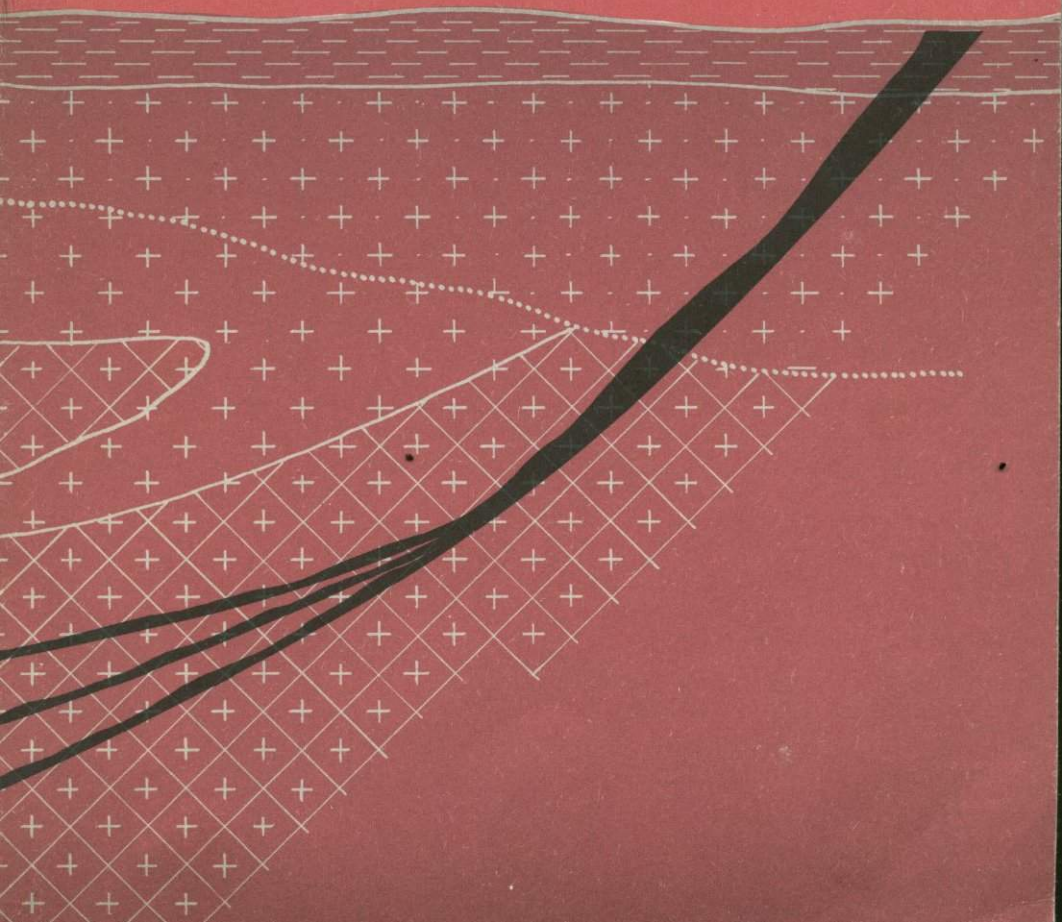


Б.М.Зубарев

ДАЙКОВЫЙ ТИП АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



Б.М.Зубарев

ДАЙКОВЫЙ ТИП АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

5352



МОСКВА «НЕДРА» 1989

Зубарев Б.М. Дайковый тип алмазных месторождений. — М.: Недра, 1989. — 183 с., ил. — ISBN 5-247-01459-6.

Описаны кимберлитовые дайки, выявленные в известных алмазоносных провинциях мира (Африкано-Аравийской, Южно-Американской, Индостанской, Австралийской, Северо-Китайской и Сибирской). Рассмотрены их строение, закономерности размещения, степень алмазоносности, петрографическая и минералогическая характеристики. Подробно охарактеризованы различные методы поисков кимберлитовых даек и их разведки, технология обогащения кимберлитов и извлечения алмазов.

Для геологов, занимающихся металлогенией, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых.

Табл. 29, ил. 22, список лит. — 32 назв.

Рецензент: *акад. В.И. Смирнов*

3 $\frac{1804060000-043}{043(01)-89}$ 95-89

ПРЕДИСЛОВИЕ

В природе известно несколько типов коренных месторождений алмазов, связанных с кимберлитовыми породами: трубки, дайки, жилы и силлы. Наиболее хорошо изучены кимберлитовые трубки. Однако изучение россыпных месторождений алмазов, образующихся за счет разрушения коренных источников, показывает, что не всегда наличие алмазоносных россыпей можно объяснить разрушением только кимберлитовых алмазоносных трубок. Известны случаи нахождения крупных россыпей алмазов в районах, где нет кимберлитовых трубок или где трубки не содержат алмазов. В подобных случаях коренным источником алмазов, очевидно, являлись не трубки, а другие морфогенетические типы кимберлитовых тел — дайки, жилы, силлы, — поставляющие в россыпи высококачественные алмазы.

В зарубежных алмазоносных провинциях, главным образом в Африке и Бразилии, известны коренные месторождения, связанные с дайками, жилами и силлами, и россыпи, сформировавшиеся при их денудации. В некоторых африканских странах такие месторождения эксплуатируются, однако геологически они изучены очень слабо.

Книга посвящена анализу дайкового типа коренных месторождений алмазов, разработке научных основ методики их поисков, разведки и геолого-экономической оценки.

Автор несколько лет занимался изучением месторождений алмазов в Гвинейской Республике. В этой стране алмазоносные дайки развиты широко. Они встречаются в различной геологической обстановке, характеризуются разной морфологией и неодинаковыми размерами, степенью алмазоносности, а также составом. Для дайкового типа алмазных месторождений этой страны были разработаны комплекс поисковых методов, методика разведки и геолого-экономической оценки, предложена система разработки и проводилась эксплуатация. Всё это позволило разработать научные основы поисков, разведки и оценки этого не известного у нас типа месторождений алмазов.

Таким образом, в основу книги положен материал по детальному изучению кимберлитовых даек Гвинейской Республики. На этом же материале разработаны и основные поисковые критерии и методы. Кроме того, обобщен доступный материал по дайковому кимберлитовому комплексу всех алмазоносных провинций мира, который позволил уточнить и дополнить эти критерии и методы.

Большую помощь в работе автору оказали В.М. Зуев, В.В. Ковальский, Ф.В. Каминский, В.А. Калинин, В.А. Максимов, Б.И. Прокопчук, В.В. Рудаков, Н.В. Соболев, А.В. Синицын, П.Д. Трофименко, А.Д. Харьков, Е.Д. Черный, давшие ценные советы и замечания.

ГЛАВА I

ГЕОЛОГИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДАЕК

АФРИКАНО-АРАВИЙСКАЯ ПЛАТФОРМА

ЗАПАДНАЯ АФРИКА

В пределах Западно-Африканской алмазоносной провинции расположено наибольшее количество кимберлитовых даек. Благодаря работам И.Т. Козлова, Б.М. Михайлова [10], Б.В. Владимирова и др. [4], Д. Кнопфа [25], М.Ж. Бардета [21] и других они изучены детально. Для лучшего понимания закономерностей размещения и условий образования кимберлитовых тел этой провинции рассмотрим основные особенности ее геологического строения.

Строение и этапы геологического развития

Все известные к настоящему времени кимберлитовые тела Сьерра-Леоне, Либерии, Мали и Кот-д'Ивуара сосредоточены на территории Леоно-Либерийского массива (в его западной части), являющегося, по В.Е. Ханну [15], одним из крупнейших и древнейших докембрийских массивов Африкано-Аравийской платформы. Он претерпел интенсивную гранитизацию, что выразилось в широком распространении гранитов, среди обширных полей которых сохранились реликты метаосадочных и метавулканогенных пород архея и раннего протерозоя.

Наиболее древние архейские образования развиты в западной части массива — районы Либерии и Сьерра-Леоне, отчасти Гвинеи и Кот-д'Ивуара. Они представлены глубокометаморфизованными и гранитизированными осадочно-вулканогенными породами серий Камбуи, Касила, Симанду и Дабола. Это разнообразные гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, гондиты, гранулиты, мигматиты, а также амфиболиты, метаморфизованные в условиях от амфиболитовой до гранулитовой фаций и насыщенные метасоматическими гранитами и чарнокитами. Древнейшими из них являются гнейсы серии Камбуи (Сьерра-Леоне, Либерия) — 3020–2890 млн. лет (по циркону и галениту). Для чарнокитов серии Симанду (юго-запад Кот-д'Ивуара) определения возраста по циркону соответствуют 2875–2676 млн. лет [18].

В северной и восточной частях Леоно-Либерийского массива широко развиты раннепротерозойские осадочно-вулканогенные породы серии Биррим, с которыми тесно связаны син- и посттектонические граниты. Эти породы образуют широкую Бирримскую мегагеосинклиналь, охватывающую территории Кот-д'Ивуара и Ганы. Она представляет собой чередование синклинориев, выполненных осадочно-вулканогенными отложениями, и широких антиклинальных зон, образованных гранитами с крупными блоками добирримских мигматитов. С отложениями Бирримской серии Леоно-Либерийского массива связаны наиболее древние проявления алмазоносности Западно-Африканской провинции [5].

Конец раннего протерозоя ознаменовался интенсивными проявлением эбурнейского орогенеза (соответствующего, по В.Е. Хаину, раннекарельской складчатости СССР). Процессы эбурнейской складчатости и гранитизации (2100–1850 млн. лет) охватили не только раннепротерозойские прогибы, но и более древние кратоны. Реликты древнего кратона, по Ю. Шуберту и А. Фор-Мюре [18], сохранились в Симандийском горсте (Либерия, юго-запад Кот-д'Ивуара), который представляет собой наиболее глубоко денудированную часть Леоно-Либерийского массива. По их мнению, эпиконтинентальные сравнительно маломощные толщи серии Симанду представляют собой образования древнейшего платформенного чехла. Простирание раннедокембрийских комплексов субмеридиональное с отклонением на юго-юго-востоке к северо-востоку, а на севере — к северу-западу.

После эбурнейской тектономагматической эпохи последовали длительная денудация и отложение субплатформенных, преимущественно терригенных осадков, залегающих трансгрессивно и с резким угловым несогласием на толщах Биррима и древних гранитах. К ним относятся песчаники, конгломераты и кварциты серий Тарква (юго-восточная часть Леоно-Либерийского массива), Рокел, Лекаро и других (западная окраина массива), которые обычно выполняют грабен-синклинали. Они прорваны силлами и дайками габбродолеритов и малыми интрузиями преимущественно кислого состава возраста 1645 млн. лет [15]. К конгломератам базальных горизонтов серии Тарква приурочены россыпные проявления золота и алмазов.

Начиная с позднего докембрия описываемая территория претерпевает устойчивое воздымание. Отложения этого возраста (терригенные образования серии фалеме и ее возрастные аналоги) распространены крайне ограниченно и залегают несогласно на более древних породах. На значительной части массива перерыв в осадконакоплении составляет более 1600 млн. лет и на породах архейско-раннепротерозойского возраста лежат третичные латериты и кайнозойские отложения речных долин. На северной (синеклиза Таудени) и западной (Западно-Гвинейская синеклиза) окраинах массива вследствие плавного прогибания пород фундамента и трансгрессии моря происходило накопление терригенных песчано-сланцевых комплексов раннего (кембрий, ордовик, силур) и среднего (девон) палеозоя. В конце девона в связи с поднятием территории Африки начался этап континентального развития массива.

Главные циклы базитового и щелочно-ультраосновного магматизма

В результате глубокого метаморфизма наиболее древние проявления магматизма основного и ультраосновного состава превращены в амфиболиты и зеленокаменные породы, первичную природу которых трудно установить. Алмазоносность терригенных образований раннего (серия Биррим) и среднего (серия Тарква) протерозоя, установленная на территории Ганы и Кот-д'Ивуара, позволяет предполагать существование в Западно-Африканской провинции первично-алмазоносных пород ранне-

Т а б л и ц а 1

Хронологическая последовательность образования кимберлитовых пород и долеритов Западной Африки. По Д. Кнопфу [25]

| Возраст, млн. лет | Геологические события и место проявления | Азимут направления глубинных разломов, градус |
|-------------------|--|---|
| 2700 | Образование Гондваны | 170 |
| 2400 | Кимберлиты? (Саниквелли — Либерия, Тортья — Кот-д'Ивуар, Биррим — Гана и др.) | — |
| 2200 | Долериты района Ман (массив Ман — Кот-д'Ивуар) | — |
| 2000—1800 | Эбурнейская орогенезия | Северо-северо-восток |
| 1400 | Кимберлиты (районы Сегела, Конангоно — Кот-д'Ивуар и Кенеба — Мали) | 170, 130 |
| 1000 | Долериты (юго-запад Кот-д'Ивуара) | 130 |
| 400—200 | Долериты (Гвинея, Кот-д'Ивуар, Мали) | 110, 60 |
| 100 | Кимберлиты (район Сефаду, Сьерра-Леоне, Мацента, р. Нзи, Батие-Буна — Кот-д'Ивуар) | 170, 110, 60 |

протерозойского (добирримского) возраста, состав и генезис которых пока не установлены. К реликтам этих пород Д. Кнопф [25] относит графитовые сланцы Саниквелли (Либерия), в корях выветривания которых встречаются алмазы. Н. Джаннер описал в Гане ультраосновные алмазоносные рассланцованные породы, по его предположению отвечающие добирримским кимберлитам. Породы основного состава близкого возраста слагают древний массив Ман на востоке Кот-д'Ивуара. Эбурнейский орогенез сильно изменил и уничтожил большинство древних первично-алмазоносных пород.

Среднепротерозойский базитовый магматизм развит ограниченно. Долериты этого возраста (около 1700 млн. лет), образующие дайки и sillы, распространены среди отложений тарквайской серии в Гане и на юго-западе Кот-д'Ивуара.

Проявления щелочно-ультраосновного магматизма (кимберлиты, лампрофиры, альнеиты) позднепротерозойского возраста известны на территории Кот-д'Ивуара, Либерии и Мали [25]. Возраст кимберлитов и альнеитов района Сегела (1100—1400 млн. лет) определен стронциевым методом по слюде. Последняя цифра уточнена определением возраста основной массы породы по изотопам стронция и свинца изохронным методом [21]. Возраст дайки Конангоно того же района по палеомагнитным данным равен 1400 млн. лет. В Мали трубка Секномата датирована стронциевым методом (по флогопиту) — 1072 ± 24 млн. лет. В течение почти всей палеозойской эры был период относительного покоя, лишь в начале мезозоя произошли интенсивные подвижки, сопровождающиеся массовым внедрением sillов и даек основных пород трапповой формации, которые характерны для всей Африки и широко известны в литературе под названием "долериты Карру". Силлы наиболее рас-

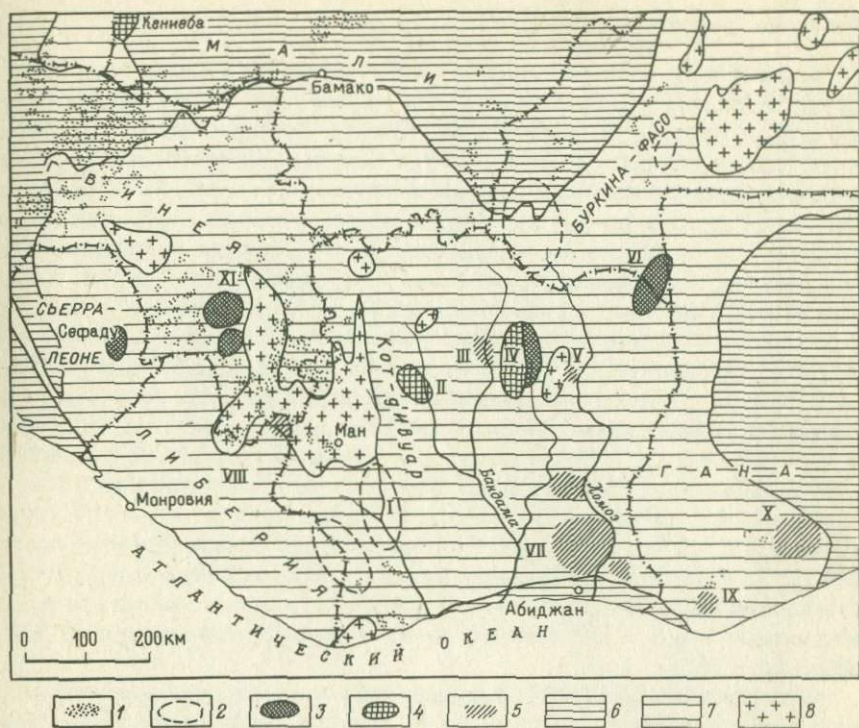


Рис. 1. Расположение кимберлитов и долеритов в Западно-Африканском кратоне: 1 — долериты; 2 — предполагаемые площади распространения долеритов; 3 — площади молодых кимберлитов; 4 — площади древних кимберлитов (1400–1000 млн. лет); 5 — площади распространения зоны древних кимберлитов (свыше 1460 млн. лет); 6 — складчатые формации покрова; 7 — породы цоколя (2000 млн. лет); 8 — породы основания (2700 млн. лет). Алмазоносные площади: I — Сасандра, II — Сегела, III — Бу-Бандама, IV — Хоут-Нзи, V — Дабакола, VI — Батие-Буна, VII — Юго-Восточная, VIII — Саноквеле, IX — Бонза, X — Бирим, XI — Масента

пространены в краевых частях щита, дайки характерны для его центральных частей — они, как правило, секут древние докембрийские структуры.

Позднемезозойская эпоха в Западной Африке, как и на территории всей Африкано-Аравийской платформы, ознаменовалась широким проявлением щелочно-ультраосновного вулканизма, главным образом кимберлитов. Формирование этого комплекса пород во времени связано с периодом возникновения глубинных разломов северо-западного и северо-восточного направлений. Кимберлитовые дайки этого возраста образуют несколько районов: Сефаду (Сьерра-Леоне), Масента (Гвинея), Батие-Буна (Кот-д'Ивуар). Хронологическая последовательность образования кимберлитов и основных пород Западной Африки приведена в табл. 1, а их пространственное размещение — на рис. 1.

Кимберлиты позднего протерозоя обнаружены на территории Кот-д'Ивуара и Мали [25]. В пределах Кот-д'Ивуара (рис. 2) они представлены дайками и жилами, прорывающими граниты, сланцы и мигматиты архей-раннепротерозойского возраста. Дайки и жилы ориентированы в субмеридиональном направлении, прослеживаются на расстоянии от нескольких сотен метров до 3,5 км. Дайки слегка изогнуты, а на отдельных участках имеют пережимы и смещения по плоскостям нарушения. Преобладающее простирание даек и жил 170° ; падение изменяется в интервале $40-60^\circ$, иногда до субвертикального. При приближении к дневной поверхности некоторые из них выполаживаются. На глубине нередко наблюдается расщепление на ряд более тонких жил. Мощность даек обычно не превышает 1–1,5 м, но иногда достигает нескольких метров. Встречаются жилы мощностью менее 10 см. На отдельных участках часть даек и жил обнажается, а некоторые из них прослеживаются по аномально повышенным содержаниям пикроильменита в рыхлых отложениях.

Наиболее изучены кимберлитовые дайки площади Сегела, образующие две группы: Тубабуко и Боби. В группе Тубабуко кроме основной кимберлитовой дайки мощностью 1,4 м, прослеженной на 3,5 км в субмеридиональном направлении, бурением подсечены еще четыре дайки мощностью 1–1,5 м. Падение их $30-60^\circ$ к западу, длина достигает 500–600 м (рис. 3).

Кимберлиты Тубабуко в верхней части представлены рыхлой голубовато-зеленой породой, состоящей из оливина и флогопита, а на отдельных участках только из флогопита — это слюдяные кимберлиты порфировой структуры. Псевдоморфозы по оливину размером от 1 до 10 мм погружены в микрокристаллическую основную массу, состоящую из лейст флогопита, кристалликов хромита и титаномагнетита. Из вторичных минералов в кимберлитах отмечаются тальк и хлорит, обычно развитые по серпентину. Изредка встречаются тремолит и актинолит. Эпидот образует изометричные выделения, нередко сопровождается цоизитом. Типичен кварц, образующий гранобласты и сферолиты. В сильно выветрелых разностях кимберлита отмечаются монтмориллонит и каолинит, характерно окремнение. Анализ протолочных проб из дайки Тубабуко показал наличие аксессуарных минералов: хромистой шпинели и пикроильменита (часто лейкоксенизированный); в незначительном количестве присутствуют хромсодержащий пироп, апатит, шпинель, циркон, турмалин, сфен, ставролит, гематит, лейкоксен, амфибол и эпидот.

Граниты на контакте с дайками окрашены в красный и зеленый цвет и в разной степени фенитизированы. Контакты иногда подчеркнуты прожилками кварца, халцедона и гематита. Мощность измененной зоны около 1 м. Кимберлиты сопровождаются жилами альнеита, содержащего большое количество слюды и амфибола, а также хлорита и талька. Наблюдаются все переходы от альнеитов к слюдяным кимберлитам.

Группа кимберлитовых жил Боби расположена в 15–16 км к юго-востоку от даек Тубабуко. Они характеризуются незначительной мощностью,

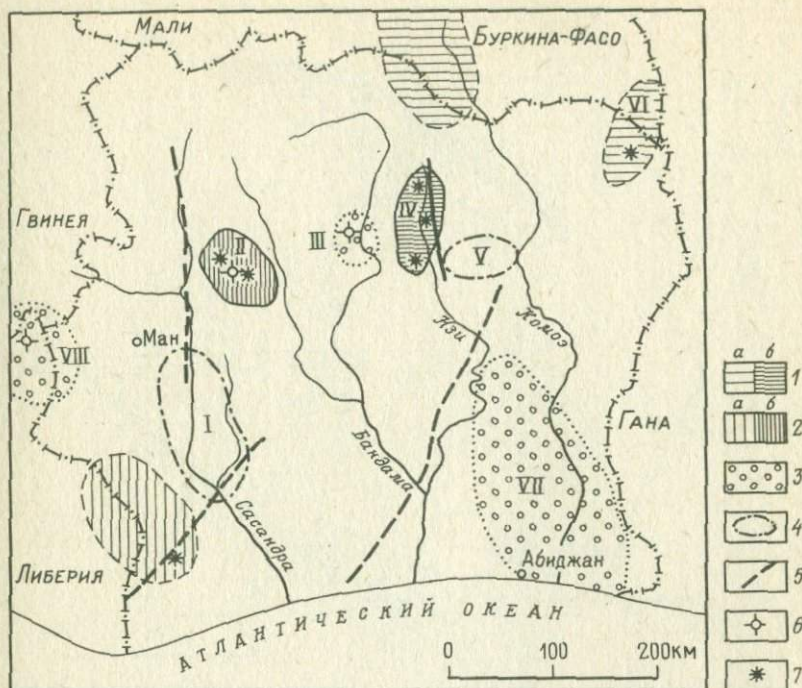


Рис. 2. Схема расположения алмазоносных площадей Кот-д'Ивуара:

1-3 площади распространения: 1 - базальтовых кимберлитов (а - установленные, б - предполагаемые), 2 - слюдяных кимберлитов (а - установленные, б - предполагаемые), 3 - древних алмазоносных конгломератов; 4 - предполагаемые алмазоносные площади; 5 - разломы; 6 - промышленные месторождения; 7 - кимберлиты. Алмазоносные площади: I - Сасандра, II - Сегела, III - Бу-Бандама, IV - Хоут-Нзи, V - Дабакала, VI - Батие-Буна, VII - Юго-Восточная, VIII - Саноквеле

прослежены в субмеридиональном направлении на 600 м при падении на восток под углом 30-60° (рис. 4).

Отмечаются дайки сложного строения, представленные двумя разновидностями (генерациями) кимберлита. Они тесно связаны с жилами альнеита, содержащего большое количество слюды и амфибола, а также хлорита и талька, и жилами лейцитового лампрофира с флогопитом, хлоритом, апатитом, сфеном и другими минералами.

К числу отличительных особенностей кимберлитов площади Сегела следует отнести низкий выход тяжелой фракции (менее 1%) и незначительное содержание парагенетических минералов-спутников. Химический состав кимберлитов и ассоциирующих с ними альнеитов приведен в табл. 2.

