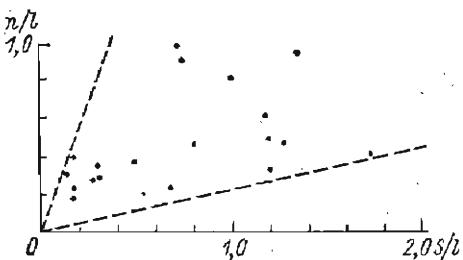


Рис. 62. Соотношение показателей числа ( $n$ ) и площади кимберлитовых тел в расчете на 1 км длины ( $l$ ) предполагаемых рудоконтролирующих нарушений в одном из центральных районов Сибирской платформы.

тельной линии ряда точек убывает от  $30^\circ$  на рис. 61 до  $10^\circ$  на рис. 62.

Если допустить, что для решения поставленной задачи знаячимость каждого из названных показателей примерно одинакова, то их произведение, отражающее в одной цифре итог любой изменчивости каждого из них по отдельности и обоих вместе, может быть названо «показателем насыщенности кимберлитами» установленных и предполагаемых рудоконтролирующих нарушений. Обозначив специальными знаками градации насыщенности кимберлитами разрывных нарушений, получим возможность графического изображения и анализа пространственного размещения тектонических дислокаций, отличающихся по этому очень важному для расшифровки внутреннего строения кимберлитовых полей признаком.

Принимая во внимание прямо пропорциональную зависимость размеров диатрем от давления кимберлитовой магмы, являющегося одним из двух главнейших факторов алмазоносности [31], а также очевидную предпочтительность месторождений с большими запасами, следует заключить, что наибольший интерес представляют крупные диатремы и локализующие их структуры. Если так, то на схеме предполагаемых кимберлито-локализующих разрывов изучаемого поля необходимо особыми знаками показать местонахождение различных по размеру трубок взрыва.

На рис. 63 приведена такая схема для одного из центральных, а на рис. 64 — для периферийных полей Центральносибирской кимберлитовой провинции. Анализ подобных схем должен включать рассмотрение нескольких вопросов, важнейшими из которых согласно вышеизложенному следует назвать простран-

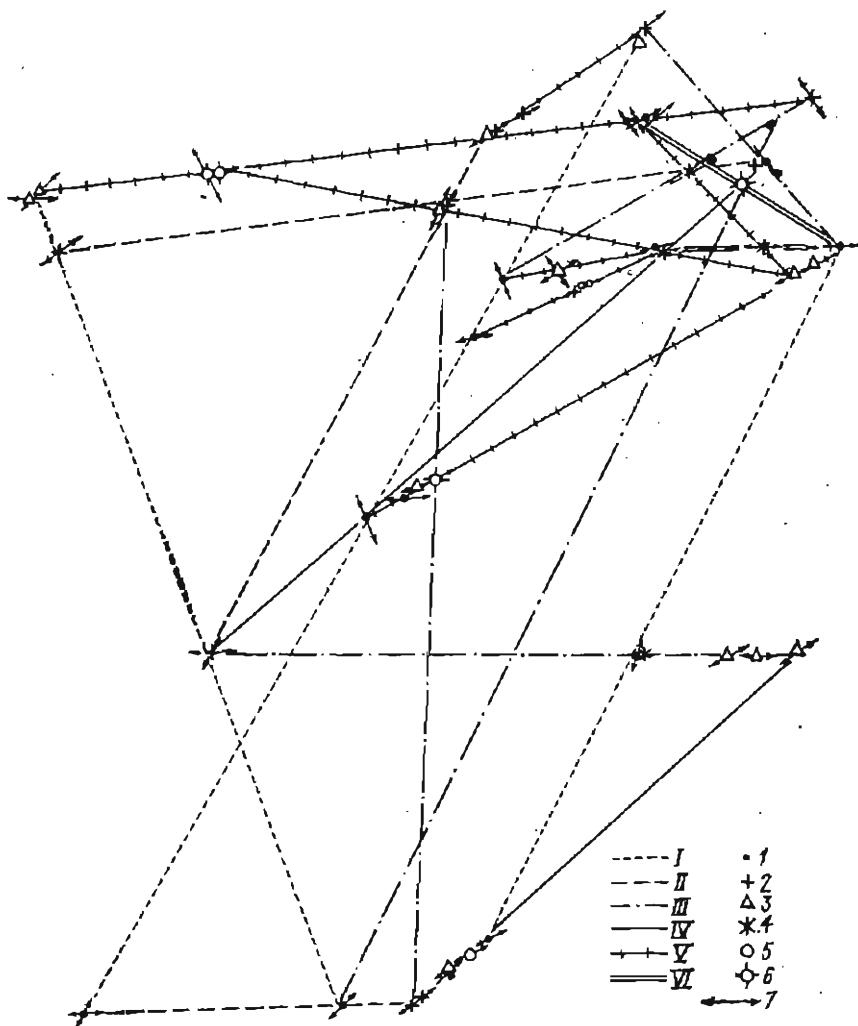


Рис. 63. Схема предполагаемых рудоконтролирующих нарушений, «насыщенности» их кимберлитами, размещения, размеров диатрем и ориентировки длинных (в плане) осей последних в одном из районов Сибирской платформы.

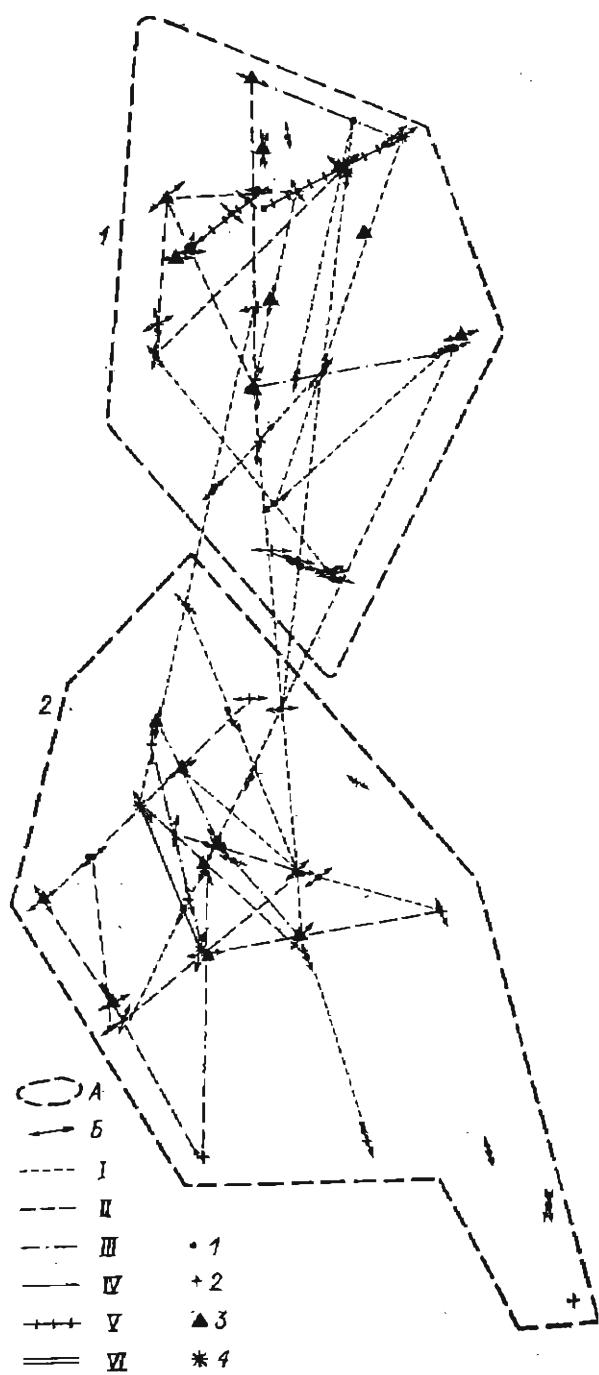
Показатель «кимберлитонасыщенности» дислокаций: I — 0,01—0,04; II — 0,04—0,10; III — 0,10—0,25; IV — 0,25—0,50; V — 0,5—1,0; VI — 1—2. Площадь диатрем в плане (условные единицы): 1 — <0,5; 2 — 0,5—1,0; 3 — 1—2; 4 — 2—5; 5 — 5—10; 6 — >10; 7 — простиранние длинных осей кимберлитовых трубок и даек.

ственное размещение различных по размеру диатрем и структурный контроль кимберлитовых тел.

Вопросу о пространственном размещении различных по размеру трубок взрыва в кимберлитовых полях посвящены недавно опубликованные работы геологов ЦНИГРИ [73, 74]. Соглас-

Рис. 64. Схема предполагаемых рудоконтролирующих нарушений, «насыщенных» их кимберлитами, а также размещения, размеров диатрем и ориентировки длинных (в плане) осей последних в двух полях (1, 2) Сибирской платформы.

*A* — границы кимберлитовых полей; *B* — простирания длинных осей трубок и даек. Показатели «кимберлитонасыщенности» дислокаций: I — 0,01—0,03; II — 0,03—0,06; III — 0,06—0,10; IV — 0,10—0,15; V — 0,15—0,20; VI — >0,20. Площадь диатрем в плане (условные единицы): 1 — <0,5; 2 — 0,5—1,0; 3 — 1—2; 4 — 2—5.



но их мнениям, каждое отдельно взятое кимберлитовое поле представляет собой структуру центрального типа с единственным центром «вулканического давления». Поле включает одну главную или центральную трубку (реже две такие трубы) и серию побочных «сателлитных» трубок меньшего размера, окружающих главную трубку — центральный канал. Центральные — это, по мнению авторов, во всех случаях наиболее крупные изометричные, относительно долгоживущие, многофазные трубы, сложенные несколькими генерациями кимберлитовых пород. Им свойственна особая морфология канала — протяженного, постепенно суживающегося и сохраняющего изометрическую форму с глубиной. Центральные трубы обладают повышенной алмазоносностью и зачастую являются промышленными месторождениями алмазов. «Сателлитные» трубы в масштабах поля отличаются более пестрым составом кимберлитов, хотя каждая из них в отдельности сложена лишь одной или двумя генерациями пород. Эти трубы быстро выклиниваются и переходят в дайку. Они, как правило, низкоалмазоносные или вообще безрудные.

Предложенная схема внутреннего строения кимберлитового поля (в центре — крупная высокоалмазоносная трубка, а вокруг нее — мелкие бедные и пустые диатремы) подкупает стройностью и удивительной простотой, но, к сожалению, весьма далека от действительности. Концентрического расположения различных по размеру диатрем в пределах наиболее изученных полей Якутии не устанавливается ни визуально (см. рис. 63 и 64), ни в итоге тренд-анализа (рис. 65 и 66).

Внутреннее строение не только ни одного из вышеупомянутых полей Центральносибирской провинции, но и других полей этой, а также всех других кимберлитовых провинций ми-

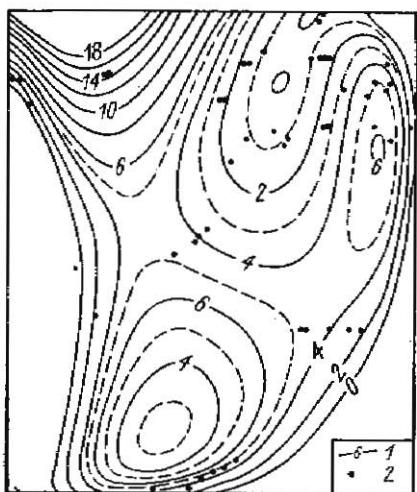


Рис. 66. Неполиномиальная поверхность тренда размеров (площади) в плане трубок взрыва в пределах кимберлитового поля, схема которого приведена на рис. 63. Достоверность тренда 25%.

1 — изолинии размеров диатрем (в относительных единицах); 2 — кимберлитовые трубы.