На площади Хоут-Нзи (см. рис. 2) в верхнем течении р. Нзи кимберлиты встречены в двух пунктах: на севере по р. Ломи (правый приток р. Нзи) и в 15 км к востоку-северо-востоку от Тафире, где обнаружена извилистая дайка сильно выветрелого базальтоидного кимберлита. Ее

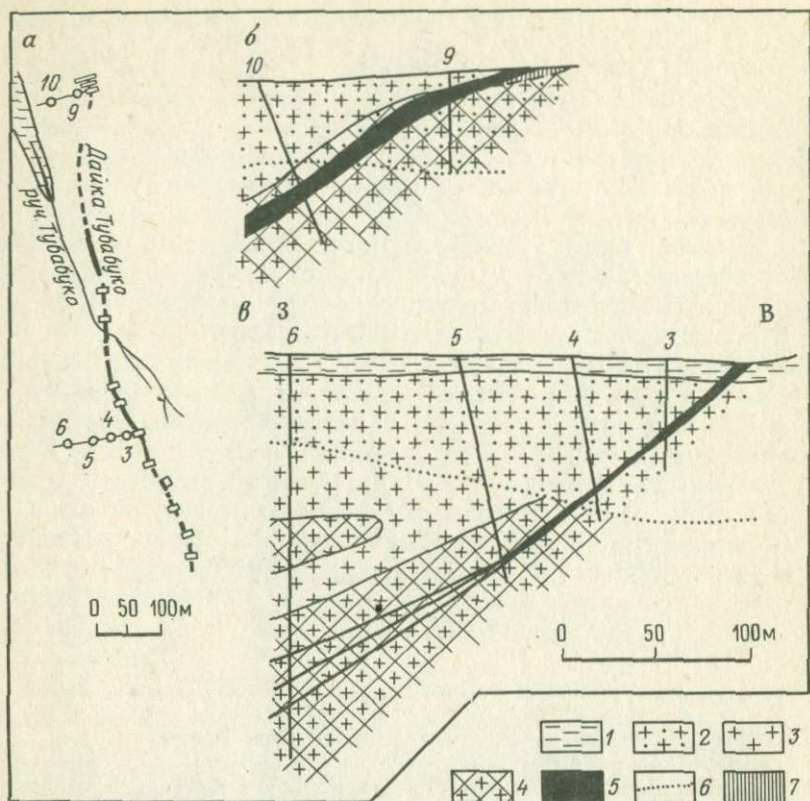


Рис. 3. План (а) и разрезы (б, в) кимберлитовой дайки Тубабуко (Кот-д'Ивуар): 1 – глины; 2 – рыхлые выветрелые граниты; 3 – граниты; 4 – фенитизированные граниты; 5 – кимберлиты; 6 – граница выветривания; 7 – отработанная площадь

мощность 0,02–0,1 м, простирание 46° , падение $70\text{--}80^\circ$ на юг. На юге площади в Конангоно известна дайка базальтоидного кимберлита мощностью 0,1 м с падением $5\text{--}10^\circ$ на северо-восток. Она сложена массивным, серпентинизированным и окварцованным кимберлитом с большим (до 10–12%) содержанием ильменита. Кроме ильменита в нем присутствуют оливин, хромистый пироп, рутил и вторичные минералы – серпентин, амфибол (?), иддингсит, хлорит, опал, халцедон, каолинит, монтмориллонит.

Слюдистые кимберлиты даек Тубабуко и Боби площади Сегела алмазоносны. В первых содержания алмазов – 1 кар/м³ при средней массе 0,10 кар, во вторых – до 10 кар/м³ при средней массе 0,33 кар. Качество алмазов хорошее, много прозрачных бесцветных камней. Часто поверхность алмазов окрашена в зеленый цвет в результате природного облучения (α -радиация). Морфология алмазов из даек Боби изучена Р. Казановой [25] для 184 кристаллов. По ее данным основная масса их (70%)

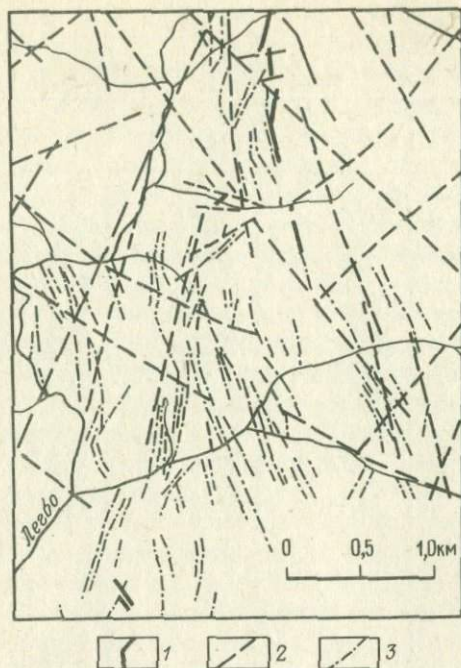


Рис. 4. Размещение кимберлитовых даек в группе Боби:
 1 — кимберлиты; 2 — разломы; 3 — оси электромагнитных аномалий.

представлена додекаэдроидами (ромбододекаэдры и гексатетраэдры с округлыми гранями), 24 % составляют алмазы переходного габитуса, 4,9 % — двойники додекаэдрических кристаллов и только 1,1 % — октаэдры. Несмотря на высокое содержание и хорошее качество алмазов, дайки практически не эксплуатируются из-за малой мощности.

Таким образом, позднепротерозойские кимберлитовые дайки Кот-д'Ивуара характеризуются рядом особенностей. Они находятся в тесной пространственной связи с альенитами и лейцитовыми лампрофирами и при этом алмазоносны. Лампрофиры с лейцитом и альенинты с биотитом представляют собой крайние члены этой группы пород, более обогащенные калием, титаном и фосфором. При формировании кимберлитов этого возраста происходила значительная дифференциация щелочно-ультраосновной магмы. Они сильно изменены процессами метаморфизма и выветривания. Породы даек нередко полностью оталькованы. На верхних горизонтах силикатные минералы замещены монтмориллонитом и каолинитом, а рудные — гидрогематитом и лимонитом. Эти процессы приводили к существенному перераспределению химических компонентов.

Кимберлиты отличаются низким содержанием минералов — парагенетических спутников, наиболее распространен пикроильменит. Алмазоносны слюдяные разности кимберлитов. Базальтоидные кимберлиты, так же как и лейцитовые лампрофиры, слагающие на отдельных участках заль-

Таблица 2

Химический состав (%) дайковых кимберлитовых пород Кот-д'Ивуара [25]

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 58,08 | 54,57 | 56,30 | 56,3 | 35,47 |
| TiO ₂ | 1,73 | 2,35 | 1,90 | 2,0 | 3,80 |
| Al ₂ O ₃ | 3,36 | 1,03 | 0,33 | 1,57 | 8,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,60 | 7,25 | 6,66 | 5,17 | 10,63 |
| FeO | 1,45 | 1,71 | 1,98 | 1,71 | 1,16 |
| MnO | 0,07 | 0,11 | 0,06 | 0,08 | 0,11 |
| MgO | 28,86 | 24,32 | 26,64 | 25,94 | 25,92 |
| CaO | 0,87 | 2,12 | 0,22 | 1,08 | 4,65 |
| Na ₂ O | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,16 |
| K ₂ O | 0,02 | 0,63 | 0,77 | 0,47 | 0,05 |
| P ₂ O ₅ | 0,13 | 1,00 | 0,65 | 0,59 | 0,48 |
| П. п. п. | — | — | — | — | 9,55 |
| Σ | 96,23 | 95,18 | 95,60 | 94,98 | 100,65 |

Продолжение табл. 2

| Компоненты | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|
| SiO ₂ | 37,21 | 36,34 | 74,63 | 44,43 | 36,02 |
| TiO ₂ | 3,28 | 3,54 | 2,02 | 6,60 | 5,14 |
| Al ₂ O ₃ | 11,97 | 10,32 | 1,59 | 7,14 | 8,67 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,08 | 5,85 | 10,04 | 11,22 | 11,0 |
| FeO | 1,70 | 1,43 | 1,35 | 0,35 | 1,30 |
| MnO | 0,09 | 0,10 | 1,12 | 0,11 | 0,10 |
| MgO | 27,16 | 26,34 | 3,44 | 15,33 | 22,63 |
| CaO | 6,61 | 5,63 | 0,78 | 2,21 | 3,57 |
| Na ₂ O | 0,12 | 0,14 | 0,06 | 0,10 | 0,07 |
| K ₂ O | 0,03 | 0,04 | 0,19 | 0,97 | 0,05 |
| P ₂ O ₅ | 0,31 | 0,4 | 0,09 | 1,85 | 2,26 |
| П. п. п. | 9,66 | — | 4,86 | — | — |
| Σ | 99,22 | 90,13 | 100,17 | 90,31 | 90,84 |

Примечание. 1-4 — дайка Тубабуко (площадь Сегела) — слюдястый, оталькованный кимберлит; 5-7 — дайка Тубабуко, слюдястый, хлоритизированный кимберлит; 8 — дайка Конангоно, площадь Хоут-Нзи; базальтоидный, окварцованный кимберлит; 9 — площадь Сегела, оталькованный альнеит; 10 — площадь Сегела, хлоритизированный альнеит.

банды слюдястых кимберлитовых даек, не алмазоносны. Среди алмазов резко преобладают округлые формы (додекаэдры).

Кроме кимберлитов Кот-д'Ивуара, есть свидетельства о докембрийском возрасте кимберлитов Мали, как показано И. Сарсия, Е. Францессон, [25]. Здесь на площади К е н и е б а в бассейне р. Фалеме (см. рис. 1)

обнаружено более десятка кимберлитовых тел, среди которых помимо трубок встречаются и дайки. Кимберлиты прорывают сильнометаморфизованные и дислоцированные породы раннепротерозойской серии Бирим и залегающие на них субгоризонтально терригенные образования серии Танбаур позднего протерозоя. Описанные породы пересекаются дайками и пластовыми интрузиями долеритов предположительно мезозойского возраста. Для части кимберлитовых тел намечается тенденция северо-восточного простираения аналогично простираению дайки Натрия. Описание кимберлитов, слагающих дайки, в литературе отсутствует. Для кимберлитовых брекчий, выполняющих трубки, характерна пониженная магнезиальность пикроильменита и низкая хромистость пиропы, что, по В.А. Милашеву [9], позволяет относить их к пироповой субфации, малоперспективной в отношении алмазности. Действительно, опробование кимберлитов, проведенное в больших объемах до глубины 100 м, не дало положительных результатов. Источником алмазов, встречаемых в современном аллювии, предполагают грубообломочные породы верхнепротерозойских отложений серий Танбаур.

Возраст кимберлитовых тел площади Кениеба трактуется по-разному. Находка обломков долерита в кимберлитах одной из трубок явилась основанием для заключения о их мезозойском возрасте. Д. Кнопф указывает, что для трубки Секономата стронциевым методом по флогопиту получена дата 1072 ± 24 млн. лет. Близкие цифры в 1170 млн. лет приведены и в работе И. Сарсия. По-видимому, на описываемой площади, как и в Южной Африке, было проявление кимберлитового магматизма двух возрастных эпох.

Дайки кимберлитов позднемезозойского возраста

В пределах Леоно-Либерийского массива выделяются два крупных района развития кимберлитовых даек позднемезозойского возраста: Лесная Гвинея (Гвинея), Сефаду (Сьерра-Леоне), которые расположены в его западной части. Слабоизученные проявления кимберлитового магматизма, по-видимому, того же возраста известны также на площади Мано-Лоффа в Либерии.

1. Лесная Гвинея

В Лесной Гвинее кимберлитовый магматизм проявился наиболее широко. Первое кимберлитовое тело было открыто в 1953 г. французскими специалистами. Однако количество обнаруженных здесь кимберлитовых тел возросло. В начале шестидесятых годов советскими специалистами было обнаружено много кимберлитовых тел. До 1967 г. здесь было найдено 17 трубок и около 50 жильных тел. Очевидно, количество кимберлитовых даек в регионе намного больше, но в связи с малой их мощностью, наличием коры выветривания на кимберлитах и повышенной мощностью делювиального слоя многие из них остались неоткрытыми.

Кимберлитовые тела Лесной Гвинеи расположены по вытянутым зонам, представляющим собой рудоконтролирующие глубинные разломы трех направлений: северо-западного, субширотного и северо-восточного.

Наиболее выдержанной и четко выраженной является региональная субширотная зона Фенария—Сефаду, прослеживающаяся от Сефаду (Сьерра-Леоне) через пос. Фенарию на 200—250 км и включающая ряд зон второго порядка.

В пределах зон кимберлиты распределены неравномерно. Обычно в них выделяются несколько локальных зон, прослеживающихся на 2—20 км по простиранию в виде почти непрерывной полосы шириной от 2 до 5 км. Локальные зоны образованы группами кулисообразных жил, на продолжении которых иногда отмечаются трубки. На участках сопряжения зон различных направлений кимберлитовый магматизм проявляется наиболее интенсивно.

Наиболее распространены кимберлитовые дайки. Их простирание обычно подчеркивает простирание локальных кимберлитонесных тектонических зон, но нередки случаи диагонального расположения даек относительно вмещающих их тектонических зон. Падение даек преимущественно крутое до вертикального. Иногда фиксируются и наклонное их залегание. Мощность даек колеблется от первых сантиметров до 4—5 м, преобладают дайки мощностью 0,5 м. Мощность тел изменяется по простиранию. Нередко на отдельных участках дайки расширяются, образуют характерные для них раздувы шириной от 15 до 50 м при длине до 100 м. Протяженность даек варьирует от первых сотен метров до 1,2 км. Дайки часто сопровождаются маломощными апофизами. В пределах зоны обычно фиксируется группа субпараллельных кимберлитовых даек с расстоянием между ними от 15 до 50 м в зависимости от ширины зоны. Иногда дайки сближаются до 1,5—2 м. В этих случаях сетка даек (прожилков) и ответвляющихся от них апофиз представляет собой макроштокверк с содержанием кимберлита в горной массе до 20 % (руч. Пети-Макона). Подобные интенсивно насыщенные кимберлитом участки при промышленном содержании алмазов в горной массе могут рассматриваться как рудные тела.

Кимберлитовые дайки взаимосвязаны с кимберлитовыми трубками; близко расположенные трубки обычно соединяются дайками. Кроме того, от трубок отходят дайкоподобные тела и настоящие дайки. Территориально и по особенностям вещественного состава кимберлитовые породы Лесной Гвинеи можно объединить в пять кимберлитовых полей: Бунудинское, Фенарийское, Маконское, Бананкорское и Ферубанское [4].

Бунудинское кимберлитовое поле

В Бунудинском кимберлитовом поле известны одна трубка и более пятнадцати даек кимберлитов. Они приурочены к трем кимберлитовмещающим зонам: Бунудинской, Авилинской и Гурбароко.

Бунудинская зона расположена в районе пос. Бунуду. Простирается ее 290° , прослеженная длина 4,5 км, ширина 300 м. Она представлена параллельными прямолинейными трещинами, к которым приурочены дайки кимберлитов. Какого-либо значительного катаклаза, брекчирования или милонитизации вдоль этих трещин не наблюдается. К этой зоне приурочена трубка Дружба. Она расположена на месте пересечения кимберлитовмещающей зоны с другой тектонической зоной субмеридионального простираения.

Пересечение этих двух тектонических зон, по-видимому, создало благоприятные условия для внедрения значительного количества кимберлитовой магмы и формирования относительно крупного кимберлитового тела.

Авилинская зона четко фиксируется на правом берегу р. Авили в ее нижнем течении. Здесь вскрыты две дайки кимберлитов. Простирается одной из них, находящихся в районе руч. Пиропового, — 70° , простирается другой близко к широтному. По ореолу рассеяния пикроильменита зона имеет ширину 100–150 м, она прослежена в субширотном направлении на 2 км. Дайки кимберлитов располагаются среди гранит-мигматитов. На участке горными выработками вскрыты милониты, взаимоотношения которых с кимберлитами неясны.

Зона Гурбароко расположена на правобережье р. Диани в бассейне р. Гурбароко в 3 км к западу от кимберлитового тела Дружба. Здесь установлена дайка кимберлитов субширотного простираения, залегающая параллельно долеритовой дайке. Вмещающие породы — гранит-мигматиты. По ореолу рассеяния ильменита зона прослеживается на 2 км, имея ширину 200–300 м. В пределах этой зоны установлены милониты, взаимоотношения которых с кимберлитами неясны.

Кимберлитовые тела скрыты под делювием либо погребены под аллювиальными наносами. Все дайки кимберлитов выдержаны по простираению. Длина их достигает 100–150 м, но ни одна из даек не оконтурена полностью горными выработками по простираению. Мощность большинства даек от 0,1 до 0,4 м, мощность дайки на р. Гурбароко 0,6 м, а одной из даек на р. Авили — 1,3 м. Углы падения вертикальные или близкие к ним (не больше 80°).

Контакты даек кимберлитов с вмещающими породами обычно четкие, прямолинейные, изменения мощности по простираению незначительные. Более сложное строение имеет дайка, расположенная в пойме р. Колокоро (дайка № 9). Она состоит из трех параллельных сближенных тел мощностью 0,07–0,1 и 0,43 м, между которыми по извилистым трещинам располагаются маломощные прожилки, линзы и гнезда кимберлитов. Залегание трех основных тел вертикальное, расстояние между ними 0,5 и 0,7 м. Основные параметры выявленных кимберлитовых даек приведены в табл. 3.

В процессе разведки кимберлитовой трубки Дружба вблизи ее западного контакта была вскрыта дайка № 3. Дайка непосредственной связи с трубкой не имеет. Она представляет собой сложное тело с частыми быстро выклинивающимися разветвлениями и сложными раздувами.

Т а б л и ц а 3

Основные параметры кимберлитовых даек Бунудинского поля

| Номера и местоположение даек | Азимут простирания, градус | Угол падения, градус | Мощность, м | Прослеженная длина, м | Примечание |
|------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|---|
| 1. Р. Колокаро | 290 | 85 | 0,2 и 0,4 | 100 | Две параллельные сближенные дайки |
| 2. Р. Дала | 290 | 85 | 0,1–0,15; 0,3 | | Две параллельные дайки |
| 4. Р. Самокони | 290 | 90 | 0,1–0,3 | 550 | То же (делювий) |
| 5. Р. Бунуду | Не установлено | | | | – |
| 6. Р. Сабарақони | То же | | | | Вскрыта скважинами, возможно, 2–3 дайки |
| 7. Р. Колокоро | 290 | 90 | 0,4 | 100 | |
| 8. Р. Сабарақони | Не установлено | | 0,3–0,4 | Не прослежена | Вскрыта скважиной |
| 9. Р. Колокоро | 285 | 90 | 0,07– 0,1–0,43 | То же | Три сближенные дайки |
| А. Руч. Пироповый | 65 | 90 | 01–0,2 | ” | – |
| Б. Руч. Пироповый | ~ 90 | 80–90* | ~ 1,3 | ” | Вскрыта скважинами |
| В. Руч. Пироповый | 265–270 | 90 | 0,1–0,6 | 180 | – |

Фенарийское кимберлитовое поле

По данным Б.М. Владимирова и др. [4], в пределах поля развиты только кимберлитовые дайки. Они характеризуются мощностью до 8 м и прослежены иногда на протяжении до 300 м. В некоторых случаях (Феруба и Саранбали) дайки имеют местные расширения (раздувы), достигающие 10–12 м при протяженности до 30–40 м. Незначительное количество обнаруженных даек объясняется, по-видимому, тем, что они очень плохо, а чаще всего и совсем не фиксируются магнитометрией, а из-за малой мощности вероятность попадания в них скважин большая. О наличии в районе большего количества дайковых проявлений свидетельствуют в первую очередь результаты отработки французскими геологами россыпных месторождений: в карьерах были вскрыты незначительные по мощности, порядка 0,3–1,0 м, кимберлитовые дайки, прослеженные на отдельных участках от 50 до 200 м. Дайки крутопадающие с углом падения 80–85°. Пространственно к этой же территории приурочены все мелкие магнитные аномалии. Кроме того, почти все находки алмазов располагаются в пределах этой же полосы.

Опробование кимберлита одной из даек объемом 1,5 м³ показало высокое содержание алмазов: было извлечено 148 кристаллов общей массой 12,69 кар, что соответствует содержанию 8,46 кар/м³.

Суммарная протяженность даек Фенарийского поля может быть оценена от 2000 до 6000 м при средней мощности дайки 0,2 м. В некоторых случаях кимберлитовые дайки распадаются на серию мелких вет-

входящих прожилков, пронизывающих раздробленные вмещающие породы в полосе мощностью до 30—40 м. Породы в этой зоне приобретают вид своеобразной брекчи, в которой цементом служит кимберлитовый материал, заполняющий промежутки между обломками перетертых гранитов. Мощность прожилков в таких зонах меняется от нитевидных до 15 см. Обломки вмещающих гранитов имеют размеры от сантиметров до 0,5 м.

Кимберлиты, слагающие систему даек Фенарийского поля, представляют собой рыхлую глинистую породу желтого, зеленовато-ржавого и зеленого цвета. По структурно-петрографическим особенностям кимберлиты относятся к порфиоровому типу. На общем зеленовато-желтом фоне породы четко выделяются неправильной формы зерна ильменита. В гипергенных условиях ильменит выветривается, он становится трещиноватым, приобретает отдельность, лейкоксенизируется. При надавливании тонкие зерна ильменита рассыпаются в порошок или раскалываются на мелкие пластинки. Из минералов тяжелой фракции в кимберлите, кроме ильменита, в незначительном количестве отмечаются магнетит и минералы группы гидроксидов железа. Характерной особенностью кимберлитов Фенарии является отсутствие в них такого типичного минерала кимберлитов, как гранат-пироп, при высоких содержаниях алмазов.

Таким образом, можно утверждать, что промышленная алмазность Фенарии связана с системой даек, развитых в полосе с протяжением 85°, протяженностью 2,5 км при ширине 0,25 км. В ряде случаев сами дайки служат объектами эксплуатации.

Бананкорское кимберлитовое поле

Бананкорское кимберлитовое поле расположено в среднем течении р. Бауле. Здесь известны 9 трубчатых тел кимберлитов, одно штокверковое тело и около десятка даек. Вмещающие породы кимберлитовых тел — мелкозернистые граниты и гранитогнейсы, широко развитые в Лесной Гвинее. Граниты представлены порфирированными разновидностями, реже отмечаются породы с хорошо различимой текстурой. Граниты не имеют четких контактов, они постепенно переходят в гранитогнейсы. Последние прорываются интрузивными телами долеритов неправильной формы.

Дайки долеритов имеют мощность до 30 м и протяженность до 1 км. Форма более крупных интрузивных тел долеритов вытянутая, протяженность до 0,5 км, мощность меняется от 50 до 200 м. Долериты однообразны и представляют собой плотные породы темно-серого цвета. Вблизи у контактов с вмещающими гранитами долериты приобретают афанитовый облик, а в центральной части тел они представлены хорошо раскристаллизованными разновидностями.

В районе Бананкоро дайки кимберлитов приурочены к трем, контролирующим кимберлитовый магматизм, направлениям: 55, 85 и 130°. Наиболее многочисленны дайки субширотного направления (85°), четыре из которых вскрыты в русле и на борту долины р. Саранбали, одна известна на левом берегу долины р. Бананкорки, дайки или серия даек

(не вскрытых горными выработками, но выявленных по наличию минералов-спутников алмаза) в приустьевой излучине р. Бимбоко.

Дайки субширотного (Сьерра-Леонского, по М. Бардет) направления имеют значительную протяженность и максимальную мощность. Дайка по левому берегу руч. Бананкорки была прослежена на протяжении 1200 м, при этом мощность ее варьировала от 1 до 2,5 м. Субширотные дайки р. Саранбали имеют мощность от 0,5 до 1 м, которая в раздувах увеличивается до 12 м. Дайки р. Саранбали прослеживались по простиранию до 250 м, при этом не заканчиваясь, что позволяет предполагать их истинную протяженность в 500—1000 м при выдержанной мощности. Расстояние между этими четырьмя дайками не превышает 50—100 м. Шлихоминералогические исследования, проведенные на этом участке, дают основание считать, что в средней и верхней частях р. Саранбали еще большое число не вскрытых даек кимберлитов субширотного простирания.

Дайки северо-восточного направления, названные Бимбоко-Бананкорскими, представлены в Бананкорском поле меньшим количеством. Характерной особенностью этих даек является то, что они соединяют кимберлитовые трубки, которые могут рассматриваться как раздувы даек в местах сопряжения с трубками субширотного направления. Дайки этого направления имеют мощность от 0,2 до 0,8 м и прослеженную протяженность от 100 до 800 м. Кимберлитовые дайки северо-восточного направления прорывают, так же как и трубки, долериты. На правом берегу руч. Бананкорки находится вероятное пересечение даек двух направлений — субширотного и северо-восточного. Проведенные в этом месте поисковые работы показали высокие содержания алмазов в делювиальном латеритном гравии, перекрывающем возможное пересечение даек.

Третье направление (либерийское, по М. Бардет) — юго-восточное (130°) в Бананкорском поле представлено двумя дайками. Интересно, что первая дайка сечет дайку северо-восточного направления, что позволяет предположить более молодой возраст для даек юго-восточного направления. Мощность даек варьирует от 1 до 1,5 м при прослеженной протяженности до 70 м. На вскрытом горными выработками пересечении этих двух даек никаких раздувов не отмечается, контакты между дайками четкие, резкие. Дайка Бимбоко-Бананкорского направления вдоль трещины, выполненной дайкой простиранием 130° , испытывает некоторое смещение, не превышающее в горизонтальной плоскости 0,5 м.

Наличие пересекающихся разломов в Бананкорском поле обусловило возникновение кимберлитовых тел трубчатой формы. Для некоторых трубок установлена прямая связь с линейными трещинами, представленными в настоящий момент дайками кимберлитов. В некоторых случаях о наличии такой связи говорит и сама форма трубчатых тел.

Кимберлитовые дайки в долине руч. Бананкорки содержат алмазы от 0,01 до 0,08 кар/м³. Проба кимберлита, отобранная из дайки р. Саранбали, показала содержание 0,18 кар/м³. В табл. 4 приведены результаты

Таблица 4

Характеристика даек кимберлитов Бананкорского поля, расположенных на пересечении субширотной зоны Урукоро-Сумасения и северо-западной Фенария-Феруба

| Местоположение дайки | Элементы залегания, связь с локальными кимберлитоносными зонами | Мощность м | Прослеженная длина, м | Число проб | | Содержание алмазов, кар/м ³ | Содержание минералов-спутников в 5 л (размер зерен) | | |
|---|--|----------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|--|---|-----------------------|-------------------------|
| | | | | Суммарный объем, м ³ | Масса, кар/м ³ | | Пикроильменит | Пироп | Хромдиопсид |
| Пойма р. Бимбоко, в 0,8 км выше трубки 11 | Простираение около 45°, падение вертикальное | 1 | — | 1 | — | — | | До 3 мм | |
| Междуречье Бимбоко и Бугбан, верховье руч. Бангана (руч. Пироповый) правого притока р. Бугбан | Простираение 30°, падение субвертикальное | 5 (по-видимому, в раздуже) | 30 | $\frac{3}{5,9}$ | $\frac{3}{0,80}$ | 0,05 | До 32 г (до 6 см) | До 2-3 г (0,2-0,8 см) | Знаки зерен |
| Левобережье р. Бугбан, район руч. Конго-Магни | Простираение 45°, падение вертикальное | 0,4 | — | $\frac{1}{1,2}$ | $\frac{1}{0,05}$ | 0,04 | Высокое (до 2-3 см) | — | — |
| Нижнее течение р. Бугбан, левый ее приток | Простираение по данным магнитной съемки масштаба 1 : 2000, по-видимому, субширотное. | Нет свед. | — | — | — | В аллювии террасы над кимберлитами | | Высокое (до 0,8 см) | Знаки зерен (до 0,3 см) |
| Нижнее течение руч. Тиссинкоро, правого притока руч. Ферубан | Простираение субширотное, падение вертикальное | 2 жилы около 0,3 и 0,5 м | — | — | — | В аллювии | Высокое (до 3-4 мм) | — | — |

опробования даечных тел кимберлитов описываемого поля. Как видно по результатам опробования, содержание алмазов в кимберлитах практически непромышленное и не может объяснить наличие богатых (нередко 1 кар/м³) россыпей, если не принимать во внимание процессы концентрации алмазов в рыхлых отложениях.

Остановливаясь на вопросе об источнике алмазов для россыпных месторождений группы Бананкоро, отметим, что суммарная протяженность даек кимберлита может быть оценена в 20 км. Если принять среднюю мощность в 1 м и глубину эрозионного среза в 50 м, то масса уничтоженного кимберлита даек составит 1 млн. м³, что обеспечивает поступление в рыхлые отложения (при среднем содержании 0,1 кар/м³) 100 000 кар алмазов. Отметим, что количество реальных даек превышает количество обнаруженных, особенно в бассейне р. Саранбали. Кроме того, некоторые дайки могут иметь и более высокое содержание алмазов, особенно за счет крупных кристаллов, которые при обычном опробовании 3–5 м³ могут не попасть в пробу. В свою очередь, если принять глубины эрозионного среза трубок менее 50 м, то масса уничтоженного трубочного кимберлита составит около 3 млн. м³, что при средних содержаниях по трубкам от 0,04 до 0,18 кар/м³ соответствует переходу в россыпи около 350–400 тыс. кар алмазов. Таким образом, если рассматривать алмазный баланс для месторождений Бананкоро под таким углом зрения, то дефицита здесь не испытывается.

В Бананкоро, так же как и в других кимберлитовых полях Лесной Гвинеи, дайки магнитометрической съемкой не фиксируются, в силу чего на заснятых геофизическими съемками площадях может оказаться целый ряд еще не открытых даек.

Маконское кимберлитовое поле

Это поле приурочено к южной части Главного Гвинейского водораздела и охватывает, помимо бассейна рек Маконы и Уауфе, водораздел р. Маконы и р. Бимбоко — крупного левого притока р. Бауле.

По геофизическим данным в пределах Маконского кимберлитового поля выделяется система параллельных зон субширотного простиранья. Наибольший интерес представляет зона расположения между дер. Фондойя и Бабаду шириной 3–4 км и протяженностью 18–20 км. Эта зона характеризуется слабым магнитным полем интенсивностью $\pm 0,79$ –119 мА/м. С севера, юга и востока она четко ограничивается достаточно интенсивными (± 557 –955 мА/м) магнитными полями, связанными с долеритами и железистыми кварцитами. В пределах этой зоны обнаружены 7 кимберлитовых трубок и многочисленные дайки, ориентированные вдоль ее простиранья.

В междуречье Доффе — Макона отмечается серия линейно ориентированных зон, в пределах которых зафиксировано значительное количество алмазопоявлений. Ширина зон от 0,5 до 1,5 км, протяженность 8–15 км и более. Северная из этих зон Диараду — Дамбоя продолжается в направлении пос. Фенария.

На узлах пересечения субширотных и северо-западных зон наблюдает-

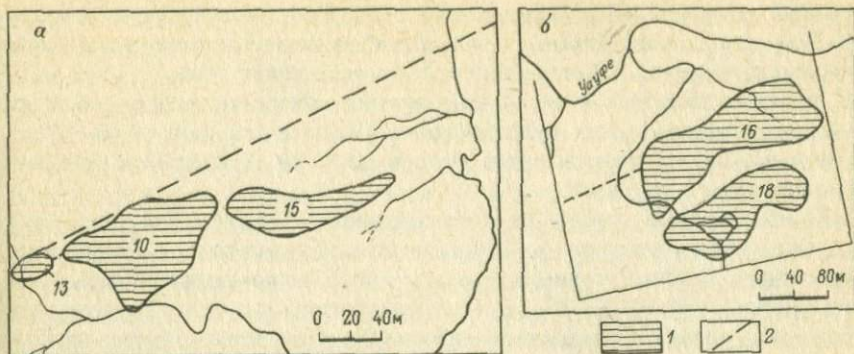


Рис. 5. Схема размещения кимберлитовых трубок в некоторых районах Гвинеи. По Б.М. Владимирову, М.Г. Самохвалову, В.Н. Борякину:

а — участок р. Макона, *б* — бассейн р. Уауфе: 1 — кимберлитовые трубки; 2 — нарушения

ся концентрация кимберлитопоявлений; аналогичную тенденцию имеют пересечения субширотных зон отдельными зонами меридионального направления (район трубок № 10, 13, 15, район дер. Дамбоья, рис. 5).

Кимберлитовые тела поля приурочены к четко выраженным локальным зонам кимберлитового магматизма шириной до 5 км и протяженностью до 35 км.

На исследованной площади установлены две локальные зоны расположения кимберлитовых тел — Барадунская и Дамбоинская, относящиеся к зоне кимберлитового магматизма более крупного порядка — Фенария — Бараду.

Барадунская локальная зона пересекает северную часть Маконского поля в субширотном направлении в районе истоков руч. Мариги и Кулико. На востоке она выходит к пос. Фенария. Установленная протяженность зоны около 32 км, ширина 5 км. На запад зона продолжается, по-видимому, до пос. Бангоро. В пределах локальной зоны кимберлитовые проявления образуют узлы, отстоящие друг от друга на расстоянии 1–6 км.

Дамбоинская локальная зона субпараллельна Барадунской и расположена в 2 км на юг от последней. Предполагаемая протяженность этой зоны около 20 км при ширине 2–3 км. Она начинается на западе у истоков руч. Уала-Уала, пересекает р. Макону и продолжается в районе Фенария. Западное ее продолжение фиксируется по находкам алмазов и их парагенетических спутников в районе пос. Гендайя.

Выявленные в пределах Барадунской зоны дайки кимберлитов имеют северо-восточное (80–85°), реже юго-восточное (около 100°) простирание. Мощность их обычно колеблется в пределах 0,1–1 м и лишь в редких раздувах увеличивается до 2–3 м. Например, такой раздув наблюдается в дайке р. Койя. Сама же дайка сложена слюдяным кимберлитом, раздув выполнен эруптивной брекчией последнего. Имеются алофизы, отходящие от основной дайки под острым углом и имеющие ответвления более мелких даек. Указанная сеть кимберлитовых даек напоминает свое-

образный штокверк. Все дайки имеют субвертикальное падение контактов. Последние, как правило, четкие без существенных эндо- и экзоконтактных изменений. Протяженность даек составляет первые сотни метров, изредка достигает 4 км. Дайки нередко сближены между собой до 10–15 м и располагаются кулисообразно в полосе шириной от 10–15 до 80 м и длиной от первых сотен метров до 4 км. В подобных группах наблюдается от 3 до 6 даек.

Кимберлитовые трубки, располагающиеся в Барадунской зоне, ориентированы по удлинению в субширотном направлении. Большинство сближенных трубок соединено между собой маломощными дайками. Пять трубок — № 10, 13, 15, 16, 18 — приурочены к одному разлому: по ним фиксируются оталькованные милониты и катаклазиты. Форма трубок овально-удлиненная, вытянутая по направлению разлома. Площадь их колеблется от 1100 м² (трубка № 13) до 16 500 м² (трубка № 10). Контакты трубок с вмещающими породами четкие и крутые (67–87°). Экзоконтактные изменения незначительные и выражены в серпентинизации и слабой флогопитизации гранитоидов и кристаллических сланцев. Алмазоносность кимберлитов меняется. Так, например, кимберлитовые дайки, пересекающие исток ручьев Мариги, Кулико и ключ № 156, алмазоносны в юго-западной части и не содержат алмазов в северо-восточной части.

Ферубанское кимберлитовое поле

Дайки кимберлитов были вскрыты в местах, где по данным магниторазведки аномалии не фиксировались. Это еще раз подтверждает, что мелкие кимберлитовые тела магниторазведкой не отмечаются. Всего в Ферубанском поле установлено тринадцать даек, из них девять вскрыты бурением, а четыре — эксплуатационными работами.

Дайки представляют собой маломощные (порядка 0,5–5,0 м) тела, имеющие преимущественно северо-восточное простирание. Так, в одном из карьеров вскрыто две дайки этого простирания. Первая дайка имеет мощность 0,3–0,4 м и прослежена по полотну карьера на протяжении 3 м. Вторая прослежена на 4,5 м. Ее мощность варьирует от 0,1 до 1,4 м. Обогашение проб объемом по 0,8 м³ кимберлита из каждой дайки не выявило в них алмазов.

В другом карьере, на левом берегу руч. Ферубан, на протяжении 21 м была прослежена кимберлитовая дайка с азимутом простирания 90°, углом падения близким к вертикальному. В пробе объемом 0,6 м³ найден один кристалл алмаза массой 0,1 кар, что составило содержание 0,17 кар/м³.

На левом берегу руч. Ферубан вскрыта еще одна дайка кимберлитов мощностью от 1,2 до 1,9 м, прослеженная по простиранию на 26 м. Дайка крутопадающая, угол падения близок к вертикальному. Кимберлит был опробован двумя пробами объемом по 1,1 м³ каждая. Из первой пробы извлечено два кристалла массой 0,6 кар (содержание по пробе 0,54 кар/м³), из второй два кристалла суммарной массой 0,5 кар, что составляет 0,5 кар/м³.

Все обнаруженные дайки в Ферубинском поле группируются в зону

шириной 1 км и простираем 85° . Протяженность этой зоны не ограничивается месторождением Феруба. На западе она уходит в верховья левых притоков р. Поогбан (Кассако и др.), на востоке пересекает верховья руч. Тугбароко, уходя в направлении притока Бауле-Бохоно.

Наличие алмазонасной кимберлитовой зоны за пределами месторождения Феруба подтверждается алмазонасностью отложений ручьев, пересекающих эту зону на западе и востоке (Кассако, Тугбароко и др.). Таким образом, Ферубанское кимберлитовое поле при ширине 1 км имеет протяженность порядка 10 или даже 15 км. Дайки в пределах кимберлитонасной зоны располагаются, очевидно, неравномерно. Контакты даек с вмещающими породами четкие, эндоконтактные части в верхних горизонтах более интенсивно выветрелые, чем центральные. В общем кимберлиты сильно выветрелые и разрушены. Так, было пробурено 42 м по кимберлиту, и скважина не вышла из коры выветривания.

Все выявленные кимберлиты представлены зеленовато-бурыми, синевато-зелеными или желтовато-бурыми пластичными глинами. В них встречаются зерна ильменита до 2—4 мм. Количество ильменита иногда достигает 99,9 % массы тяжелой фракции шлиха. Очень редко в кимберлитах сохраняются едва уловимые брекчиевидные участки.

Содержание первичных минералов в кимберлитах различных даек сильно варьирует, причем вне всякой связи с их алмазонасностью. Так, например, в бассейне р. Кесса расположены две дайки на расстоянии 40 м друг от друга. В одной из них находится очень много пикроильменита размером до 1 см, равномерно рассеянного в породе, тогда как в соседней ей дайке пикроильменит практически отсутствует. Содержание граната — пироба также колеблется в широких пределах от полного отсутствия до 3,5 % массы шлиха. В одной из даек отмечено высокое содержание хрома.

Алмазонасность кимберлитов различных даек также изменяется от знаковых содержаний до $0,54 \text{ кар/м}^3$, несмотря на то, что они располагаются в непосредственной близости и в пределах одной кимберлитовой зоны.

Отметим, что выявленные в Ферубанском кимберлитовом поле дайки не исчерпывают всего наличия кимберлитовых проявлений. Об этом свидетельствуют скопления в ряде мест минералов-спутников алмаза в делювиальных отложениях.

На примере месторождения Феруба становится более понятной возможность образования богатых алмазных россыпей за счет сравнительно бедных даечных тел кимберлитов.

2. Сьерра-Леоне

Площадь С е ф а д у в Республике Сьерра-Леоне находится в бассейне р. Сева на крайнем западе Леоно-Либерийского массива. Она сложена архейскими гранитоидами, среди которых сохранились крупные реликтовые блоки кварцитов, железистых кварцитов, амфиболитовых и тальковых сланцев серии Камбюи [10]. Докембрийские породы пересечены се-

рией параллельных разломов с многочисленными, оперяющими их трещинами. К ним приурочены дайки долеритов обычно северо-западного и субширотного простирания (радиогенный возраст от 400 до 200 млн. лет) и кимберлитов северо-восточного простирания (возраст по флогопиту 96 ± 10 млн. лет).

Кимберлитовые дайки описываемой площади образуют несколько зон. Главная из них (верховья р. Сена) имеет северо-восточное простирание, ширину 3,5 км и протяженность около 19 км. Она образована серией параллельных и кулисообразных даек, длина которых колеблется от 100 м до 1,5 км при средней мощности около 1 м. В раздувах, приуроченных к местам пересечения даек разломами, мощность увеличивается до нескольких метров. Вторая зона находится в 50 км к югу от Главной и прослеживается параллельно ей на протяжении 10 км. Третья зона выявлена в 3 км севернее Главной. Отдельные дайки кимберлитов встречаются и за пределами перечисленных зон.

Наиболее изучены кимберлиты участка Коиду Главной зоны [21]. В его пределах кимберлитовые дайки имеют отчетливое северо-восточное простирание, в то время как дайки долеритов — северо-западное. Мощность их колеблется от первых сантиметров до 1 м, длина редко превышает 500—800 м. Залегание даек близкое к вертикальному, иногда крутонаклонное (80°) к юго-востоку. Мощность коры выветривания на кимберлитах превышает 9 м и представлена бесструктурной глинистой массой с множеством латеритных конкреций. С глубины 3—4 м кора выветривания глинистого состава сохраняет текстуру кимберлита и содержит пикроильменит, пироп и другие устойчивые минералы.

Кимберлиты, выполняющие дайки, представлены двумя разностями: массивным кимберлитом с небольшим количеством ксенолитов или без них и кимберлитовой брекчией, состоящей из многочисленных обломков, сцементированных кимберлитом.

Массивный кимберлит — это плотная, целиком автометаморфизованная порода порфиривого облика. Вкрапленники образованы псевдоморфозами серпентина по оливину, крупными выделениями флогопита, угловатыми зернами ильменита, реже пироба. Основная масса состоит из серпентина и карбоната, встречаются перовскит, лучисто-волоконистый апатит, хлорит, магнетит и другие минералы. Ксенолиты представлены вмещающим гранитом, изредка встречаются эклогиты и серпентинизированные пироповые перидотиты. В отдельных образцах керна наблюдается пересечение кимберлита тонкими прожилками карбонатов и серпентина. Подсчет минерального состава, по данным Д. Грэнтхэма и Дж. Аллена, дал следующие результаты (%): серпентинизированные зерна оливина — 57,7, флогопит — 24,2; кальцит — 9,1; рудные минералы (ильменит, магнетит) — 1 — 5,4; перовскит — 2,4; апатит — 1,2. Кимберлиты принадлежат к слюдяным разностям.

Кимберлитовые брекчии состоят из обломков вмещающих гранитоидов, количество которых иногда превышает объем кимберлитового цемента. В расширениях некоторых даек встречаются автолитовые разновидности кимберлитовых брекчий, состоящие из шаровидных обособлений

кимберлита концентрической текстуры, в ядрах которых находятся мелкие ксенолиты или порфиновые вкрапленники [9]. Химический состав кимберлитов одной из даек площади Коиду, взятых с глубины 79 м, следующий:

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| Содержание, % | 33,25 | 2,09 | 1,75 | 7,99 | 0,23 | 2,95 | 5,22 | 31,4 |

Продолжение вывода

| Компоненты | MnO | NiO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | П.п.п. | Σ |
|---------------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|--------|--------|
| Содержание, % | 0,16 | 0,18 | 0,88 | 0,1 | 0,43 | 13,11 | 100,21 |

Кимберлиты практически всех даек алмазоносны. Содержание алмазов 0,5–0,9 кар/м³ [9].

В 50 км к югу от Главной зоны в бассейне р. Тонго прослежены две зоны кимберлитовых даек Лондо и Райеме, менее богатые, чем дайки Коиду, отличающиеся от последних повышенным содержанием пикроильменита и хромита и пониженным — пироба. Дайки этих зон маломощные, ветвящиеся, сильно измененные, с крутым падением. К западу от р. Тонго находится группа Пангума, состоящая из 7 даек. Дайки наклонные, висячем боку граниты сильно хлоритизированы. Главная дайка имеет протяженность 1,26 км, мощность 0,45 м, содержание алмазов 1 кар/м³ [14].

Большинство алмазов из кимберлитовых даек площади Сефаду Сьерра-Леоне представлено октаэдроидами, иногда черепитчатого строения, много осколков и двойников, додекаэдры сравнительно редки. Характерной особенностью является наличие на многих кристаллах своеобразной мелкокристаллической оболочки, окрашенной в различные оттенки зеленого цвета. Толщина ее на крупных кристаллах 2–3 мм, на мелких — меньше. Обычно кристаллы алмазов в оболочке и без нее встречаются в кимберлите одной и той же дайки. Текстура оболочки однородная или полосчатая. Она очень хрупкая, и на некоторых кристаллах сохраняются лишь ее следы. Чистые, без оболочки алмазы обычно бесцветны, но иногда имеют желтоватый, бледно-коричневый, буроватый и другие оттенки. Масса алмазов в среднем составляет 0,5 кар, 35 % их относится к ювелирным сортам.

Кимберлиты Сьерра-Леоне слабо разведаны и изучены, перспективы их алмазоносности не выяснены. Существование богатых россыпей с крупными алмазами позволяет предполагать, что здесь существуют еще не обнаруженные кимберлитовые тела. По аналогии с другими районами Западной Африки наибольшее количество даек можно предполагать под трубчатыми телами.

3. Либерия

Алмазоносная площадь М а н о - Л о ф ф а находится к юго-востоку от Сьерра-Леоне в бассейне среднего течения одноименных рек. Эта территория сложена гранитами раннего докембрия, которые прорваны дай-

ками диабазов (радиоогенный возраст около 400 млн. лет) и долеритов (радиоогенный возраст 185 млн. лет), а также кимберлитами. Возрастные соотношения основных пород и кимберлитов в пределах описываемой площади не установлены. Поиски кимберлитов здесь были начаты в 60-х годах текущего столетия и продолжаются до настоящего времени, но сведения о них очень скудны. Известно, что на правобережье р. Мано обнаружены четыре кимберлитовые дайки, расположенные кулисообразно в зоне протяженностью 15 км северо-восточного простирания.

Мощность даек 0,02–2,4 м, в среднем 0,5–1,0 м. Прослеженная длина каждой из них около 600 м. Все дайки на поверхности представлены глинистой корой выветривания зеленоватого цвета. Содержание алмазов в выветрелой части даек 0,03–0,22 кар/м³ [9].

Маломощные кимберлитовые дайки обнаружены также в русле р. Лоффа и некоторых ее притоков. О их химическом составе можно судить по данным М. Бардет [21] для кимберлитов руч. Кутуй:

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO | MnO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|
| Содержание, % | 29,45 | 3,06 | 2,2 | 7,85 | 3,15 | 21,8 | 10,55 | 0,14 |

| Компоненты | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O ⁻ | H ₂ O ⁺ | CO ₂ | Σ |
|---------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| Содержание, % | 1 | 0,3 | 0,72 | 0,75 | 8,05 | 7,9 | 96,92 |

Содержание алмазов в дайках непромышленное. По морфологии перобладают октаэдры, иногда с округлыми гранями. Большинство алмазов бесцветны, реже желтые в коричневые. Их средняя масса не превышает 0,2–0,3 кар. Качество алмазов невысокое, ювелирные разности составляют менее 30 % добычи.

* * *

Все известные к настоящему времени кимберлитовые тела Западно-Африканской провинции пространственно приурочены к западной, наиболее древней части Леоно-Либерийского массива. Здесь проявились три эпохи кимберлитового вулканизма. Первая – раннепротерозойская, предполагается на основании находок алмазов в терригенных отложениях серии Биррим с возрастом более 2000 млн. лет (Гана, Кот-д'Ивуар). Вторая – позднепротерозойская (1400–1100 млн. лет) установлена для кимберлитов Кот-д'Ивуара и Мали. Третья, наиболее широко проявленная в этой провинции (Гвинея, Сьерра-Леоне, Либерия), относится к позднему мезозою.

Общая особенность Западно-Африканской кимберлитовой провинции – широкое распространение дайковой фации, трубки составляют здесь незначительное число.

Кимберлитовые дайки позднепротерозойского возраста характеризуются тесной пространственной связью с альнеитами и лейцитовыми лампрофирами и при этом алмазоносны. Слагающие их слюдяные кимберлиты сильно изменены процессами метаморфизма и выветривания и

отличаются низким содержанием минералов-спутников (Кот-д' Ивуар) или полным их отсутствием (Мали). Преобладающее простирание даек южное, падение варьирует от 30–60° до субвертикального. Мощность их обычно не превышает 1–1,5 м, протяженность до 3,5 км.

Среди алмазов резко преобладают округлые формы – додекаэдронды. Содержание их от 0,10 до 10 кар/м³ (Кот-д' Ивуар).

Дайки кимберлитов мезозойского возраста распространены главным образом на территории Гвинеи (Лесная Гвинея) и Сьерра-Леоне (Сефаду). Они образуют крупные зоны протяженностью от 2 до 20 км при ширине 2–5 км. В пределах зон находятся отдельные группы субпараллельных, кулисообразно расположенных даек, мощность которых колеблется от нескольких сантиметров до 5 м с преобладанием 0,5–1 м. Имеются дайки с раздувами шириной от 15 до 60 м и длиной до 100 м. При сближении мелких жил образуются штокверки. Простирание даек северо-западное, северо-восточное и субширотное, последнее направление наиболее характерно.

Среди алмазов в кимберлитовых дайках Сьерра-Леоне преобладают октаэдронды с зелеными оболочками. Средняя масса их составляет 0,5 кар, 35 % относится к ювелирным сортам.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ АФРИКА

В Центральной Африке в основном развиты дайки кимберлитов протерозойского возраста, которые располагаются в западной части провинции близ Атлантического побережья на территории Габона. Кроме того, есть свидетельства существования редких единичных даек среди мезозойских кимберлитов Заира и Анголы, представленных трубчатыми телами [14].

Строение и этапы геологического развития

Поскольку кимберлитовые дайки установлены лишь в пределах Габона, рассмотрим особенности геологического строения этого региона (рис. 6).