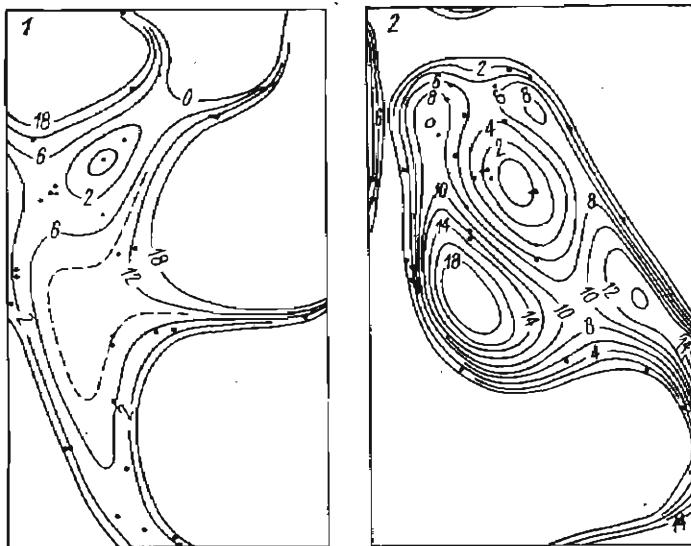


Рис. 66. Неполиномиальные поверхности трендов размеров (площади) в пла-не трубок взрыва в пределах кимберлитовых полей (1, 2), схемы которых приведены на рис. 64. Достоверность тренда 25%.

Усл. обозначения см. на рис. 65.

ра даже в первом приближении не может быть аппроксимировано такой идеализированной схемой. Примечательно, что расхождения касаются всех главнейших постулатов: 1) в любом достаточно изученном поле наблюдаются постепенные переходы от крупнейших к самым мелким диатремам (см. рис. 2); одна—две наиболее крупные диатремы чаще располагаются в периферийных частях, а не в центре поля (см. рис. 63—66); 3) самые высокие, включая промышленные, концентрации алмазов в большинстве полей связаны далеко не с самыми крупными трубками, а нередко приурочены к средним по размеру диатремам.

Г. К. Борисов для изучения особенностей пространственного распределения кимберлитовых тел в пределах отдельно взятого поля применил статистический анализ [8]. Использованный им метод основан на непосредственном рассмотрении пространственных зависимостей между точками, фиксирующими выход на дневную поверхность кимберлитовых тел (метод «ближайшего соседа» [47] с дополнениями автора). В итоге работ установлено, что распределение кимберлитовых тел в трех изученных полях имеет четко выраженную тенденцию к группировке с образованием в пределах первого поля — трехчленных групп кимберлитовых тел, во втором — четырехчленных, а в третьем — четырехчленных и пятичленных групп. Изучение простран-

ственных взаимосвязей между телами, образующими трехчленные группы, обнаружило закономерности в их распределении, которые использованы для выделения перспективных участков в одном из трех изученных полей, отличающихся наибольшей сложностью геологического строения. По расчетам Г. К. Борисова, выявление неизвестной группы кимберлитовых тел равновероятно по всему периметру окружности радиусом 13,5 км вокруг известной трехчленной группы, и поэтому перспективными он считает площади колец, находящихся на удалении 9,5—17,5 км от известных трехчленных групп, из расчета  $13,5 \pm 4,0$  км. Полученные результаты, несомненно, очень интересны в научном отношении. Однако поскольку площадь кольца шириной 8 км при внешнем радиусе 17,5 км составляет около 700 км<sup>2</sup>, то разбуривание ее по густой сети для обнаружения трехчленной группы кимберлитовых тел сопряжено с большими затратами средств и времени.

Переходя к обсуждению вопроса о структурном контроле размещения кимберлитовых тел, необходимо отметить, что на первой из приведенных схем (см. рис. 63) предполагаемые рудоконтролирующие дислокации включают все, а на второй (см. рис. 64) — 96% обнаруженных трубок и даек. При этом 70% тел в кимберлитовом поле, показанном на первой схеме, 85 и 80% тел в пределах первого и второго полей, приведенных на второй схеме, располагаются в местах пересечения предполагаемых рудоконтролирующих нарушений. Следует также подчеркнуть, что подавляющее большинство (73—81%) вытянутых в плане диатрем и даек в изученных полях ориентировано согласно с простирацией предполагаемых рудоконтролирующих дислокаций.

Полученные результаты с учетом хотя немногочисленных, но достоверно установленных примеров локализации кимберлитовых тел в местах пересечения разломов (см. рис. 7) и совпадения длинных осей диатрем с простирацией рудовмещающих дислокаций (см. рис. 8) позволяют заключить, что построенные с помощью вышеизложенных приемов схемы разрывных нарушений в первом приближении отражают реально существующие системы дислокаций, контролирующие размещение кимберлитов в соответствующих полях. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что на продолжении осей несогласных диатрем нередко располагаются диатремы, находящиеся на выделенных (по цепочкам тел) дислокациях или на их пересечениях.

Уже при беглом просмотре схем легко заметить преобладание субширотных, реже северо-восточных простираций у рудоконтролирующих нарушений на первой из них, в то время как на второй доминируют дислокации субмеридиональных простираций. Анализ главнейших тенденций ориентировки по числу, протяженности и насыщенности кимберлитами предполагаемых

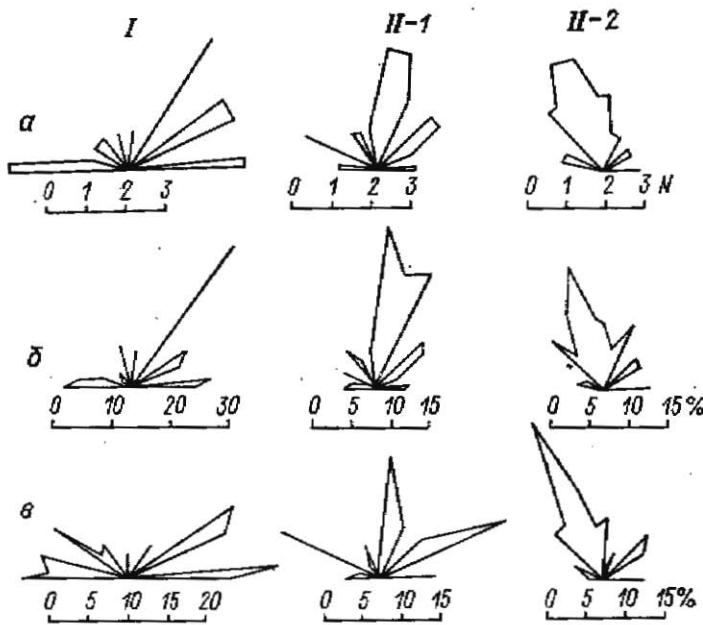


Рис. 67. Розы-диаграммы числа (а), протяженности (б) и показателя, получаемого в итоге умножения последней на значение «насыщенности» кимберлитами рудоконтролирующих нарушений (в), которые приведены на рис. 63 (I) и 64 (II-1 и II-2).

разрывных нарушений облегчается путем построения соответствующих роз-диаграмм (рис. 67).

Розы-диаграммы, отражающие число рудоконтролирующих нарушений, ориентированных в различных направлениях, сравнительно малоинформативны, поскольку не содержат данных о протяженности дислокаций и о масштабах приуроченных к ним проявлений кимберлитов. Розы-диаграммы протяженности разноориентированных нарушений отчасти восполняют указанный пробел, позволяя выявлять главнейшие направления разрывных напряжений и дислокаций на соответствующих участках территории в период проявления кимберлитового вулканизма.

Если же наряду с протяженностью принимать во внимание еще и насыщенность кимберлитами разноориентированных разломов, то в итоге получим возможность определять простирации наиболее «продуктивных» нарушений. И действительно, путем сравнения роз-диаграмм (см. рис. 67) легко установить простирации насыщенных кимберлитами коротких многочисленных (пики на всех диаграммах) и мало распространенных (пики на диаграммах типа а и в — рис. 67) нарушений, протяженных средней продуктивности (пики на диаграммах двух последних

типов) и протяженных малой продуктивности (максимумы на диаграммах лишь типа б) разломов. Обсуждаемые схемы размещения рудоконтролирующих нарушений могут явиться также основой для уточнения внешнего и внутреннего строения кимберлитовых полей.

Под внешним строением поля здесь понимается в первую очередь положение его границ. До последнего времени кимберлитовые поля обычно оконтуривались по крайним трубкам и даекам, реже — по фиксируемым геолого-геофизическими методами разломам фундамента, которые без специальных доказательств принимались в качестве «магмоограничивающих». Поскольку определение границ поля неразрывно связано с прогнозом местонахождения новых тел за контуром известной площади их распространения, этот вопрос рассматривается ниже (см. с. 165—168).

В плане уточнения внутреннего строения кимберлитовых полей схемы размещения предполагаемых рудоконтролирующих нарушений позволяют получить информацию о последовательности образования или обновления и об относительной продолжительности активной жизни тектонических нарушений, контролирующих размещение трубок и даек, а также наметить места вероятного нахождения еще не обнаруженных тел.

Процесс образования кимберлитов в пределах каждого отдельно взятого поля охватывал значительный период времени (с. 112). При большой продолжительности вулканизма на площади в сотни и тысячи квадратных километров тектонические напряжения не могли оставаться постоянными, но неизбежно варьировали по размеру и направлению. В итоге часть тектонических нарушений контролировала размещение кимберлитовых тел какого-либо одного этапа, а другие претерпевали многократную активизацию и непосредственно влияли на локализацию трубок взрыва и даек, возникших в различные этапы формирования соответствующего кимберлитового поля.

Для расшифровки внутреннего строения кимберлитовых полей чрезвычайно важно располагать информацией о последовательности образования или обновления, а также о длительности активной жизни дислокаций, контролирующих размещение трубок и даек. Однако никакие общегеологические признаки и особенности предполагаемых рудоконтролирующих нарушений в кимберлитовых полях, к сожалению, не позволяют расчленять их ни по времени образования, ни по относительной продолжительности активной жизни в эпоху кимберлитового вулканизма.

В качестве косвенных критериев такого расчленения дислокаций могут служить петрохимические характеристики приуроченных к ним кимберлитов благодаря тому, что между составом и относительным возрастом последних установлена определенная зависимость (см. рис. 52). Техника построений доста-

точно проста. На схеме предполагаемых рудоконтролирующих нарушений, построенной с помощью вышеописанных приемов, показывают местоположение, ориентировку длинных осей кимберлитовых тел, а также принадлежность их к определенным стадиям и этапам вулканизма (по КД<sub>Te</sub> и СД<sub>5(5)</sub>).

Дробность возрастного расчленения лишь в начале исследований может быть иногда ограничена стадиями и, как правило, должна быть доведена до этапов. В некоторых полях наряду с многочисленными телами, сформированными в различные этапы нескольких стадий, встречаются единичные тела, породы которых при близких КД<sup>71</sup> значительно различаются между собой по СД<sub>5(5)</sub>, а поэтому, строго говоря, должны быть отнесены к различным этапам одной стадии. Однако при достаточно большом общем числе трубок и даек в изучаемом поле выделение самостоятельных этапов по единичным трубкам или дайкам может привести к излишней пестроте и затруднит анализ карты. Применительно к таким случаям нередко наилучшие результаты могут быть получены при «скользящей» дробности возрастного расчленения: для петрохимических групп, представленных многочисленными выходами пород, следует выделять стадии и этапы, а для сравнительно мало распространенных разновидностей можно ограничиться выделением только стадий вулканизма.

По относительной ориентировке предполагаемых рудоконтролирующих нарушений и вытянутых в плане кимберлитовых тел наблюдаются все возможные случаи — от строго параллельной до перпендикулярной. Из-за сложной конфигурации большинства диатрем точное определение ориентировки удлинения многих из них затруднено, причем интервал неопределенности («люфт») может достигать 20—30°. В связи с этим целесообразно выделять два крайних случая: ориентировка длинной оси кимберлитового тела примерно согласна ( $<\pm 15^\circ$ ) или несогласна ( $>\pm 15^\circ$ ) с простиранием предполагаемых дизъюнктивных нарушений. При согласной ориентировке длинной оси кимберлитового тела и предполагаемого разлома последний может быть признан в качестве рудоконтролирующего для кимберлитов соответствующего этапа и (или) стадии.

Каких-либо специальных критериев для определения протяженности отрезка разлома, эффективно контролирующего локализацию кимберлитов соответствующей возрастной группы, не существует. В первом приближении ограничительными «вехами» такого отрезка могут служить места пересечения с другими разломами, а также места нахождения на изучаемом разломе несогласных кимберлитовых тел. Получаемая в итоге протяженность дизъюнктивных дислокаций, активизировавшихся в эпоху кимберлитового вулканизма и эффективно контролиро-

вавших размещение кимберлитов, составляет 40—50% от общей длины предполагаемых рудоконтролирующих нарушений, которые выделяются описанным в начале раздела «геометрическим» способом (рис. 68 и 69).