Кимберлиты Габона приурочены к древнему массиву Шайю, являющемуся частью Центрально-Африканского кратона, или кратона Конго [18]. Он сложен древними кристаллическими породами фундамента, относящимися к системе Домайомбе (3000–2400 млн. лет), гранито-гнейсами, мигматитами, гранитами и разнообразными кристаллическими сланцами, которые прорваны штоками и дайками долеритов среднепротерозойского возраста. В раннем протерозое вдоль западной окраины массива заложился складчатый пояс Западного Конго, который протягивается узкой полосой в северо-западном направлении от Анголы до Габона и сложен миогеосинклинальными комплексами в основном терригенных образований (кварциты, филлиты и др.) среднего и верхнего протерозоя. На нижнедокембрийском цоколе с размывом и несогласием залегают метаморфизованные в зеленосланцевой фации отложения формации Франсвиль и серий Лукула и Сунди и более молодые позднедокем-

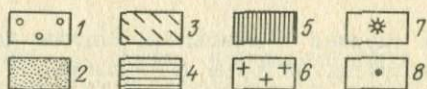


Рис. 6. Геологическая карта Габона и Конго. По М.Г. Бардет:

1 — система плато Бетеке; 2 — триас и мел; 3 — система Западного Конго; 4 — формация Франсвиль; 5 — серии Лукула и Бенза; 6 — архейский доколь; 7 — кимберлиты; 8 — находки алмазов

брийские осадки серий Бонза и Мбейя. В палеозое описываемая территория испытывала поднятие и денудацию. Начиная с мезозоя вдоль побережья Атлантического океана происходит опускание и накапливаются мощные толщи терригенно-карбонатных отложений, а в восточной части Габона — верхнемеловых песчаников, слагающих ныне плато Бетеке (см. рис. 6).

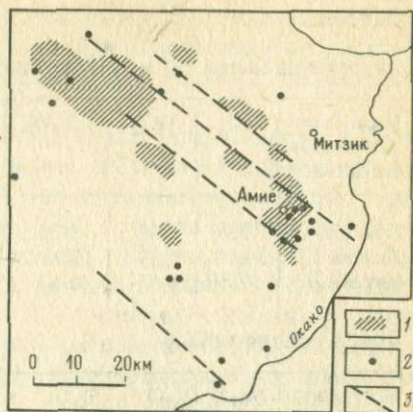
Дайки кимберлитов протерозойского возраста

На территории Габона известны два района распространения даек и жильных тел, выполненных породами, которые М. Бардет [21] называет метакимберлитами. Оба приурочены к западной окраине массива Шайю.

Район Митзик находится в северо-западном Габоне. Здесь прослежена зона даек северо-западного простирания, протяженностью более 100 км. Она представлена многочисленными жилами и дайками мощностью до нескольких метров, залегающих среди древних гнейсов системы Домайомбе (рис. 7). Дайки сложены слюдястой оталькованной породой, иногда

Рис. 7. Алмазоносные узлы в районе Митзик в Габоне. По М.Г. Бардет:

1 — алмазные минерализованные зоны; 2 — отдельные находки алмазов; 3 — простираание зон кимберлитов



с признаками сланцеватости. Порода состоит на 76–80 % из талька с реликтами слюды, сильно измененными оксидами железа и игольчатыми амфиболами (тремолит 9). Типичных минералов кимберлита — пирропа, пикроильменита, хромдиоксида — встречено не было. Отмечается обильная вкрапленность хромовой шпинели. Химический состав метакимберлитов площади Митзик приведен в табл. 5. Содержание отдельных элементов следующее:

| Элементы | Ni | Cr | Co | Ba | Sr | Sc | V | Pb | Zn | Cu |
|-------------------------------------|------|------|----|-----|----|----|-----|----|-----|----|
| Содержание, $n \cdot 10^{-6} \%$ | 1500 | 1150 | 80 | 450 | 15 | 19 | 170 | 96 | 250 | 14 |

Метакимберлиты района Митзик содержат кристаллы алмазов в основном небольшой массы (в среднем 0,05 кар).

Помимо района Митзик породы несколько иного облика известны южнее на площади Икой — в долине р. Бендоло (приток р. Икой).

Они слагают дайки мощностью от нескольких миллиметров до 20 см, прорывающие метаморфизованные породы нижнего протерозоя. Это зеленовато-серые и черновато-зеленые брекчиевидные породы с вкрапленниками оливина, пироксена, биотита и большим количеством ильменита и магнетита. По мнению Ю.Шуберта [18], они аналогичны некоторым интенсивно карбонатизированным разновидностям кимберлитов Южной Африки. Их химический состав (см. табл. 5) отличается от метакимберлитов площади Митзик высоким содержанием CaO, щелочей, Al_2O_3 , Fe_2O_3 и пониженным SiO_2 . В самих породах ни пирропов, ни алмазов обнаружено не было, но они встречаются ниже по течению в аллювии р. Бендоло и по р. Икой.

В заключение отметим, что метакимберлиты Габона изучены и опробованы очень слабо. Их экономическая ценность определена недостаточно. Важно подчеркнуть, что метакимберлиты Габона (особенно площади Митзик) обнаруживают сходство с докембрийскими сильнометаморфизованными слюдистыми кимберлитами даек Кот-д'Ивуара. Хотя они удалены друг от друга на расстояние более 2000 км, их сближает сходство геологических условий. Оба района приурочены к выступам древнейших пород кристаллического фундамента: в Кот-д'Ивуаре — окраина Леон-Либериийского массива и раннепротерозойской Бирримской мегагеосинклинали, в Габоне — краевая часть массива Шайю близ складчатой зоны Западных Конголид. Для них характерен очень большой денудационный

Таблица 5.

Химический состав (%) кимберлитовых даек Габона [21]

| Местоположение кимберлитов | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO |
|----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|
| Р. Икой | 19,95 | 2,00 | 3,25 | 8,35 | 4,81 | 0,09 | 18,40 | 18,60 |
| Митзик I | 54,60 | 0,93 | 2,95 | 5,40 | 2,50 | 0,09 | 26,85 | 0,60 |
| Митзик II | 57,80 | 1,45 | 0,80 | 4,90 | 2,90 | — | 25,96 | 1,30 |

Продолжение табл. 6

| Местоположение кимберлитов | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O ⁺ | H ₂ O ⁻ | CO ₂ | SO ₂ | Σ |
|----------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|--------|
| Р. Икой | 0,32 | 1,00 | 0,20 | 1,25 | 0,13 | 19,25 | 1,60 | 99,20 |
| Митзик I | 0,10 | 0,30 | 0,30 | 5,40 | 0,25 | — | — | 100,27 |
| Митзик II | 0,20 | 0,45 | 0,30 | 2,80 | 1,50 | — | — | 100,36 |

срез, в связи с чем здесь, по-видимому, сохранились только корневые (дайковые) части кимберлитовых тел.

ЮЖНАЯ АФРИКА

В пределах Южной Африки располагается одна из крупнейших провинций этого континента. Она включает как богатые по запасам алмазов кимберлитовые трубки, так и многочисленные дайковые тела кимберлитов. Рассмотрим особенности проявления кимберлитового вулканизма этой провинции на протяжении геологической истории.

Строение и этапы геологического развития

Алмазоносные кимберлитовые поля Южно-Африканской провинции находятся на территории кратона Калахари, по Ю. Шуберту, А. Фор-Мюре [18], или Трансваальского массива, по В.Е. Хаину [15]. Фундамент массива образован древнейшими гранитами и гранитогнейсами, среди которых сохранились глубокометаморфизованные осадочно-вулканогенные породы систем Свазиленд и Модис (сланцы, гранулиты, джеспилиты, кварциты, граувакки и др.) с возрастом 3400—3000 млн. лет. Они прорваны комплексами основных и ультраосновных пород и гранитоидов.

Гранитизация и складкообразование Родезийской эпохи диастрофизма (3000—2400 млн. лет) завершили формирование фундамента Южно-Африканской протоплатформы. В Южном Трансваале на древнем кристаллическом основании несогласно залегают слабодислоцированные и почти метаморфизованные вулканогенно-осадочные формации систем Доминион-Риф, Витватерсранд, Вентерсдорп и Трансвааль. Эпиконтиненталь-

ные отложения этих формаций рассматриваются многими исследователями [18, 21, 26, 25] в качестве чехла архейской протоплатформы, который впервые в геологической истории Африки приобрел значительное развитие.

Среди перечисленных формаций наибольший практический интерес представляют грубообломочные отложения системы Витватерсранд, которые содержат золотоурановую минерализацию и алмазы. Возраст этой системы определяется в пределах 2700—2300 млн. лет. Залегающие выше основные вулканы системы Вентерсдорп представляют, по мнению В.Е. Хаина [15], "древнейшую из ныне известных трапповых формаций". В пределах терригенно-карбонатных с прослоями вулканитов (лавы Онгелук) образований серии Трансвааль располагается огромный Бушвельдский лополит (1950 ± 50 млн. лет), в котором последовательно снизу вверх ультраосновные и основные породы сменяются средними и кислыми. На породах Бушвельдского комплекса трансгрессивно залегает терригенная формация Ватерберг, в период образования которой происходили поднятия, сопровождающиеся интрузиями щелочных и нефелиновых сиенитов, монзонитов, карбонатитов и кимберлитов, возраст которых определяется средним — поздним протерозоем.

На юго-западе Трансваальский массив обрамляют древние отложения складчатого пояса Кейс, сформировавшиеся в период 900—1150 млн. лет одновременно с Дамаро-Катангской складчатостью более северных районов Африки.

Более молодых отложений докембрия на поверхности Трансваальского массива нет, и его фанерозойская история начинается опусканием юго-восточной части и образованием синеклизы Карру, выполненной отложениями одноименного названия. Разрез системы Карру начинается ледниковой формацией Двайка (C_3), которая переходит в угленосную формацию Экка (P_1) и продолжается красноцветной континентальной серией Бофорт ($P_2 - T_1$). В позднем триасе в центральной части впадины Карру (территория Лесото) отложились угленосная (слои Монтено), а выше красноцветная (Стромберг, T_3) серии. Накопление ее завершилось мощной вспышкой вулканической деятельности, в результате которой в центральных частях синеклизы Карру образовались мощные толщи лав и туфов и многочисленные дайки и силлы доллеритов, в подчиненном количестве щелочные базальтоиды.

К предаптскому или несколько более позднему предальбскому времени относятся образования многочисленных кимберлитовых тел. Они обычно прорывают породы системы Карру и доллеритовые силлы, а на юго-западе Капской провинции — отложения раннемелового возраста, что позволяет датировать их средним — поздним мелом. Кроме кимберлитов к той же эпохе вулканической деятельности принадлежат субвулканические кольцевые щелочные плутоны и приуроченные к ним тела карбонатитов. Как кимберлиты, так и карбонатиты закономерно связаны с зонами разломов преимущественно юго-западного — северо-восточного направлений.

Примерно с конца юры — начала мела впадина Карру оказалась вовле-

ченной в воздымание, которое продолжается и в новейшую эпоху. В современном рельефе эта впадина выражена высоким плато [15].

Главные циклы основного и щелочно-ультраосновного магматизма

Наиболее древние терригенные породы Южно-Африканской провинции, в которых найдены алмазы, приурочены к раннепротерозойской формации Витватерсранд (2700–2300 млн. лет), для которой первично-алмазоносные породы пока не установлены. Последние могли проявиться после Родезийского тектономагматического цикла, завершившего стабилизацию Южно-Африканской проплатформы. Таким образом, накопление указанной алмазоносной формации соответствует ранней стадии формирования платформенного чехла [5]. Раннепротерозойский этап в Южной Африке завершился излиянием платобазальтов и внедрением долеритовых силлов и даек, т. е. образованием первой крупной типично трапповой формации (система Вентерсдорп).

В среднепротерозойский период произошло внедрение кимберлитов, самых древних из известных ныне. Их представителем является трубка Премьер, расположенная в северо-восточной части Трансваальского массива. Ее возраст охарактеризован геологическими данными и подтвержден радиогенными методами. Трубка содержит ксенолиты кварцитов нижних частей системы Ватерберг, а на глубине 400 м пересекается силлом долерита, идентичного по составу и палеомагнитным данным долеритам верхней части разреза этой системы. Возраст, определенный урано-свинцовым и рубидий-стронциевым методами — 1400–1700 млн. лет.

Следующая эпоха основного вулканизма, наиболее интенсивно проявленного в Южной Африке, является эпохой образования вулканогенных толщ и внедрения даек и силлов долеритов в поздне триасовое время — это трапповая формация Стромберг системы Карру. Она предшествовала поздне мезозойской эпохе щелочно-ультраосновного вулканизма, в течение которой образовалось большинство кимберлитовых тел Южно-Африканской провинции. В юго-западном обрамлении Трансваальского массива в этот же период (средний — поздний мел) происходило образование щелочных базальтоидов и карбонатитов.

Дайки кимберлитов (?) верхнего протерозоя

В.А. Милашев [9] относит к протерозойскому возрасту четыре кимберлитовых поля Южно-Африканской провинции: Претория, Мессина, Габеронес (север ЮАР) и Булавайо (юг Зимбабве). В геологическом отношении они попадают в северо-восточную часть Трансваальского массива и прорывают породы среднего докембрия. К югу и юго-западу развит мощный чехол отложений системы Карру, который является, по-видимому, естественной границей распространения докембрийских кимберлитов на уровне современного среза.

В пределах поля П р е т о р и я известно около 20 кимберлитовых трубок и даек, из которых протерозойский возраст определен достаточно для трубки Премьер [14]. Эта трубка сформирована в процессе нес-

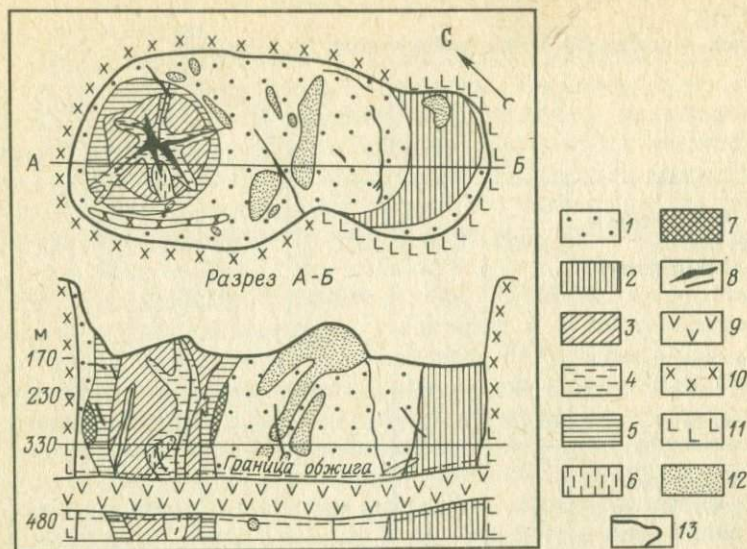


Рис. 8. План горизонта 330 м и разрез по линии А—Б трубки Премьер в Трансваале: 1—7 — кимберлиты: 1 — серый, 2 — коричневый, 3 — черный, 4 — пестрый, 5 — зеленый, 6 — светло-серый, 7 — желтовато-коричневый; 8 — карбонатизированные дайки; 9 — силл габбро; 10 — фельзиты; 11 — нориты; 12 — кварциты Ватерберга; 13 — поверхность открытых работ в январе 1949 г.

кольких фаз внедрений кимберлитов, разделенных интервалом 150—200 млн. лет и отличающихся внешним обликом и составом. Разновидности трубчатого кимберлита (K_1 , K_2 и K_3) секутся жилами и дайками сильно измененного кимберлита и кальцита (рис. 8). Мощность даек до 1 м, падение вертикальное.

В юго-восточной части трубки наиболее распространена разновидность серого кимберлита (K_2). Она характеризуется серпентин-магнетит-карбонатным составом и состоит на 55 % из кальцита и на 10 % из магнетита, которые заключены в тонкую смесь слабокристаллизованного серпентина и гелеподобных оксидов магния; контакт с вмещающими кимберлитами резкий. У зальбандов они становятся более тонкозернистыми. В полосе мощностью до 20 см вмещающий кимберлит (K_2) осветлен, пироксены замещены тальком и тремолитом, а флогопит — биотитом.

В северо-западной кратероподобной части трубки Премьер, сложенной черным кимберлитом (K_3), также известны дайки магнетит-серпентин-карбонатного состава, содержащие меньше карбоната, чем описанные, а магнетита до 30 %. В них имеются следы кимберлитовых минералов. Приконтактные изменения более интенсивны, они проявляются в полосе мощностью до 5 м. Вмещающий кимберлит в них полностью превращен в серпентинизированную породу, почти лишенную кальцита. В 20 м от контакта наблюдаются серпентинизированный форстерит,

Таблица 6

Химический состав (%) даек в кимберлитах трубки Премьер

| Типы пород | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO + Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO |
|--|------------------|------------------|--------------------------------|--|------|-------|-------|
| Карбонатные жилы в кимберлите К ₁ | 16,90 | 0,93 | 0,73 | 10,51 | 0,24 | 16,0 | 26,40 |
| То же в кимберлите К ₂ | 10,82 | 1,66 | 0,10 | 15,60 | 0,86 | 20,20 | 19,30 |

Продолжение табл. 7

| Типы пород | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O ⁺ | H ₂ O ⁻ | CO ₂ | Σ |
|--|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------|
| Карбонатные жилы в кимберлите К ₁ | 0,1 | 0,02 | 0,36 | 5,13 | 0,28 | 19,23 | 97,83 |
| То же в кимберлите К ₂ | 0,1 | 0,01 | 0,68 | 5,36 | 0,01 | 14,64 | 89,34 |

флогопит и кальцит. Переход от неизмененного кимберлита постепенный. Эти дайки по строению в некоторых местах напоминают основную массу трубчатого кимберлита. Их химический состав приведен в табл. 6.

Указанные дайки, которые ряд исследователей относит к карбонатам, внедрялись из остаточного расплава трубчатого кимберлита позднее остальных фаз. По данным Ж. Вильяма, [30] возраст их 1200 млн. лет. Алмазов они не содержат.

В поле Претория известны также трубка Каальфонтейн с 20-метровой дайкой, дайка Франспурт, трубка Малый Зондер-Хоут, представляющая собой раздув дайки. Для Зимбабве имеются упоминания о развитии кимберлитовых даек в поле Булавайо, где они размещаются на одном разломе с трубкой Колосс [14]. Однако сведений о их строении, составе и алмазоносности в литературе не приводится. Таким образом, приходится констатировать, что дайковая фация кимберлитов протерозойского возраста в Южной Африке изучена чрезвычайно слабо.

Дайки кимберлитов мезозойского возраста

Кимберлитовый магматизм мезозойского (верхнемелового) возраста в Южно-Африканской привинции широко представлен как трубчатой, так и дайковой фациями. Условия залегания и строения дайковых тел очень разнообразны. Здесь представлены все основные типы даек, выделенные В.А. Милашевым [9] и другими исследователями: 1) не имеющие видимой пространственной и генетической связи с трубками взрыва; 2) служившие подводными каналами для диатрем и соединяющие отдельные трубки; 3) развитые в зонах дробления на контактах диатрем; 4) внедрив-

шиеся по трещинам в уже затвердевшие кимберлитовые породы, заполняющие трубки взрыва.

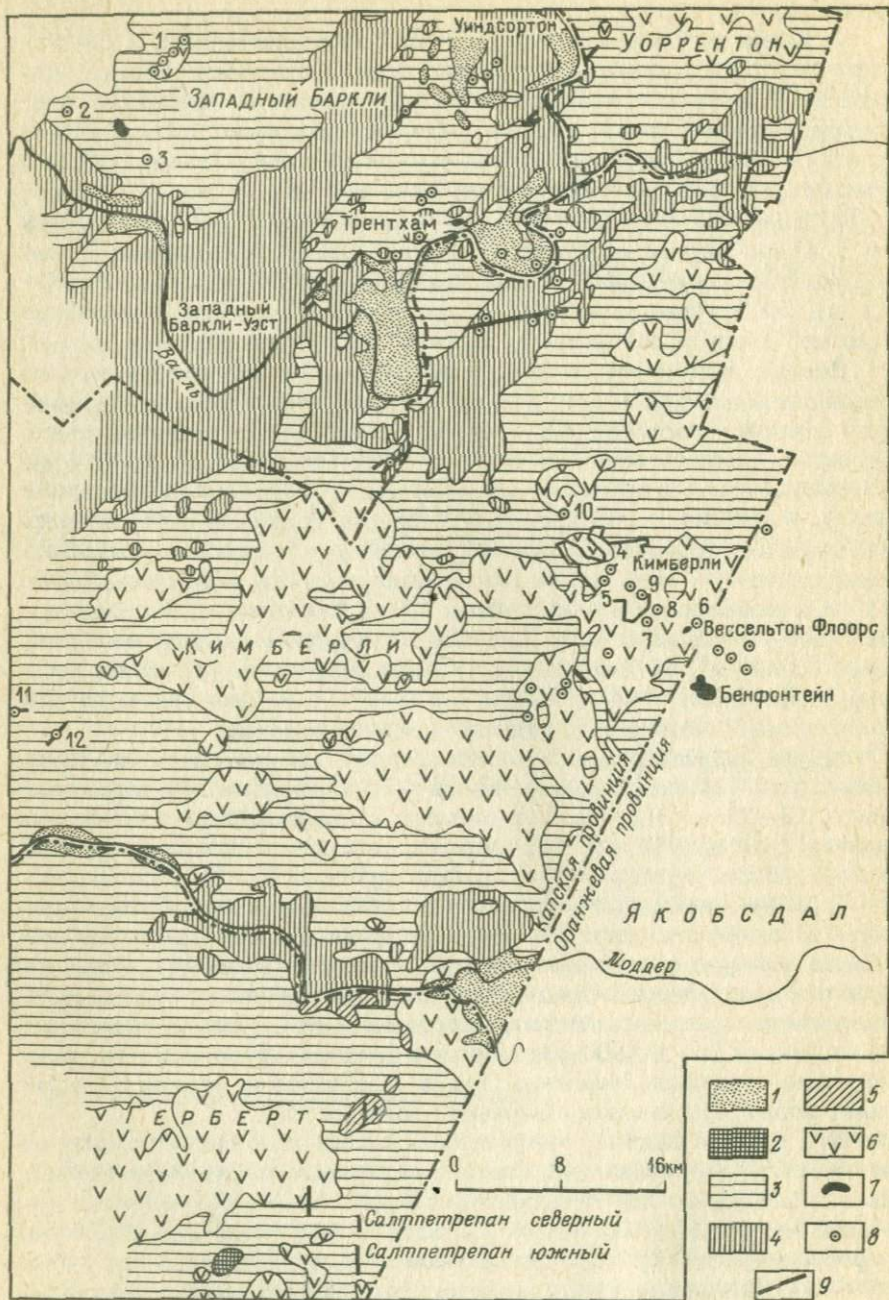
1. Дайки, не имеющие видимой связи с трубками взрыва. Примером этого типа служат кимберлитовые дайки района Рустенберг. Они располагаются на северо-восточной окраине Трансваальского массива к северо-западу от кимберлитового поля Претория и прорывают протерозойские породы системы Трансвааль. Дайки образуют две свиты северо-западного простирания общей протяженностью несколько километров. По данным Б. Тоуна на наиболее изученном участке **Свартрюгенс** дайки прослежены на 5, 25 км. Падение их близкое к вертикальному. Дайки ветвятся и характеризуются изменчивой мощностью от 0,02 до 2,1 м (в среднем 0,7–0,9 м). На глубине мощность их увеличивается, а также появляются "слепые" дайки, не доходящие до современной поверхности.

Порода, выполняющая дайки, представлена карбонатизированным слюдяным кимберлитом, включающим вкрапленники серпентинизированного оливина, флогопита, реже темно-красного пироба и пикроильменита. Основная масса сложена кальцитом с пиритом, хлоритом и авгитом. Ксенолиты представлены мелкими угловатыми обломками кварца и роговиков, округлыми – лав Онгелука и сланцев. В приконтактных зонах наблюдаются прожилки кальцита. Радиогенный возраст описываемых кимберлитов 147 млн. лет. Эксплуатационные работы ведутся на глубине 180 м, а разведаны дайки до глубины 420 м. Для кимберлитов дайковых тел этого участка характерно постоянное содержание алмазов, составляющее 3–5 кар/м³, 85 % относится к техническим сортам. Наиболее крупный камень имеет массу 511, 25 кар. В 1972 г. здесь было добыто 165 594 кар алмазов, а всего на этом руднике – около 1 млн. кар.

Южнее Свартрюгенса расположена свита алмазоносных кимберлитовых даек – Маллин, прослеженных по простиранию на 2,7 км при мощности 0,3–0,9 м. Одни из даек содержат преимущественно технические алмазы (рудник Маллин, 1,65 кар/т), другие – ювелирные (рудник Хелам, 4,3 кар/т), где работы ведутся на глубине 330 м [14].

2. Дайки, служившие подводными каналами для диатрем. На территории Южно-Африканской алмазоносной провинции кимберлитовые тела обычно образуют обособленные группы, в пределах которых встречаются трубки взрыва, дайки и силлы. Среди даек этой группы можно выделить два подтипа. К первому относятся корневые дайки, в которые переходят на глубине от 240 до 1000 м некоторые крупные трубчатые тела центральной части провинции. Мощность даек от 2 до десятков метров. На одной дайке может располагаться несколько трубчатых тел.

Для второго подтипа, распространенного на некотором удалении от центральной части провинции, характерно развитие серий кимберлитовых даек, имеющих в плане линзовидные раздувы шириной в несколько десятков метров. В тех случаях, когда раздувы выполнены эруптивной или туфобрекчией кимберлита, их принадлежность к корневым частям трубок очевидна. Линзовидный в плане раздув при массивной текстуре заполняющего его кимберлита может представлять собой локальное расширение трещины. Дайки рассматриваемого типа на участках с четкой выраженной



зоной дробления и расщепления иногда вырождаются в серию крутопадающих ветвящихся мелких даек и прожилков, не выдержанных по мощности.

Корневые дайки широко распространены в наиболее крупном из южно-африканских Кимберлийском поле (левобережье р. Вааль), в котором сосредоточено большинство известных алмазных месторождений (рис. 9). Трубки Кимберлийского поля эродированы на глубину не менее 1000 м, в результате этого при разведочных работах можно наблюдать резкое уменьшение их мощности с глубиной и переход в дайковые тела. Кимберлиты описываемого поля пересекают породы кристаллического основания и горизонтально перекрывающие их вулканогенно-осадочные отложения системы Карру (С₃-Т). Возраст их определен Rb - Sr методом в 86 ± 3 млн. лет [21].

Трубка Кимберли размером на поверхности 260 x 160 м сложена тремя столбами кимберлита, из которых восточный выклинивается на глубине 305 м, а западный — на глубине 630 м, где он переходит в дайку мощностью около 2 м. Центральный столб переходит в дайку мощностью 13 м на глубине 1042 м. Дайка западного столба прослежена в сторону трубки Святого Августина и соединяет ее с трубкой Кимберли. Сама трубка Святого Августина представляет собой раздув этой дайки и имеет трубчатую форму лишь до глубины 240 м.

Корневая дайка центрального столба трубки Кимберли лишена признаков брекчирования и имеет полосчатое строение. Полосы порфинового кимберлита, не содержащего ксенолитов, чередуются с полосами мелкозернистого (афанитового) кимберлита, почти лишенного вкрапленников. В порфиновом кимберлите вкрапленники неизменного оливина погружены в основную массу, состоящую из серпентина, кальцита, хлоритизированной слюды с большим количеством магнетита, перовскита и апатита. В целом для этой трубки характерно преобладание октаэдров и гексаоктаэдров с округлыми гранями. На большой глубине в пределах подводящей дайки встречались алмазы со своеобразными углублениями (оспинами), возникновение которых объясняют графитизацией под влиянием термального метаморфизма больших глубин [14].

Другая крупная трубка Де-Бирс на поверхности имеет размеры 330 x 120 м. Диаметрная часть продолжается до глубины 575 м, где вертикальное падение сменяется на наклонное. На глубине 620 м она представлена двумя раздувами, соединенными дайкой, а на горизонте 785 м переходит в дайку. Здесь полностью исчезают признаки брекчированности

Рис. 9. Схематическая геологическая карта среднего течения р. Вааль и района г. Кимберли:

1 — аллювий; 2 — серия Экка; 3 — серия Двайка; 4 — серия Пинель; 5 — серия Зоетлиф; 6 — долериты; 7-9 — кимберлитовые тела: 7 — силы, 8 — трубки, 9 — дайки. Кимберлиты: 1 — Нью-Лендс, 2 — Дейпортсхооп, 3 — Лонглендс, 4 — Кимберлей, 5 — Святого Августина, 6 — Вессельтон, 7 — Булфонтейн, 8 — Дютойспен, 9 — Де-Бирс, 10 — Камфорсдам, 11 — Паардсберг восточный, 12 — Западный Кимберли

кимберлита. Он сложен многочисленными вкрапленниками округлых зерен оливина, листочками флогопита, отдельными зернами ильменита, энстатита, диоксида и пироба. Основная мелкозернистая масса зеленовато-черного цвета сложена кальцитом, серпентинитом, хлоритом с мелкими зернами оливина, перовскита, хромита, апатита и оксидами железа.

Кимберлитовый комплекс К а м ф е р с д а м (в 6,5 км к северо-западу от Кимберли) состоит из двух трубок, дайки и силла. Трубки располагаются на дайке, имеют округлую форму и по существу являются ее раздувами. Дайка кимберлита имеет сложное строение со ступенчатыми зальбандами, образованными под влиянием развития силлов. Мощность ее иногда достигает 60 м, прослежена на расстоянии около 1 км. Содержание алмазов в трубках низкое, в дайках — нет.

Сходное строение имеет комплекс Л о к с т о н д а л ь (в 15 км к северо-востоку от Кимберли). Он состоит из двух тел: первое овальное 65 x 27 м, второе дайкообразное мощностью 18 м и протяженностью 50 м. На глубине 63 м оба тела соединяются в одно размером 120 x 60 м, а на 126 м — переходят в дайку с несколькими раздувами. Кимберлит Локстондаля состоит из красноватой тонкозернистой массы кальцита и флогопита с округлыми вкрапленниками оливина и обломками вмещающих пород системы Карру и гранитов. Признаков взрывного происхождения не обнаружено.

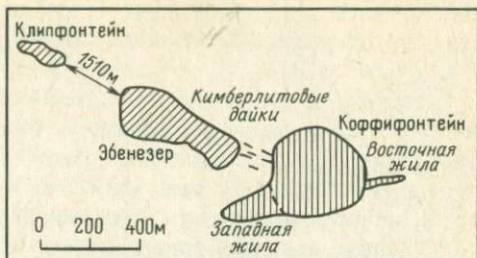
Южнее Кимберли (междуречье левых притоков р. Оранжевой — Моддеррифер и Каледон) расположены кимберлитовые поля Я х е р с ф о н т е й н и К о ф ф и ф о н т е й н. Они включают соответственно 10 и 16 кимберлитовых трубок и даек. Отдельные дайки прослежены на расстоянии до 1,5 км. Кимберлиты трубок и даек алмазоносны, но содержание алмазов в них ниже, чем в Кимберлийском поле.

Трубка Яхерсфонтейн, имеющая на поверхности размеры 425 x 300 м, на глубине 700 м переходит в дайку мощностью 70—80 м. Кроме трубки здесь известны дайки Копьефонтейн, Буффельсхоутфонтейн и другие с низким содержанием алмазов.

Кимберлитовое поле Коффифонтейн включает несколько трубок (Коффифонтейн, Эбензер и Клипфонтейн), приуроченных к разлому северо-западного простирания (рис. 10). На глубине они, возможно, соединяются. Между трубками Эбензер и Коффифонтейн расположено большое количество маломощных кимберлитовых даек. Трубки Клипфонтейн либо представляют собой раздуд дайки, либо возникли на пересечении нескольких зон разломов, на что указывает существование двух апофиз, выклинивающихся по мере удаления от трубки. Имея на поверхности размеры 185 x 65 м, она на глубине 240 м переходит в корневую дайку.

Кимберлитовое поле Б о ш о ф (90 км северо-восточнее Кимберли) включает 8 трубок, три раздува и две дайки. Одна из них — Робертс-Виктор состоит из двух трубок овальной формы, расположенных над дайкообразным телом, у которого установлены еще два раздува и ряд апофиз, не выходящих на поверхность. Трубки и дайки сложены кимберлитовой брекчией. Среднее содержание алмазов в них — 0,45 кар/м³. Дайки

Рис. 10. План расположения кимберлитовых тел в районе г. Коффонтейн



по сравнению с трубками относительно более обогащены алмазами. Они эксплуатировались до глубины 120 м, пока не произошло резкого уменьшения мощности дайки.

К перечисленным примерам можно добавить кимберлитовые поля Кронстад (бассейн верховья р. Вааль) и Постмасбург (правобережье верхнего течения р. Оранжевой), в которых трубчатые тела кимберлитов часто представляют собой раздувы даек, причем последние прослеживаются на несколько километров. Они сложены мелкозернистым слюдяным кимберлитом и алмазоносны.

Примером даек второго подтипа рассматриваемой группы являются районы Западного Баркли-Уэста и Уинбурга, расположенные соответственно к северо-западу и востоку от Кимберли. Для них, помимо трубчатых тел, характерно широкое развитие кимберлитовых даек с раздувами.

В районе Западный Баркли-Уэст (левобережье р. Вааль) выделяются две алмазоносные площади: Франк-Смит и Бельсенк (рис. 11).

В пределах площади Франк-Смит (восточный берег р. Хартсрифир) известно два трубчатых тела (северное и южное), которые соединены дайкой мощностью 30–40 м и прорывают сланцы и долериты системы Карру. Все тела сложены порфировыми кимберлитами с крупными вкрапленниками ильменита и пироба размером до 5 см. К западу от рудника Франк-Смит находятся алмазоносные кимберлитовые дайки Доорнклоф-Совер, Доорнлааге и др. Кимберлиты даек представлены флогопит-

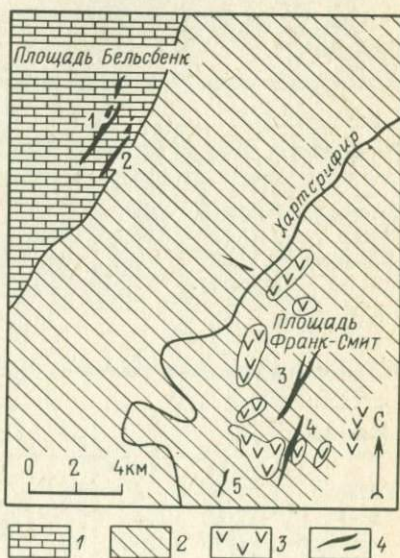


Рис. 11. Расположение кимберлитовых тел на площадях Бельсенк и Франк-Смит:

1 – доломиты Кампбелл-Ранд; 2 – сланцы Карру; 3 – долериты; 4 – жилы и дайки кимберлитов. Жилы: 1 – Главная, 2 – Боббиджан, 3 – Доориклоф-Совер, 4 – Доорилааге, 5 – Митчманскрааль

карбонатной породой с измененными вкрапленниками оливина. Длина даек по простиранию 3,6 и 6,6 км. Среднее содержание алмазов — 0,06—0,45 кар/м³ [14].

Площадь Бельсбенк находится у северо-восточной границы Кимберлийского поля на западном берегу р. Хартсрифир. Здесь среди карбонатных пород Трансваальской системы (свита Кэмпбел-Ранд) позднего протерозоя установлены две зоны кимберлитовых даек, расположенных кулисообразно и вытянутых в северо-восточном направлении.

Главная, западная зона прослежена на 3,9 км и состоит из большого числа мелких крутопадающих даек мощностью от 0,45 до 1,2 м. В пределах зоны известны 4 раздува, из которых наибольший имеет размер 180×27 м, а остальные 36—42 м. Северный, Центральный и Южный раздувы характеризуются промышленной алмазонасностью с содержанием 0,3—0,75 кар/м³ и разрабатываются, Восточный — непромышленный.

К востоку от главной зоны имеется ответвление дайки, прослеженной на расстояние 1,65 км. В ее центральной части наблюдается раздув мощностью около 30 м. Он эксплуатировался до глубины 30 м.

Восточная зона даек (Боббиджан) с вертикальным падением раздувов не содержит. Между Западной и Восточной зонами даек расположена зона Уотер с низким содержанием алмазов.

Кимберлиты даек площади Бельсбенк имеют коричневатую-зеленую и голубовато-серую окраску. Они содержат от 8,4 до 51,8 % псевдоморфоз серпентина по оливину, 0,2—30 % флогопита, а также гранат, клинопироксен, хромшпинелиды и др. Основная масса (45—85 % объема породы) состоит из серпентина, кальцита, флогопита, апатита, перовскита и магнетита, ильменита не встречено. Текстура основной массы флюидальная. В кимберлитах встречаются желваки округлой формы размером до 4 см кианитовых, корундовых, ортопироксеновых, оливин-корундовых, алма-

Таблица 7

Химический состав (%) кимберлитовых даек площади Бельсбенк

| Зоны даек | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|-------------------|
| Главная | 28,80 | 0,79 | 2,47 | 7,29 | 0,33 | 24,96 | 11,16 | 0,02 |
| Уотер | 25,27 | 0,50 | 1,64 | 4,77 | 0,11 | 10,59 | 26,34 | 0,03 |
| Боббиджан | 23,25 | 0,05 | 1,63 | 4,48 | 0,36 | 14,17 | 23,68 | 0,10 |

Таблица 8

Содержание отдельных элементов в кимберлитовых дайках площади Бельсбенк

| Зоны даек | Cr | Ni | Co | Cr/Ni | K | Rb | Cs | Ba | Ce | Na |
|-----------|------|------|----|-------|------|----|-----|------|-----|-----|
| Главная | 1320 | 1150 | 62 | 115 | 7040 | 57 | 3,7 | 2540 | 500 | 246 |
| Уотер | 1190 | 1010 | 53 | 118 | 390 | 4 | 0,4 | 128 | 198 | 70 |
| Боббиджан | 1270 | 1050 | 60 | 121 | 6490 | 53 | 3,0 | 4720 | 253 | 152 |

зоносных и других эклогитов, а также дунитов, гарцбургитов, лерцолитов. В трубообразных раздувах даек присутствуют ксенолиты гранулитов, гнейсов, гранитов и других вмещающих пород докембрия. Химический состав кимберлитовых даек площади Бельсбенк приведен в табл. 7, 8 из которых видно, что непромышленные кимберлиты даек зоны Уотер отличаются от промышленно алмазоносных даек Главной и Западной (Боббиджан) зон пониженным содержанием Fe_2O_3 , MgO , K_2O , P_2O_5 и повышенным CaO и CO_2 , а также пониженными значениями $Mg/Mg + Fe$ и повышенным Si/Mg . Таблица показывает, что неалмазоносные кимберлиты зоны Уотер резко отличаются и по химическому составу от кимберлитов алмазоносных даек (Главной и Боббиджан).

О характере алмазов площади Бельсбенк известно мало. Отмечается, что здесь встречаются как октаэдры, так и додекаэдры, причем первые крупнее и лучшего качества. Известны алмазы с бледно-зеленой оболочкой, исчезающей при огранке, что является признаком древнего возраста алмазов. Среди добываемых камней преобладают ювелирные сорта. Содержание алмазов 0,18–0,46 кар/т [14].

В поле Ньюлендс, которое находится в 20 км к юго-западу от площади Франк-Смит, известна дайка северо-восточного простирания мощностью от 0,3 до 2,5 м. Ее прослеженная длина более 1 км. На дайке имеется пять раздувов шириной от 5 до 40 м, часть из них эксплуатируется. Дайка прорывает сланцы Двайка (C_3) и долериты системы Карру (Т). Кимберлиты дайки и раздувов относятся к слюдяному типу. Во вкрапленниках присутствуют оливин, гранат, пироксены и ильменит, хромшпинелиды встречаются редко. Из родственных включений установлены эклогиты, гарцбургиты и лерцолиты.

Содержания алмазов в дайках и раздувах идентичны и составляют 0,4–0,6 кар/м³. Преобладают мелкие алмазы хорошего качества. Разработки достигли 150 м.

| K_2O | P_2O_5 | H_2O^+ | H_2O^- | CO_2 | Σ | $Mg/(Mg + Fe)$ | Si/Mg |
|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------------|---------|
| 1,00 | 1,33 | 10,84 | 0,95 | 7,61 | 97,55 | 86,2 | 0,89 |
| 0,05 | 0,41 | 5,97 | 3,98 | 20,50 | 100,16 | 81,5 | 1,85 |
| 0,78 | 1,34 | 11,49 | 1,47 | 13,16 | 95,96 | 83,7 | 1,24 |

($n \cdot 10^{-6} \%$)

| Sm | Eu | Tb | Vb | Zu | Fh | U | K/Kb | K/Cs | Th | La |
|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|
| 16,2 | 379 | 1,79 | 1,7 | 0,16 | 39,2 | 6,7 | 124 | 1900 | 5,9 | 243 |
| 8,1 | 202 | 1,00 | 1,0 | 0,11 | 13,9 | 2,5 | 98 | 975 | 5,6 | 108 |
| 13,3 | 413 | 2,02 | 2,1 | 0,20 | 46,4 | 5,3 | 122 | 2160 | 8,8 | 315 |

К востоку от Кимберлийского поля в верховьях левых притоков рек Вааль-Фет и Сано, на площади У и н б у р г известна зона кимберлитовых даек, прослеженная в широтном направлении на 16 км. Она состоит из 15 крутопадающих даек, расположенных кулисообразно по отношению друг к другу и концентрирующихся на двух участках. Дайки прорывают горизонтально залегающие отложения серий Экка (P_1) и Бофорт ($P_2 - T$), слагающие северо-западный борт обширной впадины Лесото. Мощность Главной дайки около 1 м.

На этом участке располагается несколько рудников (Бирн, Феникс, Ферон, Стар, Лайон-Хилл и др.), разрабатывающих дайки и находящиеся на них раздувы. Так, рудник Лайон-Хилл разрабатывал 20-метровый раздув дайки, имеющей мощность 1—3 м. На глубине 21 м раздув перешел в серию тонких кимберлитовых тел. Кимберлиты, слагающие дайки и раздув, относятся к слюдяному типу. Крупные вкрапленники в них представлены оливином и изогнутыми листочками флогопита. Основная масса, имеющая флюидальную текстуру, состоит из листочков слюды, иногда обтекающих вкрапленники оливина, большого количества перовскита, кальцита и магнетита. Она интенсивно серпентинизирована. Химический состав кимберлитов дайки Лайтон-Хилл следующий (среднее из двух анализов):

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MgO | CaO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|
| Содержание, % | 33,6 | 1,53 | 3,42 | 6,28 | 3,25 | 27,83 | 7,58 |

| Компоненты | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O ⁻ | H ₂ O ⁺ | CO ₂ | Σ |
|---------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------|
| Содержание, % | 0,24 | 3,46 | 1,08 | 0,4 | 6,64 | 5,34 | 100,65 |

В настоящее время работы проводятся лишь на руднике Стар, разрабатывающем участок даек протяженностью 1,83 км, мощностью 1 м. Эксплуатируется горизонт 300 м с содержанием алмазов 0,45 кар/м³. Средняя масса камней 0,4 кар, качество их высокое. В год добывается несколько десятков тысяч алмазов [14].

Севернее описанной площади расположено поле Кронстад, включающее трубочатые и дайковые тела. Одна из трубок (Форспед) представляет собой раздув на дайке широтного простирания мощностью 1,2 м. Она прослежена на расстоянии 6,4 км. Кимберлит, слагающий дайку, мелкозернистый, слюдяной с небольшим количеством граната. Содержание алмазов 0,21 кар/т. Представлены они в основном додекаэдроидами небольшого (в среднем менее 0,1 кар) размера, окрашенными, невысокого качества.

Алмазоносные площади Лесото располагаются на юго-восточной окраине Южно-Африканской кимберлитовой провинции. Этот регион характеризуется резким преобладанием дайковой фации над трубочной. К настоящему времени здесь известны более 30 трубок, 21 раздув и более 200 кимберлитовых даек [14]. Они расположены по окраине впадины Лесото среди терригенных отложений серии Бофорт (T — Y), прорванных

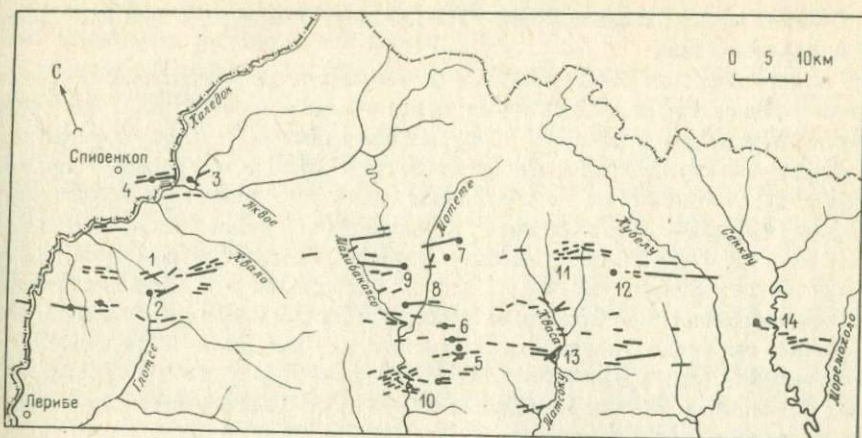


Рис. 12. Схема расположения кимберлитовых тел в Лесото. По П.Г. Никсону:
 1 — Бута-Буте; 2 — Секаменг; 3 — Хололо; 4 — Де-Вильерсдрифт; 5 — Као; 6 — Лихобонг; 7 — Таба Путсоа; 8 — Лемпхане; 9 — Сотане; 10 — Малибаматсо; 11 — Мотхае; 12 — Летсенгла-Терай; 13 — Матсоку, 14 — Роберт

многочисленными дайками и силлами долеритов. В целом отмечается западно-северо-западное простираие линейных элементов, а в северном Лесото 69 % долеритовых даек, 81 % трещин и 96 % кимберлитовых тел ориентированы в пределах $80-140^\circ$.

Кимберлитовые тела моложе долеритовых и, по-видимому, одновозрастны с описанными кимберлитами ЮАР. Они образуют широкую полосу западно-северо-западного простираия общей протяженностью более 100 км (рис. 12). В пределах этой полосы выделяются три поля распространения кимберлитовых даек: восточное, центральное и западное. Внутри полей кимберлитов дайки ориентированы в направлении $80-140^\circ$. Мощность даек достигает 8 м, но у большинства (70 %) обычно не превышает 1 м. Многие дайки, как и на площадях Западного Баркли-Уэста и Уинбурга, имеют раздувы.

Поле Лесото - Западное расположено в бассейне верхнего течения р. Каледон (левый приток р. Оранжевой) и представлено зонами даек с несколькими раздувами и трубчатыми телами (Бута-Буте, Секаменг и др.). Серия даек вытягивается в юго-восточном направлении (110°) на 10 км. На площади Бута-Буте она образует две зоны кулисообразных вертикально падающих тел, включающих 27 даек с раздувами. Дайки обычно приурочены к зонам трещиноватости. Мощность их достигает 4 м, но обычно не более 1,5 м, а протяженность — нескольких километров. Наблюдаются резкие изменения мощности по простираию и падению, особенно близ контактов с вмещающими породами. Так, на контактах песчаников и долеритовых лав дайки могут выклиниваться. Они выполнены карбонатным и слюдяным типами кимберлитов и содержат много округлых включений как измененных вмещающих пород, так и родственных кимберлиту. Это отмечается даже в тонких прожилках, где

ксенолит может занимать всю его ширину. Текстура основной массы флюидальная [26].

Поле Лесото-Центральное находится в бассейне р. Малибатсо. Здесь имеется несколько алмазоносных трубок, часть которых представляет собой раздувы, соединенные дайками, и даек. Трубки выполнены преимущественно кимберлитовыми брекчиями, дайки — массивными разновидностями. Значительная часть их сложена кимберлитами слюдяного типа. Вкрапленники представлены серпентинизированными оливином и пироксеном с высоким содержанием пикроильменита, который иногда образует крупные (до 5 см) желваки. В крупных зернах также встречается пироповый гранат. Для кимберлитов характерно наличие округлых ксенолитов измененных базальтов и родственных включений. Среди кристаллографических форм преобладают додекаэдриды. Размер их в основной небольшой (80—85 % менее 4 мм), но известны и находки крупных алмазов более 100 кар.

Поле Лесото-Восточное расположено в среднем течении р. Санкву. Здесь известно несколько даек с раздувами северо-восточного и северо-западного простирания. Химический состав для дайки Роберт этого поля следующий:

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------|
| Содержание, % | 27,93 | 2,73 | 4,47 | 7,04 | 5,12 | 10,01 | 25,42 |

| Компоненты | MnO | K ₂ O | N ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O | CO ₂ | Σ |
|---------------|------|------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------|
| Содержание, % | 0,23 | 1,18 | 0,21 | 1,07 | 8,57 | 5,61 | 99,59 |

Кимберлиты Лесото отличаются от кимберлитов ЮАР повышенным содержанием TiO₂ и пониженным K₂O.

3. Дайки, развитые в зонах дробления по экзоконтактам диатрем. Это тела по периферии трубок, приуроченные к концентрической трещиноватости, возникающей при их образовании. Данных об особенностях строения кимберлитовых даек этого типа в литературе по Южно-Африканской провинции практически не приводится. В качестве примера упоминается вертикальная дайка кимберлита мощностью около 3 м, опоясывающая трубку Бюлтфонтейн (Кимберлийское поле) на горизонте 215 м. Она проходит, изгибаясь в 15 см от северного контакта трубки. Состав кимберлитов трубки и дайки идентичен, поскольку они образовались одновременно.