Активность некоторых нарушений по простиранию не оставалась постоянной во времени, в результате чего одна часть каждого из них являлась локализующей для кимберлитов какого-либо раннего этапа, а вторая — для пород относительно более позднего этапа той же или последующей стадии.

При наличии на одном отрезке разлома двух согласных тел и более, породы которых относятся к различным стадиям и этапам вулканизма, есть основание говорить о неоднократной активизации такого нарушения в процессе формирования изучаемого поля. Примечательно, что согласные кимберлитовые тела, приуроченные к разломам двух- и трехкратной активизации, как правило, относятся к строго последовательным этапам, и лишь в единичных случаях имеет место «перескок» через один этап (см. рис. 68 и 69).

Для определения господствующих простираций важнейших рудоконтролирующих разломов в кимберлитовых полях каждый этап активизации долгоживущих дислокаций следует учитывать по отдельности при оценках как числа, так и степени протяженности нарушений.

Трубки и дайки, располагающиеся вне выделенных выше-описанным способом предполагаемых рудоконтролирующих дислокаций, контролируются какими-то другими нарушениями. Длину и простирание последних определить затруднительно, а исключать из рассмотрения нецелесообразно. В целях минимизации риска исключения или переоценки роли дислокаций данного типа в общем балансе рудовмещающих нарушений изучаемого поля можно принять, что простирания таких разломов соответствуют ориентировке длинных осей определенных кимберлитовых тел, а длина каждого из них — 1 км.

Изложенные соображения учтены в приведенных на рис. 70 диаграммах, иллюстрирующих простирации важнейших рудовмещающих дислокаций на территории некоторых кимберлитовых полей Центральносибирской провинции. При сопоставлении их с розами-диаграммами числа и протяженности разноориентированных рудоконтролирующих дислокаций, намеченных в пределах тех же полей по расположению прямолинейных «цепочек» из четырех и более кимберлитовых тел (см. рис. 67), легко заметить различия, обусловленные расхождением принципов, лежащих в основе построения как отправных схем, так и самих диаграмм.

Все выявленные к настоящему времени кимберлитовые трубки и дайки размещены в дизъюнктивных дислокациях, показан-

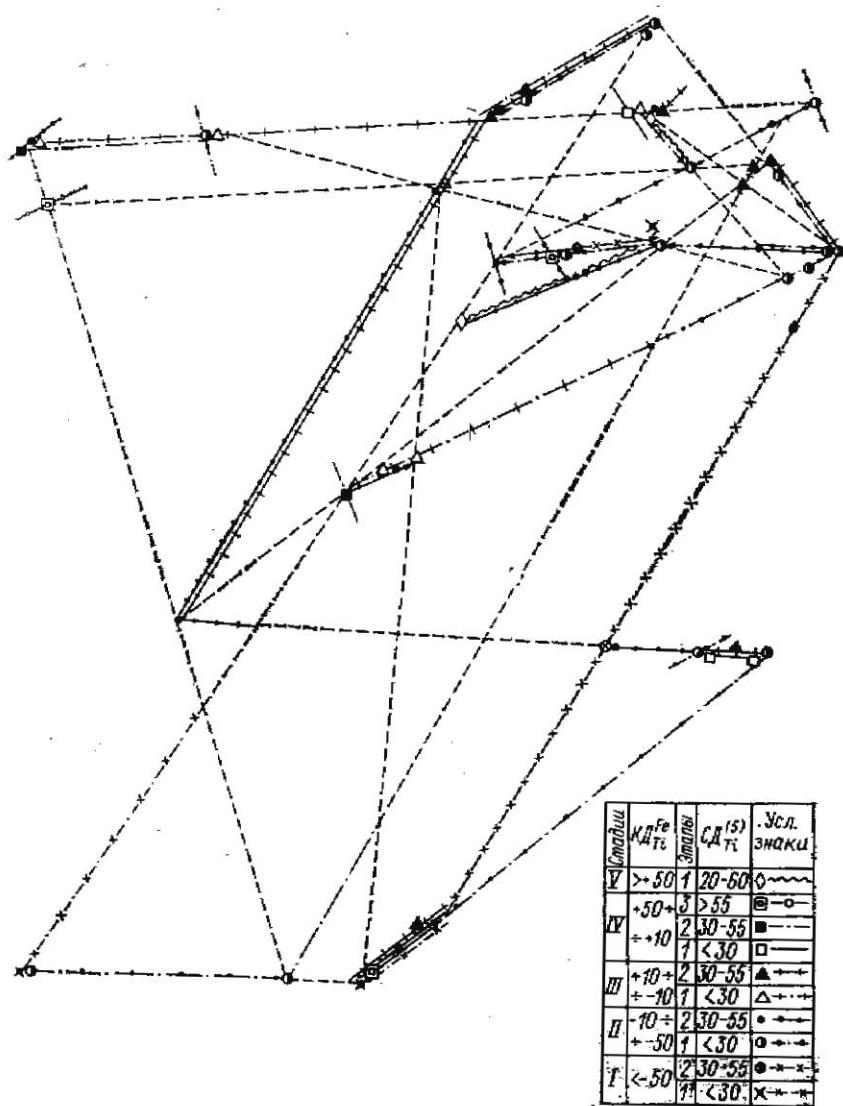


Рис. 68. Последовательность внедрения кимберлитов и активизации отдельных участков предполагаемыхrudовмещающих дислокаций рамы в одном из центральных районов Сибирской платформы.

Простирации длинных осей несогласных и расположенных вне выделенных дизьюнктивов кимберлитовых тел показаны вне масштаба условными знаками разломов, активизировавшихся в соответствующие стадии и этапы вулканизма (см. ключ-схему). Штриховой линией показаны участки предполагаемых разрывных дислокаций, не активизировавшиеся во время кимберлитового вулканизма.

Стадии	$K_D^{Fe}_{TL}$	Этапы	$СД_{Ti}^{(5)}$	Поля	
				1	2
IV $> +50$	2	47-140		*~~~	
		47-90	*~~~		
	1	<47	+ АААА		
III $(+10)-(+50)$	3	>90	□—		
	2	47-90	■—		
	1	<47	□—		
II $(-10)-(+10)$	2	>47	▲—		
	1	<47	△—		
I $(-10)-(-50)$	1	<47	○—		

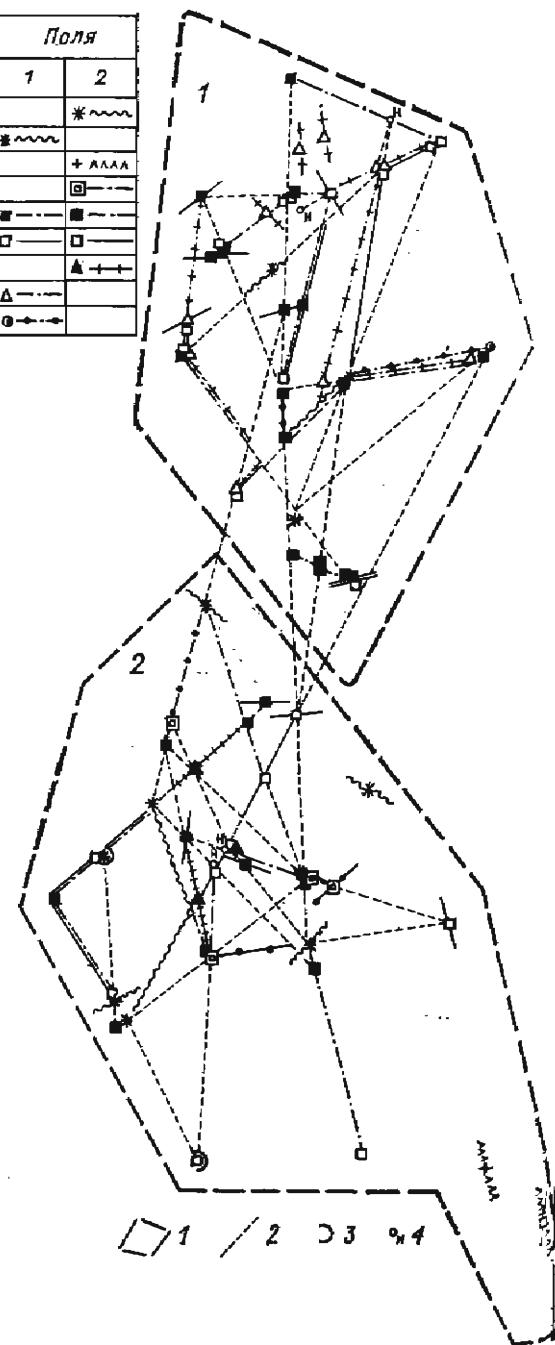


Рис. 69. Последовательность внедрения кимберлитов и активизации отдельных участков предполагаемых рудовмещающих дислокаций рамы на территории двух полей (1, 2) северо-восточной части Сибирской платформы.

Простирации длинных осей несогласных и расположенных вне выделенных дизъюнктивов кимберлитовых тел показаны вне масштаба условными знаками разломов, активизировавшихся в соответствующие стадии и этапы вулканизма (см. ключ-схему).

1 — границы кимберлитовых полей; 2 — участки предполагаемых разрывных дислокаций, не активизировавшиеся в эпоху кимберлитового вулканизма; 3 — изометричные диатремы; 4 — диатремы, по химическому составу пород из которых нет данных.

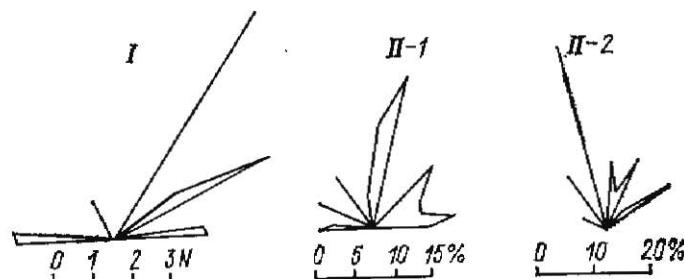


Рис. 70. Розы-диаграммы протяженности важнейших рудовмещающих дислокаций в кимберлитовых полях, приведенных на рис. 68 (I) и 69 (II-1 и II-2).

ых на последних вариантах схем (см. рис. 68 и 69), которые поэтому в отличие от предыдущих (см. рис. 63 и 64) могут быть названы схемами важнейших *рудовмещающих* нарушений, то нашло отражение и в подписях к соответствующим рисункам.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВ АЛМАЗОНОСНОСТИ ДИАТРЕМ В КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЯХ

Результаты проведенных исследований внутреннего строения кимберлитовых полей в целом и в первую очередь установление отчетливой взаимосвязи между пространственным расположением кимберлитов и структурной рамы, выявляемой по специфическим особенностям гидросети, по расположению, ориентировке, относительному возрасту и химическому составу бород известных диатрем, позволяют подойти к прогнозированию вероятных мест локализации еще не обнаруженных тел кимберлитовых полях. Прогноз локализации различных по химическому составу кимберлитов с учетом ранее выведенной зависимости между содержанием алмазов и химическими особенностями материнских пород открывает путь для оценок перспектив алмазоносности прогнозируемых диатрем.

### ПРОГНОЗ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ НОВЫХ ДИАТРЕМ

Во всех даже давно известных и хорошо изученных районах развития кимберлитов детальные поиски приводят к открытию новых диатрем как внутри районов, так и на прилежащих

к ранее известной площади их распространения участках. На территориях с плохой обнаженностью коренных пород, столь характерной для большинства алмазоносных районов, открытия новых трубок происходят или по чистой случайности (при картировочном бурении), или в результате поискового бурения на обширных площадях по густой сети. При этом бурение проводят сначала для определения ореолов рассеивания минералов-спутников алмаза, а затем в ходе последовательного сгущения сети скважин на перспективных участках.

Случай обнаружения новых диатрем на осевой линии между несколькими уже известными телами одной линейной группы имели место, но за всю историю поисков алмазных месторождений число их, судя по имеющейся литературе, не достигает и 10.