4. Дайки и жилы, внедрившиеся по трещинам в уже затвердевшем кимберлите трубки. Эти дайки обычно не выходят за контур трубок и образовались в результате внедрения небольших порций остаточного кимберлитового расплава при заполнении первичных трещин отдельности. В плане для них характерна изменчивая и небольшая мощность. Состав часто отличается от состава трубчатого кимберлита повышенным содержанием слюды.

Дайки подобного типа были приведены при характеристике кимберли-

тов протерозойского возраста трубки Премьер. Мощность их не превышает 1 м. Состав серпентин-магнетит-карбонатный со следами кимберлитовых минералов. Алмазы в них отсутствуют.

Среди мезозойской группы кимберлитов дайки указанного типа наиболее распространены в крупных по размеру трубках Кимберлийского поля. Так, в самой крупной из трубок этого поля Дютойспен (площадь 12,75 га) отмечено несколько даек, секущих кимберлитовую брекчию. В пределах трубки Вессельтон (9,75 га) встречена дайка мощностью 1,2–1,8 м, прослеженная в кимберлитах между горизонтами 152 и 488 м, а на глубине 930 м находится дайка карбоната. Кимберлиты трубки Де-Бирс (5,5 га) в наиболее глубоких частях (500–700 м) секутся многочисленными мелкими дайками, из которых самой мощной является дайка Спак.

Кимберлитовые дайки обнаружены и в крупных трубках полей Яхерсфонтейн и Коффифонтейн, расположенных южнее Кимберлийского поля. В самой крупной из них – трубке Яхерсфонтейн (11,1 га) на глубине 153 м встречена ветвящаяся дайка кимберлита. Кроме того, в ней прослежены сильно карбонатизированные породы, сохраняющие структуру кимберлита и не выходящие за контур даек. Вкрапленники в кимберлитах представлены оливином, флогопитом и мелкими выделениями флогопита с перовскитовыми каймами. Основная масса состоит из мелких зерен кальцита и апатита, химический состав этих даек следующий (среднее из трех анализов):

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------|
| Содержание, % | 11,45 | 1,47 | 4,11 | 0,1 | 3,68 | 1,58 | 0,18 | 7,01 | 39,29 |

| Компоненты | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O ⁻ | H ₂ O ⁺ | CO ₂ | Cl | S | Σ |
|---------------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----|------|--------|
| Содержание, % | 0,28 | 0,94 | 1,75 | 0,18 | 1,31 | 26,7 | 0,4 | 0,14 | 100,57 |

В трубке Коффифонтейн (площадь 12,1 га) встречена дайка мелкозернистого кимберлита с крупными вкрапленниками оливина в основной массе, состоящей из мелких чешуек флогопита, кальцита, магнетита, перовскита и др. [14].

По данным Н.Джуна маломощные дайки более молодого кимберлита отмечены и в трубке Финш (18 га) поля Постмасбург к западу от Кимберлийского.

Заканчивая характеристику кимберлитовых даек Южно-Африканской провинции, подчеркнем, что алмазоносные дайки встречаются только среди кимберлитовых полей, расположенных в пределах Трансваальского массива. На юго-западе Африки среди докембрийских пород складчатой системы Кейс, обрамляющей Трансваальский массив, также известно несколько кимберлитовых полей (Бушмеленд в Малом Намакваленде – ЮАР, Гибсон, Мукороб и Берсеба в Намибии), образованных трубчатыми и дайковыми телами. Особенностью этого региона является ассоциация кимберлитов с комагматическими им ультраосновными и щелочно-ультра-

основными породами пикритовой фации и карбонатитами. Трубки кимберлитов здесь также сопряжены с дайками и относятся к категории раздувов на последних. Хотя в них содержатся парагенетические спутники — пироповый гранат, пикроильменит, хромдиопсид и другие, алмазы ни в одном из кимберлитовых тел не обнаружены. Это еще раз подтверждает высказываемую исследователями мысль о том, что алмазоносны только кимберлиты, расположенные в пределах кратонных областей древних дорифейских платформ.

* * *

Таким образом, в пределах Южно-Африканской алмазоносной провинции были три эпохи кимберлитового магматизма. Предполагается, что наиболее ранняя, раннепротерозойская, позднепротерозойская и позднемезозойская установлены достаточно определенно. Для позднепротерозойской и позднемезозойской эпох этой провинции характерно развитие как трубчатой, так и дайковой фаций кимберлитов. Дайковая фация позднепротерозойского возраста изучена очень слабо и только для даек, относящихся к четвертому типу (внедрившихся в уже застывший кимберлит внутри трубки). Для них свойственны небольшая мощность (до 1 м), сильно измененный состав и отсутствие алмазов.

Среди даек кимберлитов мезозойского возраста промышленное значение имеют первый и второй типы. Для даек первого типа (район Рустенбург), не имеющих видимой связи с кимберлитовыми трубками, характерны значительная протяженность и высокие содержания (3—5 кар/м³) алмазов. Во втором типе интересны серии дайковых тел с раздувами, сопровождающие кимберлитовые трубки. Они образуют зоны протяженностью от нескольких (районы Западной Баркли-Уэст, Уинбург, Ньюлендс) до десятков километров (Лесото). Мощность даек в этих зонах колеблется от 0,45 до 4 и даже 8 м, а ширина раздувов может достигать десятков метров. Содержание алмазов ниже, чем в дайках первого типа (в среднем 0,45 кар/т), но запасы значительны.

Дайки всех типов обычно выполнены слюдяным кимберлитом и включениями родственных и вмещающих пород. Дайки Южно-Африканской провинции изучены слабее чем дайки Западно-Африканской провинции, где они представляют практически единственный объект эксплуатации среди коренных месторождений. О кристаллографических формах и других особенностях алмазов кимберлитовых даек Южной Африки в литературе очень мало сведений. По имеющимся данным можно судить о том, что среди них также преобладают округлые формы (додекаэдрониды и октаэдрониды). Масса их, по-видимому, варьирует в широких пределах — от мелких (менее 0,1 кар, поле Кронстад) до значительных (в среднем 0,4 кар, поле Уинбург).

ЮЖНО-АМЕРИКАНСКАЯ ПЛАТФОРМА

На территории Южно-Американской платформы расположены две крупные алмазоносные провинции: Гвианская и Бразильская, приуроченные к одноименным щитам. В первой из них известны лишь россыпные

месторождения алмазов, во второй имеются и коренные месторождения. Последние представлены телами сильно измененных изверженных пород докембрийского возраста, первичная природа которых не установлена, но большинством исследователей предполагается кимберлитовой [14, 9, 21], а также открытыми в последние годы кимберлитовыми трубками домелового возраста [29].

Значительная часть алмазоносных пород первого типа, которые по внешнему сходству бразильские геологи называют "филлитами", залегает в форме даек, поэтому более подробно остановимся на условиях их залегания и строения.

Строение и этапы геологического развития области распространения алмазоносных "филлитов"

Алмазоносные "филлиты" встречены пока в единственном месте на земном шаре — районе Диамантина Бразилии. В геологическом отношении эта территория приурочена к западной окраине Восточно-Бразильского щита — зоне его сочленения с синеклизой Сан-Франсиску-Паранаиба (верховье р. Паранаиба). Наиболее древние кристаллические породы щита (серия Руи-дас-Вельяс) в этом районе имеют возраст 2500 млн. лет. Их несогласно перекрывает сланцево-кварцитовая с карбонатными, вулканогенными и грубообломочными терригенными отложениями серия Минас. К этой серии приурочены крупные месторождения железа и марганца, а с кварцево-галечными конгломератами связаны золотоурановая минерализация и находки алмазов [5]. Возраст серии датируется интервалом 1900—1350 млн. лет, но не исключено, что она древнее и может быть сопоставлена с серией Витватерсранд Южной Африки. На отложениях серии Минас несогласно залегает более молодые по возрасту, возможно, рифейские существенно кварцитовые породы серии Итаколуми, которые широко распространены в районе Диамантина. Они смяты в складки субмеридионального простираения и прорваны интрузиями диабазов и алмазоносных "филлитов". Позднепротерозойский возраст последних определяется тем, что они секут кварциты Итаколуми и перекрываются терригенными породами свиты Лаврас позднего докембрия, радиогенный возраст которой около 600 млн. лет. Разрез докембрия Восточно-Бразильского щита завершается терригенными и терригенно-карбонатными отложениями серий Лаврас и Бамбуи; первая — включает пласты алмазоносных филлитов (формация Сопа).

Начиная с фанерозоя Восточно-Бразильский щит претерпевает поднятие. Обрамляющая его с запада внутриплатформенная впадина Сан-Франсиску-Паранаиба выполнена комплексом осадочных пород среднего и позднего палеозоя (силур — нижний карбон). В мезозое (триас — начало мела) здесь происходит массовое излияние базальтов в основном трещинного типа, сопровождавшееся образованием многочисленных даек и силлов долеритов, диабазов и габбро, относящихся к трапповой формации. Они широко распространены в шт. Парана и западной части шт. Минас-Жерайс Бразилии. В меловой период проявился также вулканизм щелочного и щелочно-ультраосновного типа с образованием нефелиновых сиенитов,

шонкинитов, ийолитов и других пород. На западе шт. Минас-Жерайс известны выходы пикритовых порфиритов, карбонатитов, а в последние годы здесь были обнаружены кимберлиты [14].

Трубчатые тела кимберлитов найдены в пределах южного и восточного обрамлений синеклизы Сан-Франсиску-Паранаиба. В западной части шт. Минас-Жерайс они прорывают позднедокембрийские отложения серии Бамбуи, которые на отдельных участках перекрыты песчаниками формации Уберабе верхнего мела с алмазоносными конгломератами в основании. В юго-западной части шт. Пиауи (район Санта-Филомена) кимберлиты секут породы позднепалеозойского возраста (С-Р), следовательно, их внедрение, вероятно, произошло в допозднемеловое время [29].

Таким образом, на территории Южно-Американской платформы, так же как и на Африкано-Аравийской, были, по крайней мере, три эпохи проявления первично-алмазоносных пород. О существовании раннепротерозойской эпохи свидетельствуют находки алмазов в золотоурановых конгломератах серии Минас (1900–1300 млн. лет). Позднепротерозойская эпоха представлена алмазоносными "филлитами", прорывающими серию Итаколуми. Самая молодая — меловая эпоха кимберлитового вулканизма, по-видимому, одновозрастная с мезозойской эпохой образования кимберлитов Западной и Южной Африки.

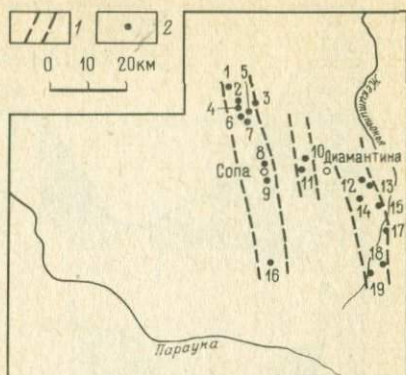
Дайки алмазоносных "филлитов" района Диамантина

В Бразилии (восточная часть шт. Минас-Жерайс) на площади Диамантина известны сильно измененные серицитизированные и рассланцованные алмазоносные породы, которые по внешнему сходству с филлитами получили то же название. Площадь Диамантина приурочена к западной окраине Восточно-Бразильского щита, занимает склоны хребта Сьерра-Эспиньясо и вытянута в северном направлении более чем на 150 км при ширине 20–50 км. В пределах этой площади "филлиты" образуют дайки, жилы, реже трубчато-сплюснутые тела, от которых отходят многочисленные апофизы во вмещающие породы. Они характеризуются линейно-групповым распространением и образуют несколько систем, направление которых подчиняется общему субмеридиональному простиранию складчатости этого региона. Все месторождения этой площади принято делить на три крупные группы, или поля: северную, центральную и южную, отличающиеся главным образом особенностями алмазов (рис. 13).

В пределах отдельных полей падение большинства даек восточное под углом 40–80°, иногда оно меняется на северо-восточное или северо-западное. Дайки "филлитов" участвуют в складчатости вмещающих пород, рассланцованы параллельно зальбандам и нередко смещены по сбросам. Мощность их колеблется от 7 до 20 м, а в раздувах до 40 м, протяженность от несколько сотен метров до первых километров (рудник Сьерра-Нова). На глубину дайки прослежены бурением до 100 м, при этом существенных изменений в их составе и форме не обнаружено. Эти породы эксплуатировались на алмазы в 20–30-х годах нашего столетия. Описание их проводится по данным Д. Гимараенса, Л. Мораеса и Б. Фрейберга.

Рис. 13. Схема распространения алмазных месторождений на площади Диамантина:

1 — жилы алмазоносных "филлитов";
 2 — алмазные месторождения: 1 — Коррего-Нова, 2 — Кампо-ду-Сампайо, 3 — Марриньос, 4 — Паган, 5 — Сан-Жоан-ду-Шапада, 6 — Коррейас, 7 — Лукинда, 8 — Сопа, 9 — Гухида, 10 — Перпетуа, 11 — Брумандиньо, 12 — Бом-Суксесо, 13 — Боа-Биста, 14 — Серринья, 15 — Ковалло-Морте, 16 — Даттас, 17 — Санто-Антониу, 18 — Кампо-Алегре, 19 — Лажис



Алмазоносные "филлиты" внешне представляют собой сланцеватые, жирные на ощупь породы белого, пепельного, розового, иногда красного цвета. Породы в основном массивные, но нередко имеют вид типичных брекчий, содержащих большое количество (до 50 %) обломков вмещающих пород серии Итаколуми, поверхность которых несет следы травления и перекристаллизации. Дайки часто пересечены кварцевыми жилами, которые располагаются перпендикулярно зальбандам или параллельно им, а также секут обломки включенных в них пород (рис. 14).

Массивные филлиты даек имеют существенно серицитовый состав, иногда с небольшой примесью хлорита. Под микроскопом в серицитовой массе видны следы флюидальной текстуры и реликты вкрапленников, нацело замещенных серицитом. Они оконтурены по периферии гематитовой каймой и являются, по-видимому, псевдоморфозами по фенокристаллам. В основной массе содержатся выделения мартигизированного магнетита и значительное количество кубических и октаэдрических агрегатов рутила и анатаза, описываемых как псевдоморфозы по перовскиту, а также агрегаты рутила и магнетита или гематита, возникновение которых связывают с замещением первичного ильменита.

В серицитовой массе бывают рассеяны иголки и ограненные кристаллы турмалина, отмечаются марганцевые, гематитовые и фосфоритовые стяжения. Местные старатели называют их "рыбий глаз" и считают поисковым признаком на алмазы. В концентрате на 30 м³ "филлита" рудника Перпетуа (центральное поле Диамантины) определен следующий состав аксессуарных минералов (% к массе тяжелой фракции): кварц — 30,9; турмалин — 1,1; гематит — 62,7; магнетит — 1,0; моноцит, циркон, ксенолит — 4,3.

Вмещающие кварциты и песчаники свиты Итаколуми на контактах с алмазоносными филлитами несут признаки интенсивного выщелачивания. Сами филлиты в верхних горизонтах (до глубины 15–20 м) каолинизированы.

Химический состав описываемых пород приведен в табл. 9. Особенности их состава заключаются в повышенном по сравнению с кимберлитами содержании SiO₂ (до 48 %), высоком — Al₂O₃ (15–38 %), низком —

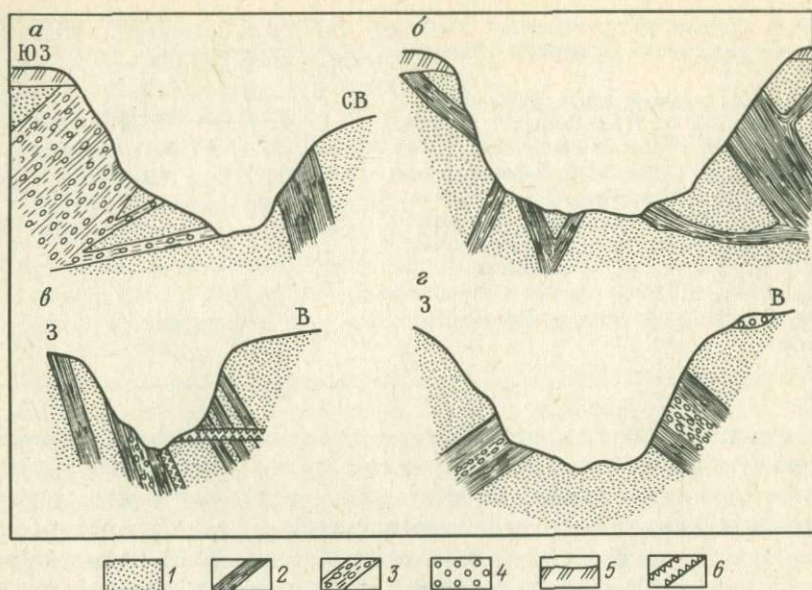


Рис. 14. Разрезы месторождений северной группы площади Дьямантина:
а – Лавра-ду-Дурро, *б* – Лавра-ду-Барро, *в* – Лавра-ду-Паган, *г* – Кампо-ду-Сампайо;
 1 – кварциты Итаколом; 2 – серицитизированные "филлиты"; 3 – брекчии; 4 – конгломераты Соны; 5 – почва и четвертичные пески; 6 – кварцевые жилы с друзовой структурой

MgO (0–4,8 %). Лишь в единичных анализах отмечается Cr_2O_3 (0,03 %). Эти породы подверглись столь глубоким изменениям в результате регионального метаморфизма, воздействия гидротермальных растворов и интенсивного выветривания, что особенности их химического состава уже не могут быть использованы для выяснения первичной природы [5].

Относительно происхождения алмазоносных филлитов существовал ряд гипотез. Д. Гимараенс считал, что турмалин, рутил, ксенотим, циркон являются аксессуарами кислого ряда изверженных пород и рассматривал филлиты как измененные гранулиты. Некоторые ученые, исходя из химического состава, считали их производными магмы основного состава. В последние годы ряд исследователей [18, 5, 14] рассматривают алмазоносные филлиты Бразилии как сильно измененные кимберлиты. Их морфология и особенности пространственного размещения напоминают кимберлиты Леоно-Либерийского массива Западной Африки, который так же, как и Бразильский щит, сильно эродирован. Кимберлитовые тела представлены в основном дайками и жилами и образуют серии, вытянутые в направлении зон трещиноватости на значительные расстояния. На территории Кот-д'Ивуара, где развиты кимберлитовые дайки позднепротерозойского возраста (1100–1400 млн. лет), они сильно изменены процессами метаморфизма и химического выветривания. На верхних горизонтах силикатные минералы замещены монтмориллонитом

Таблица 9

Химический состав (%) алмазоносных "филлитов" Бразилии.

По Л. Морaesу

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 15,22 | 48,06 | 44,34 | 44,05 | 34,40 | 45,39 |
| TiO ₂ | 1,20 | 0,75 | 0,40 | 0,05 | 1,25 | 1,51 |
| Al ₂ O ₃ | 15,60 | 29,43 | 38,22 | 39,18 | 30,45 | 27,60 |
| Fe ₂ O ₃ | 46,68 | 2,42 | 0,57 | 1,69 | 3,75 | 4,84 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,03 | — | — | — | — | — |
| FeO | — | 0,09 | 0,85 | 0,17 | 6,61 | 0,80 |
| MnO | 12,44 | — | — | Сл. | 0,20 | 0,17 |
| BaO | — | — | — | — | 0,12 | 0,36 |
| MgO | — | 3,02 | Сл. | 0,13 | 4,82 | 3,03 |
| CaO | 0,90 | 0,31 | 0,21 | 0,61 | 2,21 | 0,45 |
| Na ₂ O | 0,50 | 1,10 | 0,46 | 0,17 | 0,84 | 3,22 |
| P ₂ O ₅ | 0,01 | 0,022 | 0,08 | 0,03 | 0,51 | 0,21 |
| B ₂ O ₅ | 0,13 | — | — | — | — | — |
| Fe ₂ O ₃ | Сл. | — | — | — | 0,66 | — |
| Cl | 0,38 | — | — | 0,08 | 0,16 | — |
| H ₂ O ⁻ | 1,86 | 0,07 | 1,04 | 0,37 | 0,29 | 0,18 |
| H ₂ O ⁺ | 1,32 | 4,57 | 14,00 | 11,22 | 6,95 | 5,75 |
| CO ₂ | 3,73 | — | — | — | 0,34 | — |
| Σ | 100 | 89,84 | 100,17 | 97,75 | 93,56 | 93,51 |

Примечание. 1 — пепельный филлит с гематитовыми желваками из Перпетуа; 2 — белый филлит из Пагана; 3 — каолинизированный филлит из Агуа-Парада; 4 — хлоритизированный филлит из Дамасио; 5 — хлоритизированный филлит с большим количеством включений из Дамасио; 6 — среднее из четырех анализов филлита из Сан-Жуан-ду-Шапада.

и каолинитом, а рудные — гидрогематитом и лимонитом, минералы кимберлитов присутствуют в незначительных количествах. Алмазы, встречающиеся в кимберлитовых дайках Леоно-Либерийского массива, обычно имеют форму додекаэдров. Такой же габитус характерен для алмазов из филлитов Бразилии. Некоторым косвенным подтверждением кимберлитовой природы алмазов Бразилии могут служить результаты изучения минералов включений в последних. По данным Ц. Лейте, в них наиболее распространенным оказался оливин, затем хромшпинелид и более редкий гранат. По своим физическим константам они аналогичны минералам из африканских и сибирских кимберлитов [5]. Алмазы установлены в подавляющем числе даек филлитов.

Таким образом, в пределах Южно-Американской платформы установлены дайки сильно измененных пород позднепротерозойского возраста, которые содержат алмазы иногда в промышленных концентрациях и служат одним из основных источников россыпей более молодого возраста (от позднедокембрийских до современных). Их геологическое строение и состав изучены недостаточно. По целому комплексу признаков — линейно-групповому расположению, сходству морфологии — и особенностей вторичных изменений алмазов при сравнении их с таковыми из кимберлитовых даек протерозойского возраста Леоно-Либерий-

ского массива Западной Африки, а также составу включений в алмазах, можно предполагать кимберлитовую природу этих пород.

ИНДОСТАНСКАЯ ПЛАТФОРМА

На территории Индостанской платформы известны две площади развития кимберлитовых тел: северная (Панна) и южная (Анантапур), расположенные соответственно в северной и южной частях Индийского щита. Возраст их относится к позднему протерозою. На северной площади к настоящему времени установлено 8 кимберлитовых трубок, из которых наиболее изучена и разрабатывается трубка Маджгаван возраста 1170 ± 16 млн. лет [14].

В пределах южной площади помимо четырех кимберлитовых трубок А.Г. Эмфорд и В. Комсток упоминают о существовании кимберлитовых даек также позднепротерозойского возраста. Эта площадь приурочена к одному из древнейших блоков Индостанской платформы — Дарварскому кратону [15]. Здесь развиты вулканогенно-осадочные толщи дарварской системы (амфиболиты, слюдястые сланцы, железистые кварциты) и гранитогнейсы основания, абсолютный возраст которых 3250 ± 150 млн. лет. Накопление пород дарварского комплекса завершилось складчатостью, метаморфизмом и гранитизацией, что привело к стабилизации Южно-Индийского блока платформы (Дарварского кратона) к концу архея — началу протерозоя.

На денудированной поверхности пород дарварской системы, в основании осадочного чехла платформы залегают карбонатно-терригенные осадки куддапахской серии, выполняющие одноименный внутриплатформенный прогиб. В нижних частях разреза этой серии находятся лавы и силлы пород основного состава, радиометрический возраст которых 1450 ± 50 млн. лет. Кроме того, они прорваны дайками кимберлитов (1370 ± 50 млн. лет) и долеритов (986 ± 10 млн. лет). Это позволяет датировать осадки куддапахской серии поздним протерозоем (рифеем). Их несогласно перекрывают карбонатно-терригенные породы серии Карнун с алмазоносными конгломератами в основании [5].

На площади А н а н т а п у р (шт. Андхра-Прадеш) известны 4 кимберлитовые трубки, расположенные западнее Куддапахской впадины среди гранитогнейсов дарварской системы. Одна из них (близ сел. Вайра-Карур) представлена четырьмя раздувами овальной формы размерами от 60 до 180 м, вытянутыми в востоко-северо-восточном направлении на 1100 м. На глубине они, по-видимому, соединяются кимберлитовой дайкой. Раздувы сложены плотным кимберлитом темно-серого и голубовато-черного цвета, массивной текстуры, пронизаны множеством прожилков кальцита. Кимберлит содержит серпентинизированный оливин, флогопит, энстатит, амфибол, хлорит, пренит, апатит, ильменит. Химический состав этих кимберлитов следующий:

| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|
| Содержание, % | 37,32 | 1,68 | 6,35 | 4,97 | 3,20 | 0,18 | 14,14 |

| Компоненты | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | CO ₂ | H ₂ O | Σ |
|---------------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|----|
| Содержание, % | 20,7 | 0,11 | 0,17 | 1,05 | 2,89 | 6,24 | 99 |

В делювии кимберлитов обнаружено 14 алмазов, средняя масса которых составляет 1,03 кар. Среди них преобладают октаэдриды.

Возраст кимберлитовых тел описываемой площади, установленный К-Аг методом, близок кимберлитам северной площади и датируется $840 \pm 33 - 1023 \pm 40$ млн. лет. Кимберлитовые дайки встречены у западной окраины Куддапахской впадины, где они, как уже отмечалось, секут нижние горизонты отложений куддапахской серии. Их возраст определен К-Аг методом 1370 ± 50 млн. лет. Особенности строения и состава этих даек в литературе не описаны.

Таким образом, основная эпоха кимберлитового вулканизма Индостанской платформы относится к позднему протерозою и коррелируется с соответствующими эпохами кимберлитового вулканизма Западной Африки (Кот-д'Ивуар). Кимберлитовые дайки тяготеют к наиболее древнему блоку докембрийской платформы.

СЕВЕРО-КИТАЙСКАЯ ПЛАТФОРМА

В пределах Северо-Китайской платформы, характеризующейся сложным строением, кимберлиты зафиксированы в четырех субпровинциях: А, В, С и Д [24, 32]. В каждой из этих субпровинций установлены кимберлитовые трубки и дайки, часть которых содержит алмазы. Наибольший интерес представляют кимберлиты условно выделенных субпровинций А и В, находящихся в пределах провинций Шаньдун и Ляонин. Именно здесь в отличие от неалмазоносных кимберлитовых субпровинций С и Д установлены алмазы. Кимберлитовый магматизм контролируется глубинным трансрегиональным разломом Танлу субмеридионального прогибания.

Кимберлиты в провинции Ляонин были открыты в начале 70-х годов. К настоящему времени здесь обнаружено более 100 кимберлитовых тел, четвертая часть которых представлена трубками, а остальные дайками и жилами. Они сосредоточены в пределах южного окончания Ляодунской антеклизы Северо-Китайской платформы. Район сложен досинийскими гнейсами и кристаллическими сланцами, на которых залегают осадочные породы синия, кембрия, ордовика, карбона и юры. Породы синия являются основными, которые вмещают кимберлитовые тела. Их мощность около 15 000 м, они представлены кварцевыми песчаниками, глинистыми сланцами, мергелями. Терригенно-карбонатные породы кембрия и ордовика, мощность которых около 2200 м, также вмещают кимберлитовые тела. Несогласно на породах ордовика мощностью 100 м залегают песчаники, сланцы и известняки карбонового возраста. Образования юрского возраста приурочены к мезозойской впадине и представлены континентальной угленосной толщей, общая мощность которой 6700 м. В гравелитовых песчаниках нижней и средней юры обнаружены россыпи алмазов.

По характеру расположения кимберлитовых тел Б.С. Панов выделяет 5 зон субширотного простирания, каждая из которых включает как дайки, так и трубки кимберлитов. Все эти зоны параллельны друг другу. Кимберлитовые трубки приурочены к узлам пересечения трансрегионального разлома. Форма трубок в плане сложная: от овальной до вытянутой, диаметр от 10 до 100 м и более. До глубины 300 м и более они встречаются в виде трубообразной, неправильной воронкообразной и чечевицеобразной формы. Если направление трубок по длинной оси контролируется разломами северо-востоко-восточного простирания, то такие трубки имеют большие размеры и простую форму. Некоторые трубки протягиваются на небольшую глубину, быстро сужаются и переходят в дайки. Последние на глубине часто образуют раздувы [24, 32].

Дайки кимберлитов приурочены к зонам разломов северо-восточного простирания и встречаются сериями и роями. Падение даек и жил изменяется от юго-восточного до северо-западного, величина угла падения также непостоянна. Некоторые из них контролируются поверхностями напластования пород, другие соединяются на глубине со скрытыми трубками и имеют сложную форму. На зальбандах даек и жил отмечаются сланцеватость сжатия, косонаправленные следы трения и чечевицеобразные включения вмещающих пород.

Особенности химического состава кимберлитов (табл. 10) свидетельствуют о существенных колебаниях содержаний MgO и CaO , причем порфиновые разности более богаты MgO и SiO_2 и бедны CaO по сравнению с мелкозернистыми. Указанные особенности могут быть объяснены различием в степени карбонатизации, которая более интенсивно проявляется для мелкозернистых разностей [24, 32]. Кимберлит даек обычно представлен порфириновыми разностями, однако приконтактные части некоторых даек сложены мелкозернистым кимберлитом. Главный минерал — оливин, присутствуют редкие вкрапленники флогопита и пироба, в подчиненном количестве зафиксированы хромит и диопсид.

Среди кимберлитов Ляонина различают порфиновые кимберлиты, порфиновые с шарами, кимберлитовые туфы и брекчии. Порфиновые кимберлиты имеют темно-зеленую, сине-зеленую, темно-серую до черного окраску и массивную текстуру. Структура породы порфировая, основная масса тонкозернистая до афанитовой. Вкрапленники, количество которых составляет от 10 до 40 %, представлены оливином, флогопитом, изредка пиропом, хромдиопсидом, хромитом, алмазом и другими минералами. Они имеют округлую или эллипсоидальную форму. Размеры вкрапленников от 3 до 10 мм, в основной массе они распределены равномерно. На их поверхности заметны следы резорбции. Основная масса состоит из микролитов оливина, флогопита, магнетита, хромита, перовскита, апатита и карбоната. Размеры их зерен менее 0,2 мм.

Главным породообразующим минералом порфировых кимберлитов является оливин, его содержание составляет от 10 до 40 % от общего объема породы. Он практически всегда полностью изменен процессами серпентинизации, карбонатизации, хлоритизации и др. По данным Б.С. Панова, флогопит — второй по распространению минерал кимберлитов.

Таблица 10

Особенности химического состава (%) порфириновых (1,2) и мелкозернистых кимберлитов (3,4) северной части КНР [24]

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------|--------|--------|-------|--------|
| SiO ₂ | 34,6 | 32,07 | 26,16 | 29,48 |
| TiO ₂ | 1,16 | 0,83 | 1,41 | 2,48 |
| Cr ₂ O ₃ | — | 0,22 | 0,23 | 0,48 |
| Al ₂ O ₃ | 2,02 | 0,94 | 1,22 | 2,63 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,59 | 5,45 | 3,95 | 9,87 |
| FeO | 2,73 | 3,22 | 3,11 | 1,9 |
| MnO | 0,16 | 0,16 | 0,1 | 0,19 |
| NiO | — | 0,2 | 0,15 | 0,13 |
| MgO | 30,4 | 38,45 | 24,54 | 30,72 |
| CaO | 6,25 | 5,67 | 16,8 | 6,8 |
| Na ₂ O | 0,3 | 0,05 | 0,17 | 0,05 |
| K ₂ O | 0,5 | 0,22 | 0,2 | 0,2 |
| P ₂ O ₅ | 0,48 | 0,37 | 0,56 | 0,94 |
| H ₂ O ⁺ | — | 8,7 | 8,04 | 11,02 |
| П.п.п. | 15,2 | 3,09 | 2,86 | 12,64 |
| H ₂ O ⁻ | — | 0,69 | 0,82 | 0,52 |
| Σ | 100,39 | 100,33 | 90,32 | 110,05 |

Его содержание колеблется в пределах 2–30 %, достигая иногда 70–80 %. Флогопит желто-коричневого и коричнево-бурого цвета, после изменения становится темно-зеленым или серо-белым.

В порфириновых кимберлитах нередко встречаются кимберлитовые шары овальной или сплюснуто-округлой формы. Диаметр шара обычно составляет 0,5–3 мм, иногда более 10 см. Шары состоят из ядра, представленного округлыми агрегатами псевдооливина или обломками ранних кимберлитов и вмещающих пород. Вокруг ядра располагается корка шара, состоящая из тонкозернистого и микропорфиривого кимберлита с большим количеством флогопита и рудных минералов. Внешние каймы шаров имеют постепенные переходы в окружающие кимберлиты. Количество шаров в кимберлите составляет несколько процентов, доходя иногда до 10 % и более. Помимо шаров в кимберлитовых порфиритах встречаются ксенолиты осадочных пород фундамента, а также вмещающих пород, ультрабазиты и базиты глубинного происхождения и ранние кимберлиты. Эти обломки имеют округлую и субокруглую форму, а их размер составляет от 5 до 20 см. Количество обломков в кимберлитах от 15 до 90 %.

Кимберлитовые брекчии распространены главным образом в средних и нижних частях трубок и обладают типичной эксплозивно-брекчиевидной текстурой. Среди обломков встречены известняки, мергели, алевролиты, сланцы, песчаники, гнейсы, ранние порфириновые кимберлиты, гранулиты, эклогиты, перидотиты. Изредка встречаются желваки пироба и оливина с алмазами. Количество обломков в кимберлитовых брекчиях обычно превышает 50 % всего объема породы. Цемент брекчий представ-

лен карбонатным веществом, серпентином и тонкодисперсными рудными минералами.

Из минералов-спутников алмаза обнаружены пироп, хромит и хромдиопсид. Пироп представлен ромбододекаэдром, поверхность которого сильно резорбирована. Содержание пироба колеблется от долей до 161,74 г/т. Он имеет округлую, чечевицеобразную или неправильную форму, размер его зерен от 2 до 13 мм. Пироп состоит из ядра и келифитовой каемки, которая имеет 2—3 концентрических слоя. Снаружи вовнутрь черное непрозрачное железистое вещество каемки постепенно переходит в полупрозрачный волокнистый амфибол. Под каемкой находится свежее ядро пироба. Окраска его различная: сине-зеленая, фиолетово-красная, мандариново-желтая и наиболее характерная для данного района розовая с оттенками. Хромит постоянно присутствует в кимберлитах, и его в 10—200 раз больше, чем пироба. Он встречается как в виде вкрапленников, так и в основной массе. Его зерна округлой формы имеют размер 0,5—0,7 мм в диаметре. В основной массе размер зерен хромита в среднем составляет 0,1 мм. По химическому составу это магнезиальный высокожелезистый хромит. Он служит важным минералогическим критерием при прогнозировании и поисках кимберлитов.

Хромдиопсид встречается реже перечисленных минералов-спутников алмазов. Он наблюдается в виде округлых или неправильных зерен светло-зеленого цвета.

Муассанит присутствует в кимберлитах в виде единичных зерен неправильной угловатой формы размером 0,05—1,68 мм. Цвет сине-зеленый.

Помимо описанных минералов в кимберлитах присутствуют ильменит, апатит, сфен, перовскит.

В провинции Шаньдун известно в настоящее время более 100 кимберлитовых тел. Они распространены в пределах вытянутого с северо-востока на юго-запад пояса длиной 55 и шириной 10 км. Этот пояс, по данным Б.С. Панова, делится на три рудные зоны, самая богатая из которых находится вблизи уездного центра Муни. Породы фундамента, сложенные архейскими гнейсами, гранулитами и амфиболитами, перекрыты отложениями кембрия, ордовика, юрскими, меловыми, третичными и четвертичными осадочными образованиями. Породы фундамента сильно дислоцированы и разбиты дизъюнктивными нарушениями. Главную контролирующую роль в распределении кимберлитовых тел играет неокатазиатская система разломов северо-северо-восточного направления. В региональном плане район расположения кимберлитов приурочен к глубинному разлому Танлу. Кимберлитовые тела провинции Шаньдун по своей форме делятся на трубки и жилы. Они внедрены в архейские метаморфические породы, а также прорывают осадочные образования кембрия и ордовика. Кимберлитовые дайки нередко секут трубки. Форма кимберлитовых трубок от округлой, овальной до удлинённой и неправильной. Размеры трубок от 15 до 260 м в поперечнике.

Кимберлитовые дайки и жилы известны во всех перечисленных районах. Они прослеживаются на расстояние от 50 м до 1 км и более,

но, как правило, имеют мощность менее одного метра. Кимберлит даек представлен порфириновыми разностями, однако приконтактовые части некоторых даек сложены мелкозернистыми кимберлитами. Главным минералом является оливин, присутствуют редкие вкрапленники флогопита и пирропа, в подчиненном количестве зафиксированы хромит и диопсид. Общее количество фенокристаллов колеблется от 10 до 20 %, в редких случаях достигая 60 %.

Мелкозернистый кимберлит даек по минералогическому составу аналогичен порфириновым разностям, однако содержит очень мало микрофенокристаллов.

Как и в других регионах земного шара, кимберлитовые дайки всех выделенных субпровинций КНР содержат по сравнению с трубками меньше глублинных ксенолитов.

Кимберлитовые жилы, по данным Б.С. Панова, ориентированы в северо-восточном направлении по азимуту 20–40°, падают они круто на северо-восток или северо-запад под углом 75–85°. Жилы с такими углами наклона нередко в местах выклинивания имеют падение в противоположную сторону. Встречаются жилы с более пологим падением (50–60°). Установлена зависимость между протяженностью жил на глубину и их углом падения. Более пологопадающие жилы протягиваются на меньшую глубину. Угол падения одной и той же жилы может меняться. Если жила крутопадающая в своей средней части, то она протягивается на большую по сравнению с другими жилами глубину, образуя при этом S-образные тела с обогащенными рудными раздувами.

Жилы имеют длину от десятков до сотен метров. Их мощность колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров. В плане они нередко располагаются кулисообразно. Встречаются как отдельно расположенные жилы, так и группы жил; они часто образуют вытянутые рудные зоны.

Жилы, как правило, имеют интрузивный контакт с вмещающими породами; реже наблюдается осложненный тектонический контакт.

По своему вещественному составу и структурно-текстурным особенностям в кимберлитовых жилах выделяются три главных петрографических типа кимберлитов: тонкозернистые, порфириновые и кластические.

Алмазы кимберлитовых даек и жил имеют многообразную форму роста и полигенерацию кристаллов. Среди них преобладает ромбододекаэдр с искаженной поверхностью, ступенчатый октаэдр и полисинтетические кристаллы. Плоский октаэдр, куб и другие формы имеют подчиненное значение. Кристаллы в основном бесцветные или желтоватые. Алмазы коричнево-желтого, желтовато-зеленого, сероватого цветов встречаются реже. Изредка встречаются тено-серые и черные алмазы. Большинство алмазов имеет голубую люминесценцию. В алмазах обнаружены включения графита, оливина, хромшпинели, пирропа и других минералов.

Размеры кристаллов алмазов самые разнообразные. Однако нет данных, касающихся размеров алмазов в кимберлитовых дайках и жилах. Приведем данные по кимберлитам северной части КНР. Около 20 %

кристаллов представлены зернами размером 0,5—0,2 мм. Однако есть и находки алмазов массой 158,7, 124,2, 119 кар. Содержание алмазов в кимберлитах различно — от миллиграммов до 1 кар/т.

КИМБЕРЛИТОВЫЕ И ЛАМПРОИТОВЫЕ ДАЙКИ ЗАПАДНОЙ АВСТРАЛИИ

Начиная с середины 70-х годов в пределах кратона Кимберли (Западная Австралия) обнаружены четыре региона, содержащие кимберлиты и связанные с ними лампроиты. Они изолированы друг от друга и расположены в периферических частях указанного кратона.

В районе Северного Кимберли известно пять кимберлитовых тел, прорывающих протерозойские осадки. Наиболее южная трубка Петропус расположена изолированно. Остальные четыре тела сгруппированы в низовьях р. Кинг-Георг и представлены трубкой Скерринг и тремя дайками — Джампап, Вишавиши, Хадфилдс. Все дайки прослеживаются в северо-восточном направлении на несколько десятков метров. Трубки и дайки Северного Кимберли сложены кимберлитовыми породами, близкими к типичным кимберлитам. В трубках обнаружены алмазы. Дайки не опробовались, но судя по тому, что в русле р. Кинг-Георг есть алмазы, можно предполагать и их алмазоносность.

Восточный район Кимберли располагается в зоне сочленения подвижного пояса Холлс-Крик, протягивающегося в северо-северо-восточном направлении с восточным флангом кратона Кимберли. К настоящему времени, по данным Ф.В. Каминского, здесь открыто более 10 тел, среди них известное коренное месторождение алмазов трубка АК-1. Все тела группируются в две группы — западную и восточную. Тела западной группы находятся в пределах зоны разрывных нарушений и прорывают осадки группы Карпентариан. Восточная группа тел, в том числе и трубка АК-1, приурочена к мобильной зоне Холлс-Крик, где прорывает раннепротерозойские граниты комплекса Ламбу. Большинство тел этой зоны представлено дайками, протяженность которых от нескольких десятков метров до 25 км (дайки Боухилл).

Трубка АК-1 занимает площадь 0,45 км², прорывает осадки протерозоя. Она состоит из двух частей — малоалмазоносной северной и богатой алмазами южной. Большая часть трубки сложена песчаным туфом, около 40 % которого составляют обломки округлого кварца и лампроита. Центр северной части сложен туфом без кварца. Наиболее поздние — маломощные внутритрубочные жилы.

Промышленно алмазоносными породами в трубке являются песчаные туфы южной части с содержаниями алмазов 6,1—6,8 кар/т.

Кимберлиты в районе трубки АК-1 в отличие от лампроитов неалмазоносны. Лишь в дайке Мауди-Крик найдено шесть кристаллов алмаза.

Западный Кимберли известен как район развития лампроитов. К

настоящему времени здесь выявлено более 100 тел, среди которых трубки, штоки, силлы и реже дайки. Породы прорывают пермские песчаники и девонские известняки. Среди пород, слагающих трубки, выделяются лейцитовые и оливиновые лампроиты, наиболее алмазоносны — оливиновые. Породы в трубках сильно изменены. В них много оливина, а основная масса сложена карбонатом и магнетитом. Акцессорные минералы представлены пиропом, хромдиопсидом, пикроильменитом, цирконом.

В районе Вандаги известны 22 тела, представленные трубками и силлами, которые прорывают пермские сланцы и алевролиты групп Вура-мел и Биро и перекрываются толщей меловых осадков. Они сложены породами, по составу близкими к мончикитам. Дайковых тел в этом регионе пока не обнаружено.

В Австралии алмазоносными являются как кимберлиты, так и лампроиты. По своему составу австралийские кимберлиты аналогичны кимберлитам всех алмазоносных провинций мира, поэтому здесь не рассматриваются. Остановимся более подробно на алмазоносных лампроитах, так как они впервые обнаружены в Австралии. Описание лампроитов приводится по данным Ф.В. Каминского, которым проведено обобщение этих материалов.

Впервые термин "лампроит" был предложен П. Ниггли для вулканических пород, богатых калием и магнием. В.Е. Трегер в 1935 г. использовал этот термин для эффузивных аналогов лампроитов. В 1940 г. А. Вейд и Р.Т. Прайдер отнесли к лампроитам описанные ими лейцитовые вулканы района Западного Кимберли. С тех пор термин используется при описании как западноавстралийских пород, так и аналогов в других регионах.

Минеральный и химический состав лампроитов сильно изменчив. Среди них выделяются две главные разновидности — лейцитовые и оливиновые. О.А. Богатиков, И.Л. Махоткин, В.А. Кононова показали, что в настоящее время к лампроитам относят породы от ультраосновных до средних, щелочного и субщелочного ряда. Известно уже около двух десятков местных названий лампроитов. Они подчеркивают, что к лампроитам следует относить только калиевые высокомагнезиальные недонасыщенные кремнеземом вулканы, в которых типоморфным минералом являются оливин, диопсид, флогопит, а также лейцит и калиевый рихтерит.

Минеральный состав оливиновых и лейцитовых лампроитов близок. Оливин обычно сильно замещен серпентином, нонтронитом, селадонитом и халцедоном. Большинство зерен оливина не обнаруживает четкой зональности.

Лейцит в лампроитах встречается как в основной массе, так и в виде вкрапленников размером до 1 мм. Свежий лейцит обычно имеет сложную зональность.

Диопсид характерен для основной массы почти всех лампроитов. Кристаллы его в большинстве случаев сдвойникованы и слабо окрашены. Состав диопсида мало изменчив. Он характеризуется высоким содержанием титана. Отмечается также небольшая примесь хрома. В целом диоп-

сид из лампроитов схож по составу с диопсидом из основной массы кимберлитов, но богаче титаном.

Флогопиты в лампроитах встречаются как в виде вкрапленников, так и в основной массе. Состав их изменчив. По сравнению с флогопитами из африканских кимберлитов лампроитовые флогопиты отличаются повышенным содержанием титана, меньшими содержаниями глинозема, железа и натрия.

Шпинелиды варьируют по составу от железоалюминиевых магнезиохромитов, через редкие титаномагнезио-алюминиевые хромиты до титаноалюминиевых хромитов и редких титанохромистых. Шпинелиды характерны для оливиновых и наиболее метаморфических разновидностей лейцитовых лампроитов, где встречаются в виде зерен основной массы.

Гранаты пиропового ряда встречаются в протолочных пробах почти всех лампроитов и кимберлитов Западной Австралии. Во всех районах присутствуют высокохромовые пиропы, при этом они несколько богаче хромом, кальцием, чем обычные представители этой группы из гранатовых перцолитов.

В трубке АК-1, несмотря на ее обогащенность алмазами, гранатов очень мало.

Ильмениты редко встречаются в виде мелких зерен в основной массе породы. В трубке АК-1 ильменит присутствует в основной массе в виде небольших неправильной формы зерен. Он характеризуется невысокими концентрациями магния и хрома при необычно высоком содержании марганца.

Хромдиопсид сходен с хромдиопсидом из обычных кимберлитов.

Алмазы из лампроитовых даек и кимберлитовых аналогичны. Они представлены додекаэдрами, додекаэдроидами, обломками и шпинелевыми двойниками. Октаэдры встречаются очень редко. Большинство алмазов окрашено в желтый и коричневый цвета. В алмазах отмечаются разнообразные включения эклогитового и перидотитового типа парагенезиса. Среди них преобладают оранжевый гранат, клинопироксен, козсит, рутил, оливин, хромистый пироп, хромдиопсид, энстатит, хромшпинель.

Лампроиты и кимберлиты Западной Австралии имеют много общего в своем составе. В то же время между ними есть существенные различия. Лампроиты моложе кимберлитов, строение слагаемых ими трубок отличается от кимберлитовых диатрем. Кимберлитовые диатремы характеризуются глубиной порядка 2 км, ниже они переходят в дайки. Их кратерные части выполнены брекчией. В отличие от них трубки, выполненные лампроитовым материалом, имеют максимальную глубину заложения 300 м и большой диаметр кратерной зоны, при этом значительная часть выходов на поверхность сложена магматическим материалом поздних стадий внедрения, прорывающим кратерную фацию пород. Среди лампроитов имеются стекловатые разности. В составе лампроитов отсутствуют первичные карбонаты, очень редки гранаты и ильменит. Лампроиты и кимберлиты Западной Австралии различаются по химическому составу. Оливиновые лампроиты характеризуются значительно более

высокими содержаниями SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 и особенно K_2O ; меньшими Al_2O_3 , FeO . Существенным отличием лампроитов от кимберлитов является высокое содержание фтора.

Кимберлитовые дайки северной и восточной частей кратона Кимберли характеризуются типичными особенностями, свойственными слюдистым кимберлитам. Их мощность колеблется от нескольких сантиметров до 6 м. В ряде случаев они образуют кулисообразные рои, прослеживающиеся на расстояние до 25 км (дайки Боу-Хилл).

В дайках, сложенных кимберлитом, алмазы установлены только в единичных случаях. Несколько мелких кристаллов обнаружено в кимберлитовой дайке Мауд-Крик, где встречены также пироп, пикроильменит и хромшпинелид.

Очень высокая алмазоносность (до 7 кар на 1 т) установлена для серии маломощных лампроитовых даек, располагающихся в 7 км от промышленного месторождения лампроитовой трубки Аргайл. Содержание измененного оливина в этих дайках, называемых Лиссаделл-Род, достигает 55 %.

Несмотря на значительную изменчивость вещества даек вторичными процессами, в тяжелой фракции зафиксированы минералы, типичные как для кимберлитов, так и для лампроитов: пиропы и хромшпинелиды.

Поскольку только в серии даек Лиссаделл-Род установлена высокая алмазоносность, алмазы сопоставлены с таковыми месторождения Аргайл. Наблюдается их большое сходство, что служит дополнительным основанием считать эти дайки тесно связанными с трубкой Аргайл. Детальное изучение алмазов и включенных в них минералов из лампроитов Западной Австралии позволило сделать вывод об их сходстве с алмазами из кимберлитов главнейших алмазоносных провинций земного шара.