Описанная в предыдущих разделах работы отчетливая приуроченность кимберлитов к участкам земной коры, специфические особенности которых могут быть определены по характеру гидросети, а также изложенные выше результаты исследований по выявлению элементов и закономерностей внутреннего строения кимберлитовых полей позволяют прогнозировать места вероятной локализации еще не обнаруженных диатрем внутри и вне контура известных выходов кимберлитовых пород каждого отдельно взятого поля.

Хотя теоретические и эмпирико-статистические основы прогнозирования внутри и за пределами контура распределения известных тел в кимберлитовых полях одинаковы, методические приемы этих прогнозов несколько различаются между собой и поэтому должны быть рассмотрены по отдельности. Прогноз местонахождения новых диатрем внутри известной части кимберлитового поля может осуществляться двумя способами, различающимися детальностью, а также, вероятно, и надежностью. Очевидно, что действительная надежность каждого из этих способов может быть установлена только в итоге проведения проверочных работ.

Один, наименее детальный, способ основан на районировании территории по результатам комплексного изучения специфических особенностей гидросети. В итоге такого районирования площадь каждого поля и прилежащих территорий может быть расчленена на участки и (или) зоны, часть из которых резко обеднена кимберлитами или полностью лишена их, в то время как другие характеризуются широким развитием этих пород (см. рис. 23 и 24). Однако при несомненных достоинствах данного способа разрешающая способность его не обеспечивает узколокального прогнозирования, при котором достигались бы трассированиеrudоконтролирующих дислокаций и выделение мест вероятного нахождения отдельных диатрем. Поэтому он должен применяться в комплексе с рассматриваемым ниже способом.

Второй способ предназначен и применим только для узко-локального прогнозирования. В основе его лежат теоретические представления о контроле пространственного размещения кимберлитов разрывными нарушениями, подтверждаемые, в частности, описанной в предыдущей главе приуроченностью подавляющего большинства (70—85%) кимберлитовых тел к местам пересечения рудоконтролирующих дислокаций.

На первом этапе работы для всей площади изучаемого кимберлитового поля составляют схему предполагаемых рудовмещающих дислокаций, принципы и техника построения которых рассмотрены в предыдущей главе. Признавая справедливость постулата о размещении еще не обнаруженных кимберлитовых тел преимущественно в узлах пересечения предполагаемых рудовмещающих нарушений, следует иметь в виду изменчивость отдельных характеристик выделяемых нарушений и вытекающую отсюда неравнозначность узлов пересечения их для локализации, а следовательно, и для прогноза кимберлитов. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Все многообразие пересечений выделенных на вышеупомянутых схемах рудоконтролирующих дислокаций (см. рис. 68 и 69) может быть разбито на следующие основные группы, характеризующиеся пересечением: а) трех и более нарушений, часть из которых на данном участке определенно активизировалась, а часть, возможно, не активизировалась в эпоху кимберлитового магматизма (соответственно подтверждается и не подтверждается простирациями длинных осей кимберлитовых тел); б) двух нарушений, активизировавшихся в эпоху кимберлитового магматизма; в) двух нарушений, одно из которых на данном участке активизировалось, а второе, по-видимому, не активизировалось в эпоху магматизма; г) двух нарушений, данные об активизации которых на участке пересечения отсутствуют. Узлы пересечения двух нарушений, одно из которых претерпело неоднократную активизацию в эпоху кимберлитового магматизма, следует относить к группе «а».

Ориентировка длинных осей несогласных и находящихся вне предполагаемых нарушений кимберлитовых тел, по всей вероятности, также трассирует рудовмещающие дислокации и должна учитываться при выделении участков вероятного нахождения новых диатрем. Однако при этом, как и при построении рассмотренных выше рудовмещающих дислокаций, следует установить минимальное (пороговое) значение насыщенности кимберлитами. На первом этапе исследований оптимальным представляется следующее решение этого вопроса. В тех случаях, когда простижение длинной оси кимберлитового тела трассируется до пересечения с дислокациями, устанавливаемыми по линейным группам диатрем, пороговая насыщенность трассы не должна быть ниже минимальных значений соответ-

ствующего показателя у рудоконтролирующих дислокаций в изучаемом поле.

При построении узлов пересечения длинных осей двух несогласных или обособленных тел во внимание принимаются лишь те трассы, которые до точки пересечения сохраняют насыщенность кимберлитами не менее среднего значения нижнего интервала указанного показателя в изучаемом поле. Предлагаемое ограничение обусловлено естественным снижением надежности в определении местонахождения и контролирующей роли любой дислокации по мере удаления от той единственной трубы или дайки, ориентировка длинной оси которой послужила основой для трассирования рудовмещающего нарушения.

Расчет степени насыщенности кимберлитами дислокаций, трассируемых по простирациям длинных осей трубок и даек, производится при допущении, что в точке пересечения их находится одна диатрема, площадь которой равна средней площади известных трубок данного поля.

Трассируемые по длинным осям диатрем и простирациям даек предполагаемые нарушения в каждом поле могут пересекаться: а) между собой; б) с дислокациями, которые на участке пересечения один или несколько раз активизировались в эпоху кимберлитового вулканизма; в) с дислокациями, которые на участке пересечения, по имеющимся данным, в эпоху кимберлитового вулканизма не активизировались.

Значимость различных типов пересечений для прогноза мест вероятного нахождения новых трубок и даек внутри известной части поля показана на рис. 71. Следует иметь в виду, что если участки вероятного нахождения новых диатрем попадают на блоки или зоны, мегатрециноватость которых свидетельствует о неблагоприятной структуре земной коры, то их надо относить к низшей, третьей категории независимо от типа пересечения рудоконтролирующих дислокаций.

Не требует специальных доказательств тот факт, что наиболее вероятно обнаружение новых диатрем на пересечениях дислокаций, обладающих максимальной насыщенностью кимберлитами. Одной из наиболее удобных форм учета указанной характеристики может явиться следующая. Весь диапазон изменчивости этого показателя в изучаемом поле разбивают на три равных интервала. Затем для каждого участка вероятного нахождения новой диатремы по имеющимся данным (см. рис. 63 и 64) вычисляют среднюю насыщенность кимберлитами пересекающихся здесь рудоконтролирующих дислокаций.

Если полученная таким способом цифра попадает в интервал наибольших значений «кимберлитонасыщенности», то к вытекающей из типа пересечения категории значимости (см. рис. 71) добавляют помещаемый в скобках знак «плюс», т. е. 1(+)

и т. д. Для пересечений предполагаемых нарушений, средняя арифметическая насыщенность кимберлитами которых попадает

Категории значимости	Типы пересечений рудоконтролирующих нарушений	
	Внутри известной части поляя	За контуром известной части поляя
I		
II		
III		

1 2 3 4

Рис. 71. Группировка пересечений рудоконтролирующих нарушений по значимости их для прогноза местонахождения новых диатрем внутри и вне контура распространения известных тел в кимберлитовых полях.

1 — участки нахождения новых трубок и даек; 2 — простирание длинных (в плаве) осей несогласных (а) и обособленных (б) тел, сформировавшихся в различные этапы магматизма; 3 — предполагаемые рудовмещающие нарушения, активизировавшиеся один раз (а) или более (б); 4 — предполагаемые рудоконтролирующие нарушения, данные об активизации которых на участке пересечения в эпоху кимберлитового магматизма отсутствуют.

дает в интервал промежуточных или минимальных значений, к цифровым обозначениям категории значимости добавляют знаки «нуль» или «минус» соответственно.

На принципиальных схемах и детальных картах прогноза мест локализации и перспектив алмазоносности новых диатрем знаки «плюс» и «минус» могут быть помещены внутри условного знака, отражающего категорию участка, или рядом с ним. Нуль на тех же графических материалах показывать нецелесообразно, поскольку отсутствие знаков «плюс» и «минус» автоматически будет свидетельствовать о том, что пересекающиеся в соответствующих точках разломы по насыщенности кимбер-

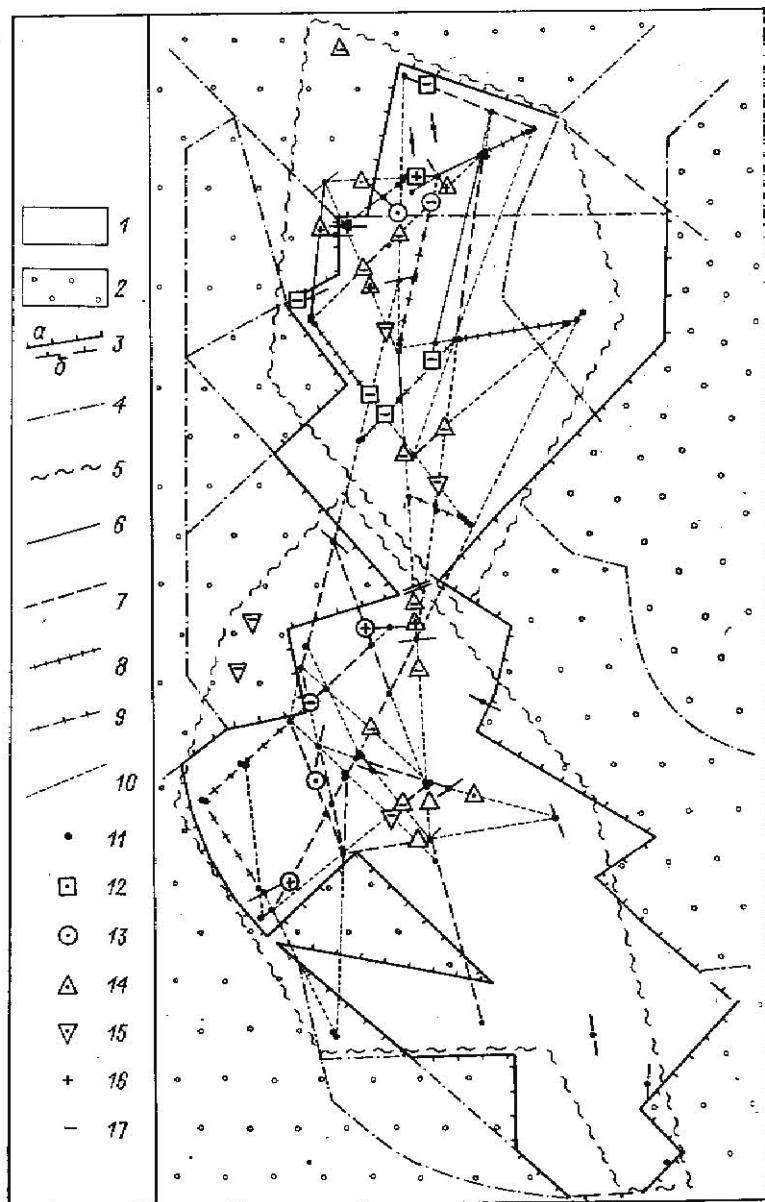


Рис. 72. Принципиальная схема прогноза новых диатрем в двух кимберлитовых полях Сибирской платформы.

1—2 — участки благоприятного (1) и неблагоприятного (2) строения земной коры для внедрения кимберлитов; 3 — внешние структурные границы кимберлитовых полей определенные (а) и предполагаемые (б); 4 — границы участков земной коры, различающихся по типу и структурному рисунку мегатрециноватости; 5 — внешние морфологические границы кимберлитовых полей; 6—7 — дислокации, активизировавшиеся на высокопродуктивном (6) и визкопродуктивном (7) этапах вулканизма; 8—9 — то же,

литами мало отличаются от среднего значения данного показателя в поле.

Прогнозирование мест нахождения новых диатрем за пределами известного контура распространения кимберлитов неразрывно связано с определением границ поля. При «законтурном», как и при «внутриконтурном», прогнозировании применимы методы, основанные на изучении как мегатрециноватости, так размещения и особенностей известных кимберлитовых тел. Первый из них позволяет намечать геолого-структурные (сокращенно «структурные»), а второй — контурно-морфологические (сокращенно «морфологические») границы поля. Последний метод позволяет также трассировать рудовмещающие дислокации и выделять места вероятного нахождения новых диатрем, являясь, таким образом, методом узколокального прогнозирования.

Структурные и морфологические границы каждого отдельно взятого кимберлитового поля в общем случае не совпадают. Площадь, лежащая внутри первой из них, как правило, больше, чем заключенная внутри второй. Несмотря на несовпадения (иногда значительные) структурных и морфологических границ, вопрос о том, какая из них должна быть признана более точной, неправомерен.

Дело в том, что такие несовпадения не являются результатом ошибочности какой-то из этих границ, но вытекают из различий используемых принципов, а в известной мере и ограничивающих объектов. Для общих геологических построений и при широких оценках перспектив алмазоносности более пригодны структурные границы, а для узколокальных прикладных, поисково-разведочных целей наиболее приемлемыми могут оказаться морфологические границы. В связи с этим на прогнозных картах кимберлитовых полей следует показывать обе названные границы.

Для определения структурных границ полей целесообразно использовать результаты районирования, основанного на комплексном изучении мегатрециноватости. При таком районировании в платформенных областях достаточно четко и однозначно выделяются блоковые, кольцевые и спирально-вихревые структуры, различающиеся не только характером мегатрециноватости, но также и количеством приуроченных к ним проявлений кимберлитов (см. рис. 23 и 24). Границу четко выраженной структуры, в пределах которой размещаются все (или за

---

при активизации на двух этапах и более; 10 — дислокации, данные об активизации которых в эпоху кимберлитового вулканализма отсутствуют; 11 — кимберлитовые трубки и дайки; 12—13 — участки вероятного нахождения новых диатрем первой (12) и второй (13) очереди; 14 — то же, третьей очереди, 15 — то же, четвертой очереди; 16—17 — показатели повышенной (16) и пониженной (17) насыщенности кимберлитами рудоискропирующих дислокаций по сравнению со средними значениями их в поле (помещены вкруги знаков 12—15).

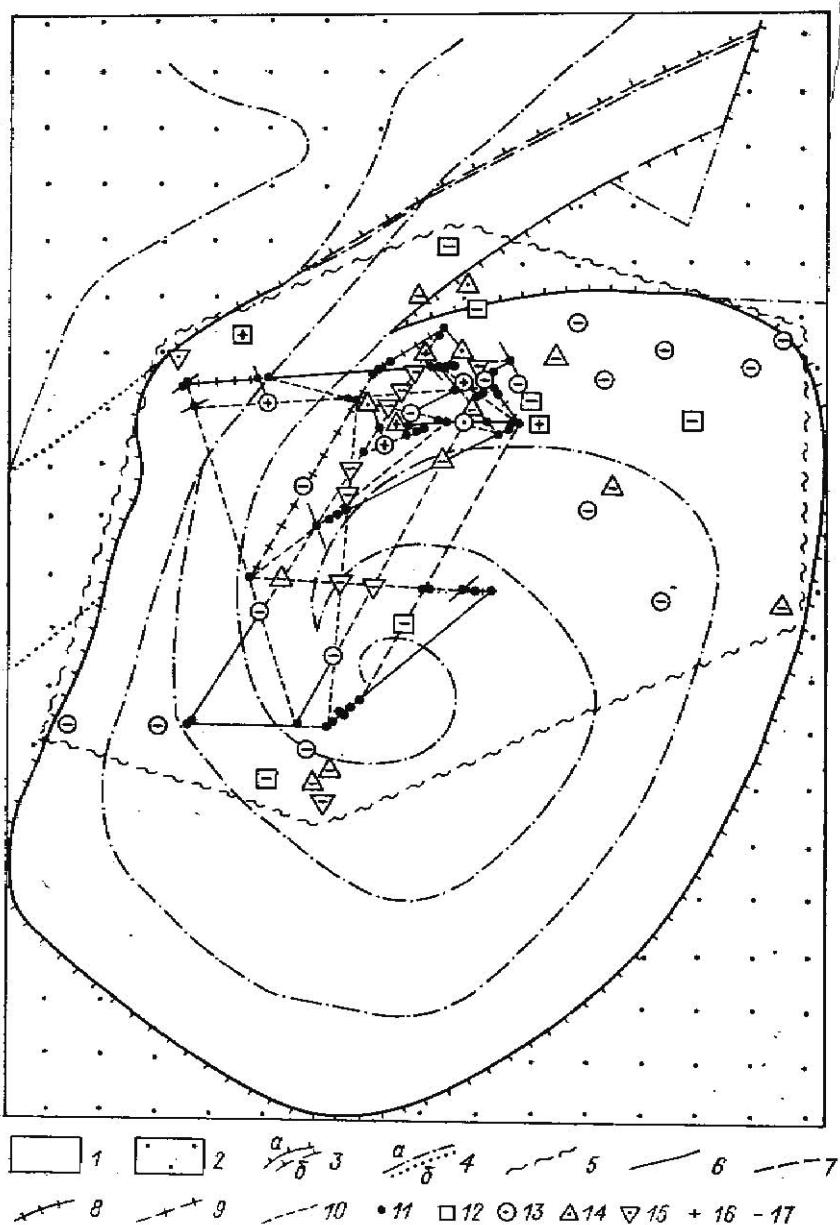


Рис. 73. Принципиальная схема прогноза новых диатрем в одном из полей Сибирской платформы.

1—2 — участки благоприятного (1) и неблагоприятного (2) строения земной коры для внедрения кимберлитов;

3 — внешняя структурная граница кимберлитового поля определенная (а) и предполагаемая (б);

4 — границы главнейших зон в спирально-вихревых структурах (а) и участков земной коры, различающихся по типу и структурному

единичными исключениями) кимберлитовые тела территориально обособленной совокупности, мы и предлагаем считать внешней структурной границей кимберлитового поля (рис. 72 и 73).

В отдельных случаях может оказаться целесообразным некоторое сближение структурной и морфологической границ путем частичного проведения структурной границы поля по линии раздела участков, различающихся структурным рисунком мегатрешиноватости (северо-восточная часть схемы на рис. 72). За пределами контура известных выходов кимберлитов каждого отдельно взятого поля нахождение новых тел следует ожидать в первую очередь на пересеченияхrudовмещающих нарушений, которые прослеживаются внутри поля и за его пределами.

В целях повышения надежности таких прогнозов следует ввести некоторые ограничительные условия для предполагаемыхrudоконтролирующих нарушений, проводимых за контурами известной площасти развития кимберлитов. Целесообразно принимать во внимание лишь те линейные дислокации, которые: а) прослежены до крайних среди известных тел; б) пересекаются под углом не менее  $20^\circ$ ; в) при продолжении до точки пересечения сохраняют «кимберлитонасыщенность» не менее среднего значения нижнего интервала соответствующего показателя для изучаемого поля. Расчет насыщенности кимберлитами дислокаций, продленных за пределы известной площасти размещения кимберлитов, выполняется при допущении, что в точке их пересечения находится одна диатрема, площадь которой равняется средней площасти трубок данного поля.

Поскольку в точках пересечения линейных дислокаций, удовлетворяющих перечисленным требованиям, весьма вероятно нахождение новых диатрем, то следует заключить, что результаты таких построений позволяют, с одной стороны, выделять участки для детальных поисков, а с другой — уточнять морфологические границы кимберлитовых полей. При этом очертания каждого поля определяются общей конфигурацией площасти распространения кимберлитовых тел (в том числе и прогнозируемых), а предпочтительная ориентировка пограничных линий — простирианием приближенных к периферии наиболее протяженных и насыщенных кимберлитамиrudоконтролирующих нарушений.

---

рисунку мегатрешиноватости (6); 5 — внешняя морфологическая граница кимберлитового поля; 6—7 — дислокации, активизировавшиеся на высокопродуктивном (6) и низкоПродуктивном (7) этапах вулканизма; 8—9 — то же, при активизации на двух этапах и более; 10 — дислокации, не активизировавшиеся в эпоху кимберлитового вулканизма; 11 — кимберлитовые трубки и дайки; 12—15 — участки вероятного нахождения новых диатрем первой (12), второй (13), третьей (14) и четвертой (15) очереди; 16—17 — показатели повышенной (16) и пониженной (17) насыщенности кимберлитамиrudоконтролирующих дислокаций по сравнению со средними значениями их в поле.

Возможные типы пересечений предполагаемых рудоконтролирующих нарушений за пределами известного контура развития кимберлитов и значимость их для прогноза мест вероятного нахождения новых трубок и даек показана на рис. 71. Следует отметить, что здесь, как и при «внутриконтурном» прогнозировании, в тех случаях, когда участки вероятного нахождения новых диатрем попадают на блоки, мегатрешиноватость которых свидетельствует о неблагоприятной структуре земной коры, их надо относить к третьей категории независимо от типа пересечения рудоконтролирующих дислокаций.

Насыщенность кимберлитами нарушений, на пересечениях которых выделяются перспективные участки, относительно среднего значения этого показателя в изучаемом поле, учитывается и отражается на прогнозных картах так же, как и при «внутриконтурном» прогнозировании.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ АЛМАЗОНОСНОСТИ НОВЫХ ДИАТРЕМ

Специализированные исследования по расшифровке внутреннего строения, как и другие детальные работы, проводятся почти исключительно в кимберлитовых полях, где месторождения алмазов уже установлены или имеются веские основания для предположений о наличии их там. Использование сравнительно малоперспективных, но относительно хорошо обнаженных и богатых кимберлитами районов для отработки тех или иных методических приемов структурного анализа носит эпизодический характер и не противоречит вышесказанному.

Однако обширные материалы по всем алмазоносным провинциям мира свидетельствуют о том, что даже в районах, где имеется одна или несколько трубок взрыва с промышленной концентрацией алмазов, остальные тела обладают преимущественно низкой и лишь немногие средней алмазоносностью. Значит, дать прогноз о местонахождении новых диатрем в кимберлитовом поле — это решить задачу только наполовину. Полностью задача по расшифровке внутреннего строения кимберлитовых полей может считаться решенной лишь в тех случаях, когда результаты исследований будут содержать ответ на вопрос о перспективах алмазоносности поля и позволят разбраковать выделенные участки по вероятности обнаружения в их пределах богатых алмазами диатрем.

Вопрос о вероятной алмазоносности еще не открытых диатрем может быть решен путем выделения трех основных групп рудоконтролирующих дислокаций: активизировавшихся на высокопродуктивном, низкопродуктивном этапах и, возможно, не активизировавшихся в эпоху кимберлитового вулканизма. К первой группе должны быть отнесены нарушения, активизация

которых начиналась одновременно с образованием ранних и заканчивалась с внедрением позднейших генераций обогащенных алмазами кимберлитов как в изученном, так и в близких по фациальным условиям полях единой провинции.

Вторая группа объединяет нарушения, время активизации которых не совпадает с временным диапазоном активизации дислокаций первой группы. И хотя в общем случае нарушения второй группы по времени активизации могли предшествовать или (и) запаздывать относительно дислокаций первой группы, фактическая последовательность активизации их на протяжении отдельной стадии вулканизма соответствует порядковым номерам групп. В некоторых полях высокопродуктивным этапом являлось начало не одной, а каждой из двух или трех последовательных стадий вулканизма.

Теоретической основой расчленения рудоконтролирующих дислокаций по активизации их на высоко- и низкопродуктивном этапах вулканизма является описанная выше зависимость между составом и относительным возрастом кимберлитов в комплексе с ранее установленной взаимосвязью химического состава и степени алмазоносности этих пород [31].

Сравнительное изучение химического состава различных по относительному возрасту кимберлитов показало, что во всех без исключения полях, где последовательность внедрения пород была определена с необходимой точностью и надежностью, наблюдается возрастание содержания железа и титана от ранних к поздним разновидностям кимберлитовых пород. Изменчивость содержания этих двух и в меньшей степени других показательных элементов в последовательных генерациях пород неразрывно связана с физико-химическими условиями и, в частности, с энергетическим режимом эволюции кимберлитовых расплавов, детальному обсуждению которых посвящена специальная работа автора [37].

Содержание алмаза в кимберлитах определяется химическим и фациальным факторами. Показатель химического фактора алмазоносности выражается через коэффициент потенциальной алмазоносности (КПА), значение которого в первом приближении обратно пропорционально содержанию железа и титана в породе. В пределах каждого отдельно взятого поля фациальные условия образования кимберлитов варьировали в сравнительно узких пределах, что позволило разработать метод оценки потенциальной алмазоносности кимберлитовых тел по химическому составу (КПА) пород без проведения крупнообъемного опробования их на алмазы [31, 41].

Таким образом, кимберлиты с пониженным содержанием железа и титана являются и относительно ранними, и потенциально наиболее алмазоносными, а вмещающие их дислокации должны быть отнесены к группе нарушений, активизировавшихся на высокопродуктивном этапе. Этот вывод полностью

подтверждается фактическими данными по всем кимберлитовым полям, где известны эксплуатируемые, средне- и низкоалмазоносные диатремы.

Вместе с тем ограничительные параметры дислокаций, активизировавшихся на высокопродуктивных этапах, чисто теоретическим путем оценить пока затруднительно, и поэтому здесь следует идти путем аналогий. С этой целью предварительно выделяют группы полей, наименее различающихся по фациальным условиям образования кимберлитов. Примерами таких групп могут служить субизофациальные пары в Центральносибирской провинции: Далдынское и Мархино-Алакитское, Куранахское и Лучакансое, Нижнекуонамское и Среднекуонамское поля.

Дальнейший анализ может проводиться с различной детальностью, которая зависит от степени изученности поля, дисперсии петрохимических особенностей пород и т. п. В первом приближении высокопродуктивный этап или этапы активизации рудоконтролирующих нарушений оцениваются лишь по значению  $KD_{Ti}^{Fe}$  и  $CD_{Ti}^{(5)}$  у богатых алмазами кимберлитов, известных на территории изучаемых полей. С этой целью используют ключ-диаграммы, которые составлены для построения схем последовательности внедрения кимберлитов и активизацииrudовмещающих дислокаций каждого изучаемого поля (см. рис. 68 и 69). Те этапы одной или нескольких стадий, к которым по значению  $KD_{Ti}^{Fe}$  и  $CD_{Ti}^{(5)}$  относятся богатые алмазами кимберлиты, и принимаются в качестве высокопродуктивных.

С помощью изложенных принципов установлено, что для поля, схема которого приведена на рис. 68, высокопродуктивными являются начальные этапы трех первых стадий вулканизма. Этот вывод использован при построении принципиальной схемы прогноза алмазоносности данного поля (см. рис. 73).

В полях, схемы которых приведены на рис. 69, наблюдается совместное развитие кимберлитов алмазной и пироповой субфаций, и поэтому богатые коренные месторождения там не установлены и, по всей вероятности, не могли образоваться из-за недостаточной напряженности термодинамического режима зарождения и эволюции расплавов. Привлечение материалов по этим малоперспективным полям обусловлено хорошей изученностью и большим числом известных здесь кимберлитовых тел, что имеет важное значение для отработки методических приемов анализа пространственного размещения диатрем и общей расшифровки внутреннего строения полей.

Для полного цикла структурного анализа, венцом которого, как уже отмечалось, является прогнозная карта-схема алмазоносности, необходимо выделить высокопродуктивные рудоконтролирующие дислокации. Поскольку строгие аналогии здесь невозможны, условно принимаем, что и в этих полях высокопро-

дуктивными являлись начальные этапы двух первых стадий, на которых возникли кимберлиты с  $KD_{Ti}^{Fe} < +10$  (см. рис. 72). Однако к начальным этапам здесь в отличие от вышеупомянутого поля алмазной субфации относятся кимберлиты,  $CD_{Ti}^{(5)}$  которых достигает 47 (см. рис. 69).

В полях, характеризующихся сравнительно небольшими различиями химического состава кимберлитов, особенно если богатые алмазами разновидности по значению  $KD_{Ti}^{Fe}$  и  $CD_{Ti}^{(5)}$  перекрываются слабоалмазоносными породами, целесообразно детализировать исследования до учета петрохимических типов кимберлитов.

В предыдущем разделе были рассмотрены различные типы пересеченийrudоконтролирующих нарушений внутри и за пределами известной части поля и дана оценка их значимости для прогнозирования мест нахождения новых диатрем (см. рис. 71). Приведенные в данном разделе принципы расчлененияrudоконтролирующих нарушений по относительной продуктивности этапов их активизации позволяют в комплексе с вышеизложенным разделять выделяемые участки по вероятности нахождения в их пределах высокоалмазоносных диатрем.

При определении рекомендуемой очередности опоисковования выделяемых участков, отражающей представления об их относительной перспективности, целесообразно руководствоваться следующими правилами. Очередность участка равна категории значимости, устанавливаемой по типу пересеченияrudоконтролирующих нарушений, при условии, что хотя бы одно из этих нарушений активизировалось на высокопродуктивном этапе. В противном случае, т. е. когда все пересекающиеся на данном участке нарушения активизировались на низкопродуктивных этапах или сведения об активизации их в эпоху кимберлитового вулканизма отсутствуют, очередьность прогнозируемого участка должна быть уменьшена на I по сравнению с категорией значимости, вытекающей из типа пересеченияrudоконтролирующих нарушений.

При этом остаются в силе замечания о необходимости учета: а) степени благоприятности строения земной коры — отнесение к третьей категории значимости участков, попадающих на блоки неблагоприятного строения, независимо от типа пересеченийrudоконтролирующих дислокаций; б) насыщенности кимберлитами нарушений, на пересечениях которых выделяются перспективные участки, с показом ее на прогнозных картах индексами «плюс» или «минус» внутри или около значков, отражающих местонахождение и очередьность перспективных участков (см. рис. 72 и 73).

Два или несколько сближенных мест вероятной локализации новых кимберлитовых тел, располагающихся на площади до 2,5 км<sup>2</sup>, целесообразно объединять в качестве единого уча-

стка, общая очередность которого устанавливается по наиболее перспективному пересечению предполагаемых рудоконтролирующих нарушений. При этом принималось во внимание несколько обстоятельств. Назовем главнейшие из них. Даже в тех случаях, когда на участке ожидается присутствие лишь одного кимберлитового тела, погрешности построения точки пересечения предполагаемых рудоконтролирующих нарушений в среднем составляют, по-видимому, около  $\pm 1$  км, достигая при дальнем трассировании  $\pm 1,5$  км. На первом этапе детальных поисков кимберлитовых тел в закрытых районах оптимальной является проходка горных выработок по сети  $400 \times 400$  или  $500 \times 500$  м с последующим сгущением ее для вскрытия и оконтуривания диатрем.

Изложенное позволяет заключить, что в общем случае перспективный участок вероятного нахождения нового кимберлитового тела представляет собой квадрат  $1,6 \times 1,6$  км с центром в полученной построением точке пересечения предполагаемых рудоконтролирующих нарушений. В случае нескольких сближенных точек вероятного нахождения новых диатрем следует построить квадраты  $1,6 \times 1,6$  км с центрами в каждой точке, а общую площадь такого перспективного участка считать за вычетом перекрытий элементарных квадратов. Из-за вызванной техническими причинами мелкомасштабности схем, приведенных на рис. 72 и 73, там использован несколько иной способ графического изображения перспективных участков.

В заключение остановимся на главнейших выводах, вытекающих из результатов построения и анализа принципиальных схем прогноза коренной алмазоносности для рассмотренных выше типовых кимберлитовых полей (см. рис. 72 и 73). В числе важнейших показателей, наиболее тесно связанных с теоретической эффективностью проведенной расшифровки внутреннего строения полей, и вытекающих отсюда прогнозов следует назвать: 1) распределение известных и прогнозируемых тел относительно структурных границ поля, а следовательно, и сравнительные размеры поля в структурных и морфологических границах; 2) количественные соотношения известных и прогнозируемых тел; 3) число прогнозируемых участков различной очередности; 4) суммарная площадь всех перспективных участков, а также участков первой и второй очереди в квадратных километрах и в процентах от площади соответствующего кимберлитового поля в структурных и морфологических границах его. Значения перечисленных показателей по трем рассмотренным выше типовым кимберлитовым полям приведены в табл. 12.

В двух полях, приуроченных к блоковым структурам с прямыми и зубчатыми границами, известные и прогнозируемые тела распределены не только на всей площади соответ-

ТАБЛИЦА 12

**Показатели теоретической эффективности прогнозов в типовых кимберлитовых полях**

Геоструктурная позиция поля	Площадь поля, км <sup>2</sup>		Число известных тел	Число прогнозируемых перспективных участков				Площадь перспективных участков, км <sup>2</sup>	Число известных и прогнозируемых (в скобках) тел за структурными границами поля			
				из них по категориям								
	в структурных границах	в морфологических границах		1	2	3	4					
В спирально-вихревой структуре	2800	1660	55	52	8	20	14	10	130	70		
В блоковой структуре (поле 1)	1770	1960	46	19	6	2	9	2	47	20		
В блоковой структуре (поле 2)	2330	2670	40	15	0	4	8	3	37	10		

ствующих блоков, но в небольшом количестве (7,5%) \* и за их пределами на минимальном удалении от структурных границ (см. рис. 72). Вследствие этого размеры каждого из таких полей по отдельности в структурных и морфологических границах достаточно близки. В первом из этих полей выделено 19, а во втором 15 участков вероятного нахождения новых кимберлитовых тел, в том числе всего 12 участков первой и второй очереди. Принимая согласно изложенному выше площадь каждого перспективного участка равной 2,5 км<sup>2</sup>, получим, что общая площадь 34 участков равна 85 км<sup>2</sup>, или примерно 2%, а площадь 12 участков первой и второй очереди — 30 км<sup>2</sup>, или около 0,7% от суммарной площади двух рассмотренных полей.

Несколько иные показатели получены в типовом кимберлитовом поле, приуроченном к спирально-вихревой структуре земной коры. Все известные здесь тела и 98% перспективных участков располагаются в пределах этой структуры, контуры которой принимаются в качестве структурной границы поля. Лишь один перспективный участок находится за контуром структуры, на клиновидном участке «отсланвания» наружного витка, в 1—1,5 км от ограничительной линии (см. рис. 73).

Пространственное размещение кимберлитов в пределах спирально-вихревой структуры имеет отчетливо выраженные тенденции. Во-первых, обращает на себя внимание приуроченность

\* Эта цифра, ис всей вероятности, уменьшится при уточнении границы поля в итоге более детальных работ, как имело место на участке Вулкан (см. рис. 23 и 28).

известных кимберлитовых тел и перспективных участков к средней и северной частям спирально-вихревой структуры. Вследствие этого площадь в морфологических границах поля составляет лишь около 60% площади, оконтуриваемой по границам указанной структуры (см. табл. 12). Во-вторых, обнаруженные и прогнозируемые кимберлитовые тела размещаются главным образом в пределах внешнего (84) и внутреннего (17) витков спирали, в то время как на промежуточном витке ее намечается лишь 5 участков возможного нахождения кимберлитов.

Общая площадь 52 перспективных участков равна 130 км<sup>2</sup>, а 28 участков первой и второй очереди — 70 км<sup>2</sup>. Таким образом, доля всех участков составляет 4,5 и 8%, а доля наиболее перспективных участков — 2,5 и 4% от площади изученного поля в структурных и морфологических границах соответственно.

Необходимо подчеркнуть, что изложенные методы прогнозирования являются по своему характеру перманентными: по мере опоискования участков, выделенных на первом этапе прогноза, и обнаружения на части из них новых диатрем открывается возможности для дальнейших построений и выделения новых перспективных участков.

Вместе с тем надо иметь в виду, что в ходе опоискования какого-либо кимберлитового поля может наступить момент, когда все трубы и дайки будут обнаружены. Однако из-за невозможности теоретического определения истинного числа кимберлитовых тел в поле и перманентного характера прогнозирования по изложенной методике новые благоприятные в структурном отношении, но по тем или иным причинам не содержащие кимберлитов участки могут быть намечены в таком поле и после открытия всех реально существующих там кимберлитовых тел. Это обстоятельство необходимо учитывать при проведении поисковых работ и оценке результатов прогнозирования.

Резюмируя изложенное, следует заключить, что предложенные методы среднемасштабного прогнозирования, базирующиеся на результатах анализа структуры кимберлитовых полей, позволяют выделять локальные участки вероятного нахождения новых алмазоносных диатрем. Суммарная площадь таких участков в трех типовых полях составляет в среднем около 3%, а наиболее перспективных примерно 1,5% от общей площади изученных полей. Концентрация детальных поисковых работ, особенно бурения, в первую очередь на таких участках позволит отказаться от «бесприцельного» разбуривания обширных территорий и тем самым будет способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенные исследования показывают, что изучение структур кимберлитовых полей — весьма важное в научном и практическом отношении направление в области геологии алмазных месторождений. Полученные выводы касаются в большинстве своем не только принципиально новых аспектов и явлений в области геологии и условий образования коренных месторождений алмаза, но также и вопросов проницаемости земной коры на малых и больших глубинах, соотношения мега- и макротрециноватости пород осадочного чехла платформы, методов средне- и крупномасштабного прогнозирования коренной алмазоносности и т. д. Перечислим лишь важнейшие выводы, результаты работ и вытекающие из них рекомендации по направлению дальнейших исследований.

1. Структура кимберлитового поля — строение кимберлитового поля, в широком смысле слова — совокупность его признаков, определяемых распределением в пространстве, относительным временем, условиями образования и залегания, вещественным составом всего многообразия развитых здесь кимберлитовых и пикритовых пород, геологическим строением территории и физическими полями в ее пределах. В более узком значении этот термин охватывает признаки, обусловленные размещением в пределах поля порфировых ультраосновных пород, отличающихся условиями образования, формой и размерами тел, возрастом, химическим и минералогическим составом, количеством и качеством содержащихся в них алмазов.

2. В плохо обнаженных районах, к числу которых относятся все кимберлитовые поля Сибирской платформы, для расшифровки важнейших деталей структурно-тектонического строения осадочного чехла решающее значение имеют всесторонние исследования мегатрециноватости, и в первую очередь плотности и ориентировки гидросети.

3. В районах, где после внедрения кимберлитов тектономагматическая деятельность в значительных масштабах не проявлялась, наблюдается отчетливая приуроченность кимберлитового вулканизма к площадям с повышенной плотностью (густотой) гидросети, характерной для наиболее трещиноватых и поэтому особо проницаемых для кимберлитовых расплавов участков земной коры.

4. Площадные схемы, отражающие протяженность различно ориентированных водотоков, позволяют выявлять главнейшие особенности и структурный рисунок мегатрециноватости и осуществлять на этой основе структурное районирование терри-

тории. Специальными полевыми работами проверена и подтверждена идентичность ориентировки мега- и макротрешиноватости в пределах выделенных таким способом однородных блоков земной коры.

5. Установлена четкая приуроченность кимберлитовых тел каждого отдельно взятого поля в целом к ограниченному блоку земной коры, обладающему изотропной ориентировкой текtonической трещиноватости, или к своеобразной спирально-вихревой структуре. Благодаря этому впервые открылась возможность определять структурные границы полей вместо ранее принимавшихся регистрационно-геометрических контуров, которые проводились путем очерчивания по крайним диатремам.

6. Различная проницаемость глубинных и приповерхностных горизонтов земной коры отражалась на скорости подъема кимберлитовых расплавов, что в свою очередь приводило к изменчивости количества выделявшихся плутонических и гипабиссальных вкрапленников. Результаты тренд-анализа количественных соотношений таких вкрапленников в каждом отдельно взятом поле позволяют заключить, что путями проникновения расплавов на плутоническом этапе (глубина первые десятки километров) являлись 1—2 изометричных или вытянутых \ в плане участка (зоны) повышенной проницаемости, а на гипабиссальном этапе (глубина первые километры) — несколько связанных или разобщенных в пространстве сравнительно небольших по площади зон проницаемости. Сделан вывод о разветвлении проницаемых зон по мере приближения к земной поверхности.

7. В районах блокового строения земной коры изолинии минимальных значений «гипабиссального» показателя проницаемости оконтуривают территорию, которая по очертаниям и размерам сходна с участками, отличающимися от окружающих площадей по характеру и структурному рисунку мегатрешиноватости, а также по распределению кимберлитов.

8. Выявленная зависимость между петрологическими, химическими особенностями и относительным возрастом кимберлитов позволяет выделять стадии и этапы вулканизма в пределах любого отдельно взятого поля, а также строить временные развертки вулканических процессов.

9. Временные развертки разделяются на два главных типа, применительно к одному из которых можно говорить о зонально-временной структуре центрального, а ко второй — о зонально-временной структуре линейного типа. Анализ полученных схем развертки процесса формирования кимберлитовых полей во времени позволяет заключить, что в полях центрального типа вулканизм начинался преимущественно в средней части, распространялся во все стороны и затухал на периферии поля. В полях, временная структура которых относится к линейному типу, кимберлитовый вулканализм начинался главным образом

в узкой линейной зоне, проходящей через все поле, и распространялся в обе стороны от нее к противоположным границам его.

10. Опираясь на результаты опробования и ранее установленную связь содержания алмазов в кимберлитах с химическим составом, а последнего с последовательностью внедрения этих пород, можно выделять наиболее продуктивные стадии и этапы вулканизма в процессе образования каждого поля.

11. Предложены количественные критерии выделения вероятных рудовмещающих дислокаций внутри каждого отдельно взятого поля. На примере наиболее изученных полей устанавливается, что к линиям таких дислокаций приурочено 96—100%, а к местам взаимного пересечения их 70—85% всех известных в этих полях кимберлитовых тел.

12. Анализ распределения одиночных тел и линейных групп диатрем, возникших на различных стадиях и этапах, по выделенным рудовмещающим дислокациям позволяет устанавливать направления тектонических напряжений в ходе всего формирования поля и особенно в продуктивные периоды.

13. Логическим завершением проведенных исследований явилась разработка методических приемов реставрации еще не выявленных, но, по всей вероятности, существующих элементов структуры в кимберлитовых полях — продолжений рудовмещающих дислокаций и связанных с ними, но еще не найденных трубок и даек. При этом учитываются структурные особенности мегатрещиноватости, вероятная принадлежность к продуктивному или непродуктивному этапу, степень «кимберлитонасыщенности» и некоторые другие характеристики предполагаемых рудовмещающих дислокаций.

14. При максимальной благоприятности всех показателей места пересечения намечаемых (прогнозируемых) рудовмещающих дислокаций наиболее перспективны на обнаружение новых богатых алмазами кустов или одиночных диатрем. Они рекомендуются как участки первой очереди для детальных поисковых работ. В случаях менее благоприятного сочетания показателей, принимаемых в качестве аргументов прогнозирования, выделяются участки второй, третьей и четвертой очереди, где теоретическая вероятность нахождения богатых алмазами диатрем убывает в порядке их перечисления.

15. Суммарная площадь разноочередных участков в десятки, а участков первой очереди в сотни раз меньше площади соответствующего кимберлитового поля. Отсюда следует, что предлагаемые методы анализа структуры кимберлитовых полей и среднемасштабного прогнозирования позволяют значительно уменьшить площади, в пределах которых целесообразно проводить детальные геологоразведочные работы. В итоге открывается возможность существенного сокращения затрат средств

**и времени в расчете на каждое вновь открываемое месторождение алмазов.**

Из числа актуальных задач дальнейших исследований в области коренных месторождений алмазов назовем лишь две, которые непосредственно вытекают из затронутых в этой монографии проблем.

1. В качестве ближайшей задачи должен быть признан анализ структуры всех важнейших кимберлитовых полей с помощью вышеизложенных методов. Получаемые в процессе исследований прогнозы и рекомендации при оперативных проверках будут способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ, а по принципу обратной связи позволят уточнять и совершенствовать методы исследований и прогноза.

2. Второй задачей, работы по решению которой могут считаться новым этапом в познании коренных месторождений алмазов, является изучение механизма и условий образования кимберлитовых трубок и даек как основы для разработки методов крупномасштабного прогнозирования коренной алмазоносности.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. В., Дьяков А. Г. Алмазоносные формации Сибирской платформы и некоторые закономерности распространения алмазоносных месторождений.—В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Вып. 6. Якутск, 1961, с. 5—16.
2. Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л., Гостоптехиздат, 1962, 396 с.
3. Арсеньев А. А. О закономерности размещения кимберлитов в восточной части Сибирской платформы.—Докл. АН СССР, 1961, т. 137, № 5, с. 1170—1173.
4. Аглаков И. П. Тектоника северо-восточной части Сибирской платформы.—В кн.: Тектоника северо-восточной части Сибирской платформы и Предтаймырского прогиба. Л., Гостоптехиздат, 1960, с. 3—169. (Тр. НИИГА, т. 106.).
5. Бабаян Г. Д., Молчанов Ю. Д., Саврасов Д. И. Отражение разломной тектоники Малоботубинского района в гравитационном поле.—В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 97—100.
6. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. М., Изд-во АН СССР, 1962. 608 с.
7. Богатых И. Я., Романов Н. Н. К методике поисков кимберлитовых тел в Мархию-Алакитском поле.—В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 76—81.
8. Борисов Г. К. Применение статистического анализа для изучения особенностей пространственного распределения кимберлитовых тел.—Геология и геофизика, 1973, № 8, с. 54—61.
9. Васильев В. Г., Ковальский В. В., Черский Н. В. Проблема происхождения алмазов.—Якутск, Якут. кн. изд-во, 1961. 152 с.
10. Духанин С. Ф., Лопатин Б. Г. К вопросу о проявлении синийского вулканизма на северо-востоке Сибирской платформы.—Информ. бюл. НИИГА, 1961, вып. 25, с. 45—48.
11. Дьяков А. Г. О номенклатуре алмазоносных территорий.—Геология и геофизика, 1967, № 4, с. 145—150.
12. Жуков В. В., Горина И. Ф., Пинчук Л. Я. Кайнозойские алмазоносные россыпи Анабаро-Оленёкского междуречья. Л., Недра, 1968. 144 с. (Тр. НИИГА, т. 156).
13. Зведер Л. Н., Щукин В. Н. К вопросу о природе разрывов на Дальнем кимберлитовом поле.—Геология и геофизика, 1960, № 6, с. 132—134.
14. Иванов М. К. Вулканогенное рудообразование в траппах.—В кн.: Эволюция вулканизма в истории Земли. М., 1973, с. 306—308. (Мат-лы I Всесоюз. палеовулканол. симпозиума).
15. Исаев Г. А., Ниж Ю. А. Предпосылки применения метода переходных процессов при поисках кимберлитовых тел.—В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 101—115.

16. Карадаев Г. И., Ватлин Б. П., Захарова Т. Л. Методика комплексной геологической интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Новосибирск, Наука, 1973. 168 с. (Тр. Ин-та геологии и геофизики, вып. 19).
17. Кимберлитовые породы и пикроритовые лорпириты северо-восточной части Сибирской платформы/В. А. Милашев, М. А. Крутоярский, М. И. Рабкин, Э. Н. Эрлих. М., Госгеолтехиздат, 1963. 216 с.
18. Клименко Н. Ф., Широкая Т. Г. Об эффективности применения электроразведки методами ДОЗ и СДВ-радиокип для разбраковки магнитных аномалий.—В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 82—86.
19. Кюнинг Л. Д. О выделении систем трещин векторным методом.—Труды ВНИГРИ, 1962, вып. 193, с. 192—218.
20. Ковальский В. В. Кимберлитовые породы Якутии и основные принципы их петрогенетической классификации. М., Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.
21. Кошечкин Б. И. Роль эндогенного фактора в формировании рельефа западной части Кольского полуострова (бассейны рек Поты и Лоты).—В кн.: Аэрометоды при поисках полезных ископаемых и геологическом картировании. М., Наука, 1964.
22. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
23. К характеристике трубок взрыва Малоботубинского района/А. Д. Харьков, Е. И. Борис, И. Н. Иванич, В. Н. Щукин.—Сов. геология, 1972, № 8, с. 51—65.
24. Микролиты ильменита из кимберлитов Лучаканского района/В. А. Благулькина, В. А. Губанов, В. Н. Уманец, С. И. Футергендлер.—В кн.: Минералы и парагенезисы минералов эндогенных месторождений. Л., Наука, 1975, с. 11—18.
25. Милашев В. А. К вопросу о связи гидросети с разломами и тектонической трещиноватостью пород.—Информ. бюл. НИИГА, 1958, вып. 7, с. 64—66.
26. Милашев В. А. Применение структурного анализа к кимберлитовым телам.—Геология и геофизика, 1960, № 6, с. 49—59.
27. Милашев В. А. Вторичные изменения кимберлитов.—В кн.: Сборник статей по геологии и нефтегазоносности Арктики. Л., Гостоптехиздат, 1962, с. 165—185.
28. Милашев В. А. Термин «кимберлит» и классификация кимберлитовых пород.—Геология и геофизика, 1963, № 4, с. 42—52.
29. Милашев В. А. Парагенетические ассоциации вторичных породообразующих минералов в кимберлитовых породах.—Геохимия, 1963, № 6, с. 557—564.
30. Милашев В. А. Петрохимическая характеристика кимберлитовых пород.—Геология и геофизика, 1964, № 3, с. 138—142.
31. Милашев В. А. Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности. Л., Недра, 1965. 160 с. (Тр. НИИГА, т. 139).
32. Милашев В. А. Причины расхождения результатов определения абсолютного возраста кимберлитов с геологическими данными о времени их образования.—Учен. зап. НИИГА, 1968, вып. 12, с. 181—188.
33. Милашев В. А. Геохимические особенности и термодинамические условия образования кимберлитов.—В кн.: Кора и верхняяmantия Земли. М., Наука, 1968, с. 112—118. (Докл. сов. геологов на XXIII сессии МГК. Пробл. 1).
34. Милашев В. А. Факторы локализации кимберлитов.—В кн.: Кимберлит, вулканизм и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л., НИИГА, 1971, с. 48—56.
35. Милашев В. А. Фациальная принадлежность кимберлитов и перспективы алмазоносности северо-восточной части Сибирской платформы.—Там же, с. 155—157.
36. Милашев В. А. Основные принципы и оптимальные схемы районирования кимберлитовых провинций.—Сов. геология, 1972, № 1, с. 125—128.

37. Милашев В. А. Физико-химические условия образования кимберлитов. Л., Недра, 1972. 176 с.
38. Милашев В. А. Зависимость термодинамического режима и масштабов кимберлитового вулканизма от проницаемости земной коры.—В кн.: Россинная алмазоносность Средней Сибири. Л., НИИГА, 1973, с. 39—43.
39. Милашев В. А. Кимберлитовые провинции. Л., Недра, 1974. 238 с.
40. Милашев В. А. Основные тенденции размещения и факторы локализации кимберлитов.—В кн.: Минералогия, геохимия и прогнозирование алмазных месторождений. Л., НИИГА, 1974, с. 78—88.
41. Милашев В. А. Главнейшие принципы и критерии прогнозирования коренной алмазоносности.—В кн.: Минералогия, геохимия и прогнозирование алмазных месторождений. Л., НИИГА, 1974, с. 89—100.
42. Милашев В. А. Строение, условия образования, алмазоносность и прогнозирование кимберлитовых провинций.—В кн.: Материалы к V Всесоюзному петрографическому совещанию. Алма-Ата, Наука, 1976, с. 65—68.
43. Милашев В. А. К теории прогнозов коренной алмазоносности.—Геология и геофизика, 1977, № 4, с. 9—17.
44. Милашев В. А. Розенберг В. И. Структура коры и размещение кимберлитов Сибирской платформы.—Геология и геофизика, 1974, № 1, с. 61—73.
45. Милашев В. А., Табунов С. М. Кимберлитовые провинции мира.—Сов. геология, 1973, № 1, с. 48—65.
46. Милашев В. А., Табунов С. М., Томановская Ю. И. Кимберлитовые поля северо-восточной части Сибирской платформы.—В кн.: Кимберлитовый вулканит и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л., 1971, с. 5—42. (НИИГА).
47. Миллер П., Дж. Кан. Статистический анализ в геологических науках. М., Мир, 1965. 482 с.
48. Михайлов Б. М. Геология и полезные ископаемые западных районов Либерийского щита. Л., Недра, 1969. 180 с.
- (49). Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтегазоносных областей/И. Г. Гольбрайх, В. В. Забалуев, А. Н. Ласточкин и др. Л., Недра, 1968. 152 с.
50. Наумов А. Д., Щукина Н. А. О сопряженности направления тектонических трещин и долин в бассейне р. Вилья.—Учен. зап. Саратов. ун-та, 1960, т. 74.
51. Нижников К. Н., Богатых И. Я., Богатых М. М. Интрузивное кимберлитовое тело в Алакитском поле.—В кн.: Магматические образования северо-востока Сибирской платформы. Ч. I. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1975, с. 158—168.
52. Одинцов М. М. Материалы по геологии и алмазоносности Сибирской платформы.—В кн.: Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. Иркутск, 1958, с. 37—76. (Тр. Вост.-Сиб. фил. АН СССР, сер. геол., вып. 14).
53. Особенности распределения ксенолитов в кимберлитовых породах трубы Удачная/В. К. Маршинцев, В. Е. Турский, К. Н. Мигалкин, Н. С. Николаев.—В кн.: Магматические образования северо-востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1975, с. 132—146.
54. Особенности состава, строения и механизма формирования кимберлитовых пород трубы Удачная—Восточная/В. К. Маршинцев, В. Б. Ковалевский, К. Н. Мигалкин и др.—В кн.: Магматические образования северо-востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1975, с. 112—131.
55. Построение неполиномиальных поверхностей в тренд-анализе.—В кн.: Программы для ЭЦВМ БЭСМ-4. Вып. 13—24. Л., 1976, с. 23—34.
56. Потуроев А. А. О трещинно-разрывной тектонике Далдыно-Алакитского района.—В кн.: Магматические образования северо-востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1975, с. 57—72.
57. Потуроев А. А. Структурные взаимоотношения кимберлитовых трубок с вмещающими породами.—В кн.: Геология, петрография и геохимия

магматических образований северо-востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1976, с. 12—22.

58. *Ложленко Н. П.* Минералогия и петрология ксенолитов глубинных ультраосновных пород в кимберлитах Далдыно-Алакитского района, Якутия. Новосибирск, Наука, 1974, 26 с.

59. *Радкевич Е. А.* О соотношении крупных и мелких разрывных нарушений.— В кн.: Проблемы тектонофизики. М., Госгеолтехиздат, 1960, с. 168—174.

60. *Романов Н. Н., Эринчек Ю. М.* Возможности магниторазведки при поисках кимберлитовых трубок в Якутской провинции.— В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 64—75.

61. *Рожков И. С., Ковалевский В. В.* Условия образования и размещения кимберлитовых тел в восточной части Сибирской платформы.— В кн.: Вопросы металлогенеза. М., Недра, 1965, с. 168—181.

62. *Саврасов Д. И.* Слабомагнитные кимберлитовые тела и предпосылки их обнаружения магниторазведкой.— В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 87—96.

63. *Сарсадских Н. Н.* Структурный фактор размещения кимберлитов на Сибирской платформе и прогнозирование коренной алмазоносности.— В кн.: Прогнозирование и методы поисков месторождений никеля, олова и алмазов в Советской Арктике. Л., 1968, с. 72—76. (НИИГА).

64. *Соболев Н. В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, Наука, 1974, 262 с.

65. *Спижарский Т. Н.* Геологическое районирование Сибирской платформы и основные закономерности размещения полезных ископаемых на ее территории.— В кн.: Развитие производительных сил Восточной Сибири. М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 29—43.

66. *Структурно-тектонические критерии размещения кимберлитовых полей в южной части Якутской провинции/В. А. Биланенко, Г. Д. Балакшин, В. А. Побережский, В. М. Ушаков.*— В кн.: Геология, петрография и геохимия магматических образований северо-востока Сибирской платформы. Якутск, Изд-во Якут. фил. СО АН СССР, 1976, с. 5—11.

67. *Структурно-тектонические условия и геофизические критерии локализации кимберлитового магматизма восточной части Сибирской платформы/К. Б. Мокшанцев и др.*— В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, Якут. кн. изд-во, 1976, с. 16—39.

68. *Табунов С. М.* К вопросу о связи кимберлитового вулканализма с разрывными нарушениями в земной коре.— В кн.: Кимберлитовый вулканализм и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л., НИИГА, 1971, с. 62—64.

69. *Табунов С. М.* Размеры и алмазоносность кимберлитовых диатрем.— Там же, с. 144—147.

70. *Трофимов В. С.* Некоторые закономерности размещения алмазных месторождений на Сибирской платформе.— В кн.: Алмазы Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 142—153. (Тр. Якут. фил. СО АН СССР, сер. геол., сб. 6).

71. *Турский А. А.* Некоторые особенности структуры Далдыно-Алакитского кимберлитового поля.— Зап. ЛГИ, 1969, т. 58, вып. 2, с. 85—90.

72. *Философов В. П.* Некоторые теоретические вопросы морфометрического метода выделения тектонических структур.— В кн.: Морфометрический метод при геологических исследованиях. Саратов, Изд-во Саратов. ун-та, 1963, с. 6—23.

73. *Францессон Е. В.* Об особенностях строения кимберлитовых полей.— Геология рудных месторождений, 1976, № 4, с. 66—69.

74. *Францессон Е. В., Илупин И. П., Ваганов В. И.* Петрологические и структурные признаки алмазоносности кимберлитовых полей.— В кн.: Ма-

териалы к V Всесоюзному петрографическому совещанию. Алма-Ата, Наука, 1976, с. 69—71.

75. Чарушин Г. В. Изучение тектонической трещиноватости осадочных пород юга Сибирской платформы.— В кн.: Проблемы тектонофизики. М., Госгеолтехиздат, 1960, с. 216—229.

76. Чарушин Г. В. О связи гидросети и тектоники в Иркутском амфитеатре.— Изв. ВГО, 1960, т. 92, вып. 5, с. 406—419.

77. Черский И. Д. К вопросу о следах древних ледников в Восточной Сибири.— Изв. Вост.-Сиб. отд. ВГО, Иркутск, 1881, т. 12, № 4—5.

78. Эрлих Э. Н. О тектонике центральной части Суханского прогиба и закономерностях распределения кимберлитовых тел в бассейне р. Оленек.— Инф. бюл. НИИГА, 1958, вып. 12, с. 16—25.

79. Bardet M. G. Controle geotectonique de la répartition des venues diamantifères dans le monde.— Chronique des Mines et de la Rech. Min., 1964, № 328—329.

80. Blanched P. H. Development of fracture analysis as exploration method.— B.A.P.G., 1957, vol. 4, № 8.

81. Du Toit A. L. The diamondiferous and allied pipes and fissures.— Eleventh Ann. Rept. Geol. Comm. Cape of the Good Hope, 1906.

82. Grantham D. R., Allen J. B. Kimberlite in Sierra Leone.— Overs. Geol. Min. Rev., 1960, vol. 8, № 1, p. 5—25.

83. Harger H. S. The diamond pipes and fissures of South Africa.— Trans. Geol. Soc. S. Africa, 1906, vol. 8, p. 110—134.

84. Hawthorne J. B. Kimberlite sills.— Trans. Geol. Soc. S. Africa, 1968, vol. 71, pt. 3, p. 291—311.

85. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe.— Physics Chem. Earth, 1975, vol. 9, p. 1—15.

86. Henderson G. Air-photo linaments in Mpanda area western province, Tanganyika, Africa.— B.A.P.E.S., 1960, vol. 44, № 1.

87. Hodgson R. A. Genetic and geometric relations between structures in basement and overlying sedimentary rocks, with examples from Colorado plateau and Wyoming.— B.A.P.G., 1961, vol. 49, № 7.

88. Knopf D. Les kimberlites et les roches apparentées de Côte D'Ivoire.— SODEMJ — Abidjan, 1970, p. 202.

89. McCallum M. E., Eggler D. H. Mineralogy of the Sloan diatreme, a kimberlite pipe, in northern Larimer County, Colorado.— Amer. Miner., 1971, vol. 56, № 9—10, p. 1735—1749.

90. Sharp W. E. A plate tectonic origin for diamond-bearing kimberlites.— Earth and Planet. Sci. Lett., 1974, vol. 21, № 4, p. 351—354.

ИВ № 2916

ВЛАДИМИР АРКАДЬЕВИЧ МИЛАШЕВ

---

СТРУКТУРЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ

Редактор издательства Т. М. Пономарева  
Переплет художника В. Т. Левчевко  
Техн. редактор Н. П. Старостина  
Корректор Н. Н. Степанова

Сдано в набор 03.01.79. Подписано в печать 10.07.79. М-25712.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл. печ. л. 11½. Уч.-изд. л. 12.24. Тираж 1200 экз.  
Заказ № 11/476. Цена 65 коп.

Издательство «Недра», Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,  
ул. Фарфоровская, 12.  
Типография № 2 Ленупримзатв. 192104, Ленинград, Литейный пр., 55.