Имеющиеся пока предварительные данные по изучению недавно обнаруженных кимберлитов и лампроитов Западной Австралии позволяют сделать вывод о широком возрастном диапазоне кимберлитового и лампроитового магматизма в пределах кратона Кимберли. Радиологическая датировка лампроитовых трубок Эллендейл дает вероятный возраст 17–25 млн. лет. Возраст же месторождения алмазов Аргайл, а следовательно, и связанных с ним даек Лиссаделл-Род превышает 1 млрд. лет.

СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА

Самостоятельные дайки

Самостоятельные кимберлитовые дайки — характерная форма проявления кимберлитового магматизма практически всех регионов развития этих пород (рис. 15). В Якутской алмазоносной провинции отмечается определенная закономерность в масштабах проявления самостоятельных даек кимберлитов: их количество постепенно возрастает с юга на север — от Мало-Ботубинского района до наиболее северного Нижне-Оленекского. В этом же направлении закономерно изменяются геологические и



Рис. 15. Положение районов кимберлитового вулканизма на Сибирской платформе:

1 — граница Сибирской платформы; 2 — районы кимберлитового вулканизма: I — Мало-Ботуобинский, II Дадлыно-Алакитский, III — Верхне-Мунский, IV — Средне-Оленекский, V — Нижне-Оленекский, VI — Приленский, VII — Куонамский, VIII — Алданский, IX — Маймеча-Котуйский, X — Ингилинский, XI — Чадобецкий, XII — Присяянский

вещественные особенности этих пород. Рассмотрим кимберлитовые дайки Якутской алмазоносной провинции и Присяянья, соблюдая принцип географического положения алмазоносных районов с юга на север провинции.

В связи с тем, что ряд исследователей не проводят четкой разграниченности между кимберлитовыми дайками и жилами, в описании принимаются названия тел (дайка или жила), принятые авторами работ, выявивших эти тела.

Присяянский район

Две кимберлитовые дайки были обнаружены в 1960 г. на левом склоне р. Ингаши (левый приток р. Оки). Вмещающими породами являются метаморфизованные осадки окинской свиты. Геологическое строение даек изучено слабо, размеры и морфология тел не установлены.

По данным М.М. Одинцова, породы, слагающие дайковые тела, на поверхности сильно разрушены и представлены глинистыми образованиями, содержащими выделения слюды, граната—пироба, хромита, редко ильменита.

Слюда подвержена хлоритизации, она окрашена в грязно-бурый цвет. Гранаты представлены угловатыми обломками размером от 0,08 до 1,5 мм. Выделяются три цветовые разновидности этого минерала: светло-оранжевая, густо-оранжевая и фиолетово-красная. Показатель преломления гранатов колеблется от 1,745 до 1,760. Высоким показателем преломления характеризуются гранаты густо-оранжевого и темно-фиолетово-красного цвета. Первые имеют повышенное содержание железа, вторые — хрома. Изучение сохранившихся от разрушения образцов показало, что порода обладает псевдопорфировой структурой, массивной в центральной части жил и брекчиевидной на контакте с вмещающими образованиями.

Вкрапленники породы представлены серпентинизированными и

карбонатизированными зернами оливина, размеры которых достигают 4 мм в поперечнике. Форма псевдоморфоз овальная, реже со следами огранки. Флогопит совместно с серпентинизированными зернами оливи-на второй генерации образует основную массу породы, очень редко пред-ставлен в виде вкрапленников. Минералогический состав кимберлита следующий (%): псевдоморфозы по оливину первой генерации — 15,3, второй генерации — 18,7, слюда — 41, карбонат — 5,1, рудные минералы (в том числе гидроксиды железа) — 10,5, гранаты — 10,4. По-видимому, значительный объем гранатов составляет алмадин.

В 1961 г. в дайках участка Ингаши обнаружены алмазы. Они принадлежат к округлым разновидностям, типичным для большинства дай-ковых тел.

Мало-Ботубинский район

Мало-Ботубинский алмазоносный район характеризуется ограни-ченным количеством кимберлитовых тел. В районе известно несколько кимберлитовых трубок и одна самостоятельная дайка кимберлитов А-21 (рис. 16).

Дайка А-21. Кимберлитовая дайка находится на расстоянии 500 м от осевой линии Западного разлома, в магнитном поле дайка проявляется положительной аномалией интенсивностью 7—9 мА/м. В поле силы тя-жести прослеживается положительная аномалия с амплитудой (0,15—0,25) · 10⁻⁵ м/с², эпицентр которой смещен к юго-востоку в сторону падения дайки. Непосредственно над раздувом дайки отмечается слабо выраженный минимум, обусловленный, по-видимому, дроблением и раз-уплотнением вмещающих пород в рудовмещающей трещине, хотя не исключается связь минимума с наличием раздува, кимберлиты которого превращены в верхней части в сильно выветрелую породу, характеризую-щуюся пониженной плотностью. Гамма-спектроскопическая аномалия проявляется слабо и занимает площадь значительно шире зоны возможно-го влияния кимберлитов.

Вмещающие дайку породы — алевритистые и песчаные известня-ки, содержащие на сопредельных площадях комплекс органических остатков, типичных для чуньского яруса нижнего ордовика.

Кимберлитовое тело полностью перекрыто 5-метровой толщей при-брежно-морских отложений верхнего плинсбаха нижней юры, представлен-ных глинистыми песками и алевритами с маломощными базальными галечниками.

Дайка в плане имеет чечевицеобразную форму, перекрыта юрскими отложениями (рис. 17). Она прослежена горными выработками на рас-стояние первых десятков метров по простиранию. За пределами даечного тела по направлению его простирания вскрыта маломощная зона дробле-ния пород ордовика. В трех метрах от поверхности пород ордовика мощ-ность дайки уменьшается; ниже она несколько увеличивается. Общее про-стирание кимберлитового тела северо-западное, угол падения около 45°, непосредственно под юрскими породами падение пологое. С глубиной угол падения кимберлитовой дайки увеличивается до 80°, а азимут прос-

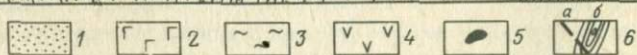
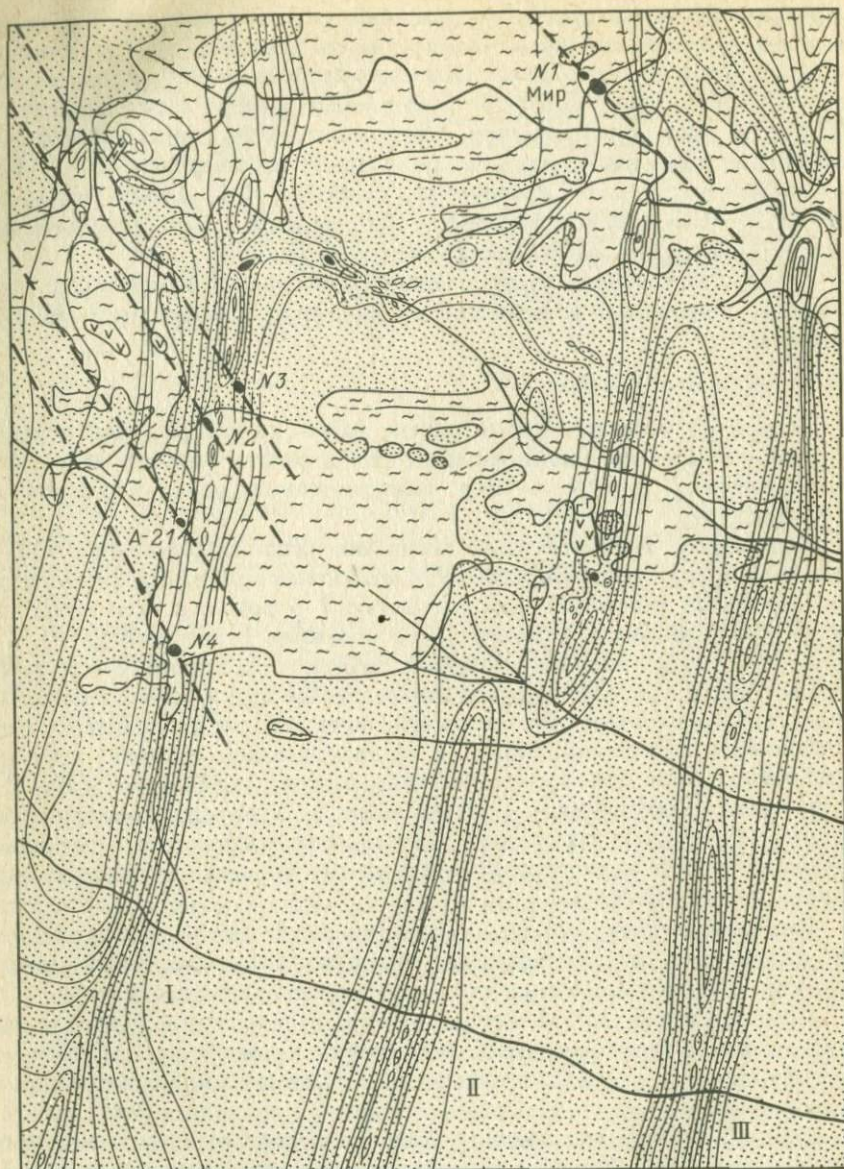


Рис. 16. Геолого-структурная схема центральной части Мало-Ботубинского района. По А.Д. Харькиву и др.:

1 – континентальные отложения нижней юры; 2 – туфогенные породы нижнего триаса; 3 – терригенно-карбонатные образования нижнего палеозоя; 4 – траппы; 5 – трубки кимберлитовых и трапповых пород; 6 а – разломы, б – региональные разломы, проявляющиеся в изолиниях магнитного поля: I – Западный, II – Центральный, III – Восточный

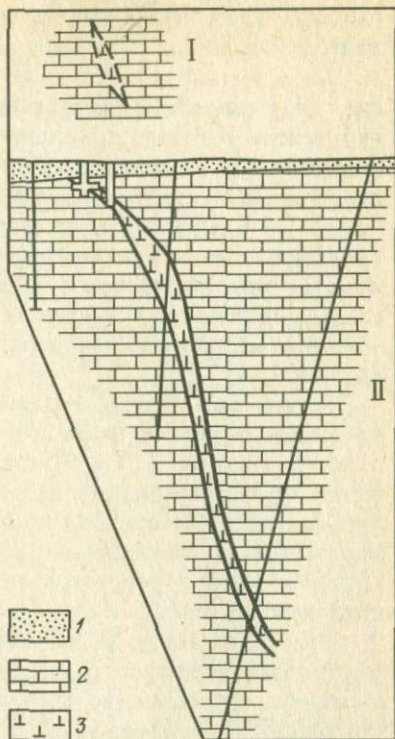
Рис. 17. Геологический план (I) и разрез (II) через кимберлитовую дайку А-21. По А.Д. Харькову и др.:
 1 — отложения нижней юры; 2 — породы нижнего ордовика; 3 — кимберлитовые породы

тирания практически не меняется. Характерно, что на глубине 120 м дайка расщепляется: скважинами на небольшом удалении от основного тела зафиксировано по одному мало-мощному прожилку кимберлита (от 0,5 до 30 см).

Контакты кимберлитового тела с вмещающими породами четкие, без заметных эндо- и экзоконтактных изменений. Однако в зоне контакта вмещающие породы имеют повышенную трещиноватость, а кимберлит участками лимонитизирован. С глубиной на плоскостях контакта наблюдаются маломощные (до 1 см) прожилки кальцита, а в приповерхностной части между кимберлитом и вмещающими породами располагается сплошная оторочка кальцита поперечно-шестоватого строения мощностью 2–4 см.

Непосредственно под перекрывающими отложениями горными выработками вскрыт сильно выветрелый кимберлит грязно-голубовато-зеленого цвета — кора выветривания; мощность слоя выветрелых кимберлитов до 3–4 м. Порода характеризуется большой плотностью, массивностью (уплотненные продукты коры выветривания) и состоит из вкрапленников пикроильменита, находящихся в агрегате хлоритизированной слюды и кальцита; глинистых минералов в выветрелом кимберлите мало. Никаких признаков наличия в породе оливина либо псевдоморфоз по оливину в верхней части дайки не фиксируется. Слюда в виде удлиненных табличек размером 0,5–0,2 мм расщеплена по трещинам спайности кальцитом на множество узких лентовидных обособлений вплоть до образования войлокоподобных агрегатов [16].

Кимберлит с более глубоких горизонтов (начиная с 10–15 м) обладает высокой механической прочностью, несколько меньшим количеством слюды и повышенной карбонатизацией. Структура породы порфировая. Ксенолиты вмещающих пород встречаются редко. В породе фиксируются четко различимые псевдоморфозы кальцита по кристаллам оливина призматической формы размером от 0,1 до 0,7 мм. Обычно контур псевдоморфоз подчеркивается прерывистой цепочкой магнетита. Кристаллы слюды имеют изометрическую форму, размер — 0,5–1,3 мм;



торцевые края чешуй как бы рваные. Цвет минерала синевато-зеленый, желтовато-зеленый, $N_g = 1,606$.

Характерной особенностью породы является повышенное содержание пикроильменита (особенно в коре выветривания), достигающее (по данным изучения протолочной пробы массой 4,9 кг) 4,3 %. Химическим анализом в выветрелой зоне кимберлита зафиксировано от 5,58 до 7,87 % TiO_2 , что при пересчете на пикроильменит соответствует не менее 10–16 % последнего. Такое расхождение в полученных данных можно объяснить тем, что пикроильменит в описываемых кимберлитах исключительно мелкий (размер большинства зерен от 0,03 до 0,3 мм), поэтому его трудно полностью извлечь из породы при обработке протолочных проб обычным методом. Наиболее крупные выделения пикроильменита не превышают 3 мм.

Количество пиропа в кимберлите очень низкое: из пробы массой 4,9 кг извлечено 310 зерен этого минерала размером 0,2–1,6 мм (преобладающий размер 0,3–0,4 мм). При относительно повышенном содержании пиропа оранжевого цвета преобладающим все же является фиолетово-красный. Хромшпинели в описываемом кимберлите мало – в пробе массой 4,9 кг обнаружено 178 зерен этого минерала размером 0,25–1,75 мм. Углы и ребра хромшпинели заметно оплавлены, поверхность явно шероховатая.

Форма алмазов из дайки своеобразная: резко преобладают кристаллы ромбододекаэдрического габитуса, округлые алмазы составляют более половины, большинство кристаллов окрашено. Следует подчеркнуть, что около 50 % алмазов представлены сложноедеформированными ромбододекаэдрами от дымчатого до коричневого цвета, содержащими многочисленные точечные включения черного цвета. Поверхность таких кристаллов покрыта очень мелкими занозами, переходящими иногда в шагреня, нередко кристаллы несут характерную ребристость, субпараллельную граням октаэдра. Интересно отметить, что этот же тип алмазов довольно часто встречается в месторождениях Лесной Гвинеи, Лесото и особенно в даечных телах кимберлитов, обогащенных слюдой. В отдельных жилах и образовавшихся за их счет россыпях (Фенария) они составляют более 99 % всех кристаллов.

В табл. 11 приведен химический состав даечного кимберлита как выветрелой части тела (кора выветривания), так и более глубоких горизонтов (до 130 м).

Повышенное содержание пикроильменита (особенно в коре выветривания) и вторичного анатаза является причиной высоких концентраций в кимберлите TiO_2 . Низкое содержание K_2O не увязывается с большим количеством в породе слюды. Однако если учесть, что слюда в даечном кимберлите интенсивно хлоритизирована, то низкая концентрация калия объяснима – он выносился при хлоритизации флогопита. В кимберлитах с глубины 128–130 м, где часто встречаются реликты свежего флогопита, отмечается более высокое содержание K_2O .

Выветрелый кимберлит приповерхностной части тела по химическому составу отличается от кимберлитов более глубоких горизонтов заметным

Таблица 11

Химический состав (%) кимберлитовых пород дайки А-21.
По данным А.Д. Харькова

| Оксиды | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|------------|---------|---------|---------|-------|-------|
| | Глубина, м | | | | | |
| | 4 | 5 | 28 | 30 | 122 | 130 |
| SiO ₂ | 15,25 | 9,06 | 8,99 | 14,34 | 14,10 | 12,15 |
| TiO ₂ | 7,87 | 5,58 | 2,75 | 1,55 | 3,07 | 2,54 |
| Al ₂ O ₃ | 7,15 | 4,88 | 2,38 | 1,99 | 2,40 | 2,24 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,27 | 0,18 | 0,02 | 0,08 | 0,14 | 0,13 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,68 | 7,75 | 5,26 | 4,69 | 2,84 | 1,87 |
| FeO | 3,40 | 8,20 | 1,98 | 2,19 | 2,80 | 2,49 |
| MnO | 0,54 | 0,58 | 0,18 | 0,14 | 0,09 | 0,10 |
| NiO | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | 0,03 | 0,04 |
| MgO | 9,75 | 5,79 | 6,60 | 11,20 | 12,90 | 10,16 |
| CaO | 20,10 | 27,58 | 37,45 | 32,06 | 31,25 | 35,70 |
| Na ₂ O | 0,14 | 0,26 | 0,26 | 0,22 | 0,28 | 0,27 |
| K ₂ O | 0,20 | 0,25 | 0,15 | 0,14 | 0,65 | 0,96 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,45 | 0,90 | 0,77 | 0,88 | 0,76 |
| SO ₃ | 0,05 | 0,24 | Сл. | 0,67 | 0,43 | 0,65 |
| CO ₂ | 17,00 | 25,52 | 31,68 | 26,84 | 23,92 | 26,50 |
| П.п.п. | 6,88 | 3,76 | 1,09 | 2,75 | 3,78 | 3,27 |
| Σ | 99,40 | 100,08 | 99,68 | 99,63 | 99,56 | 99,83 |

Примечание. 1,2 — кора выветривания; 3-6 — плотные кимберлитовые породы. Анализы выполнены Н.Д. Тихоньких, Т.И. Фалалеевой.

накоплением TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO, MnO и выносом CaO и CO₂. В свою очередь, кимберлит дайки А-21 отличается от кимберлитов трубочной фации Мало-Ботуобинского района повышенным содержанием титана (почти в два раза). По этому признаку, а также по степени карбонатизации он приближается к кимберлиту даек, сопряженных с трубкой Мир.

Далдыно-Алакитский район

Кимберлитовые тела Далдыно-Алакитского района группируются в трех разобитых кимберлитовых полях: Далдынском, Алакит-Мархинском и Моркокинском. В Далдынском поле известно 7 даек, Алакит-Маркинское поле помимо трубок включает 2 дайки. В нем наблюдается непрерывный морфологический ряд от трубок, близких к правильному кругу, до сильно удлинённых дайкоподобных тел и типичных даек (описание даек приведено по данным геологов Якутского производственного геологического объединения).

Здесь установлены две дайки, параллельные друг другу, с азимутом простирания 67-70°. Они ориентированы в сторону кимберлитовой трубки. Мощность даек 0,2 и 0,4 м, расстояние между ними 0,4 м. Наблюдаются отщепления мелких апофиз во вмещающие известняки. Дайка 213 сложена зеленовато-серым кимберлитом, содержащим до 10-15% обломков вмещающих пород, размер которых достигает 8 см. Визуально

в породе отмечаются довольно крупные пластинчатые кристаллы флогопита. Содержания пироп и пикроильменита повышены. В пробе массой 0,825 кг пироп составляет 0,76 %, пикроильменит 2,02 % по отношению к исходной массе породы. Пироп по цвету распределяется следующим образом: оранжево-красный — 47,6 %, фиолетово-красный — 28,6 %, розовый — 23,8 %. Отдельные зерна пикроильменита достигают 1,5 см в поперечнике, отмечается лепешковидная форма пикроильменита. В то же время в отдельных участках основной массы породы отмечаются высокие концентрации мелких (до 1,0 мм в поперечнике) колотых зерен пикроильменита.

Дайка Полуночная сложена массивным кимберлитом, не содержащим ксенолитов вмещающих пород. Цвет кимберлита светло-серый до желтого. Структура породы порфировая и состоит из многочисленных чешуек слюды и сильно карбонатизированной основной массы.

Слюда составляет около 20 % объема кимберлита. Цвет минерала соломенно-желтый до бесцветного, форма чешуек овальная и удлинённая, размер варьирует от долей миллиметра до 2 см. Следы присутствия оливина (псевдоморфоз карбоната по оливину) выражены плохо вследствие сильной карбонатизации породы. Основная масса сложена микрoзернистым карбонатом с незначительным количеством серпентина.

Для кимберлита дайки Полуночная характерна хорошо выраженная флюидалность, обусловленная субпараллельным расположением чешуек слюды и удлинённых выделений кальцита.

По химическому составу кимберлиты дайки Полуночная отличаются от кимберлитов трубок высоким содержанием TiO_2 (4,02 %), P_2O_5 (1,25 %), повышенным содержанием суммарного железа ($Fe_2O_3 + FeO = 12,16 %$), CaO и CO_2 . В то же время наблюдается относительно низкое содержание K_2O (0,60 %), что не увязывается с высоким содержанием флогопита в породе. Это объясняется тем, что слюда в кимберлите характеризуется крайней степенью измененности, сопровождающейся, как правило, выносом калия.

По сравнению с дайкой Полуночная, порода из дайки, соединяющей трубку Ленинградская и Геофизическая, характеризуется брекчиевой текстурой и содержит мало флогопита. Результаты химического анализа показывают, что кимберлит дайки значительно менее карбонатизирован, более магнезиальный и менее железистый. Он находится ближе к кимберлитовым породам трубочной фации.

Дайки, сопряженные с трубками

Как уже отмечалось, впервые в Якутии кимберлитовые дайки, сопряженные с трубками, были вскрыты при разведке последних (дайка около трубки Мир). Позднее в эксплуатируемых карьерах около трубок всегда удается обнаружить одну или несколько кимберлитовых даек. В связи с этим можно считать доказанным, что кимберлитовая система трубка — дайка является неременным выражением проявления продуктов кимберлитового магматизма в земной коре. Наиболее детально изу-

чены кимберлитовые дайки около нескольких кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского и Далдыно-Алакитского районов.

Мало-Ботуобинский район

Дайки, сопряженные с трубками Мир и № 1. С кимберлитовыми трубками Мир и № 1 сопряжены даечные тела, прослеженные в карьере на юго-восток от трубки Мир на расстояние около 200 м (южная дайка) и на северо-запад от трубки № 1 на расстояние нескольких десятков метров (северная дайка). До полного выклинивания ни та, ни другая дайка не прослежены, поэтому их истинную длину установить не удалось. Кимберлитовая дайка также вскрыта между трубками Мир и № 1 (центральная дайка) (рис. 18). На контакте с трубками дайки обрываются [16].

Мощность даек колеблется от 15 до 30 см, азимут простирания $32 - 54^\circ$, углы падения $80-90^\circ$. В карьере дайка вскрыта до глубины 300 м. В стенках карьера наблюдается неоднократное расчленение даек на апофизы мощностью от 1 до 10 см. Во вмещающих породах апофизы либо выклиниваются, либо снова соединяются с главным телом. На горизонте 265 м северная дайка распадается на две, параллельно идущие, с расстоянием между ними около 1 м и мощностью соответственно 5–10 и 10–15 см. Отмечаются неоднократные разрывы даек и смещение их отдельных участков на расстояние от нескольких сантиметров до 2 м. Плоскость отрыва, как правило, горизонтальная и совпадает с пропластками глинистых пород (мергелей, глинистых известняков), которые значительно облегчали скольжение. Контакты вмещающих пород с кимберлитом всегда четкие, резкие. В кимберлитах наблюдаются отчетливо выраженные отпечатки поверхности стенок трещин, причем копируются даже детали их рельефа. Следы термических воздействий со стороны кимберлитового расплава на вмещающие породы отсутствуют, иногда наблюдается уплотнение пород на контакте с дайкой, здесь же отмечается мало мощная оторочка из поперечно-волокнистого кальцита [16].

Кимберлит даек представлен сильно карбонатизированной породой желтовато-серого, желтого и бурого цвета. С глубиной цвет породы меняется на пепельно-серый. Кимберлит плотный, массивный, на отдельных участках превращен в дресвяно-глинистую массу. Обломки посторонних пород редки. Обнаружены единичные ксенолиты сильно измененных траппов. Встречаются многочисленные овальные выделения измененного оливина размером до 1 см в поперечнике. В составе кальцитовых псевдоморфоз по оливину, на контакте с основной массой, присутствует примесь глинистого материала.

Основная масса породы представлена кальцитом в виде зерен неправильной лапчатой формы. Участками встречается повышенное количество гипса. Развиты также субпараллельно ориентированные лейсты и таблитчатые выделения кальцита, придающие породе флюидалность. Ориентировку имеют и удлиненные псевдоморфозы по оливину.

Кимберлитовая дайка пересекается многочисленными параллельными прожилками поперечно-волокнистого гипса и кальцита. Особенно много

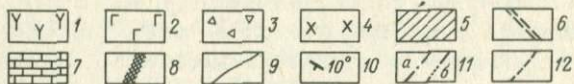
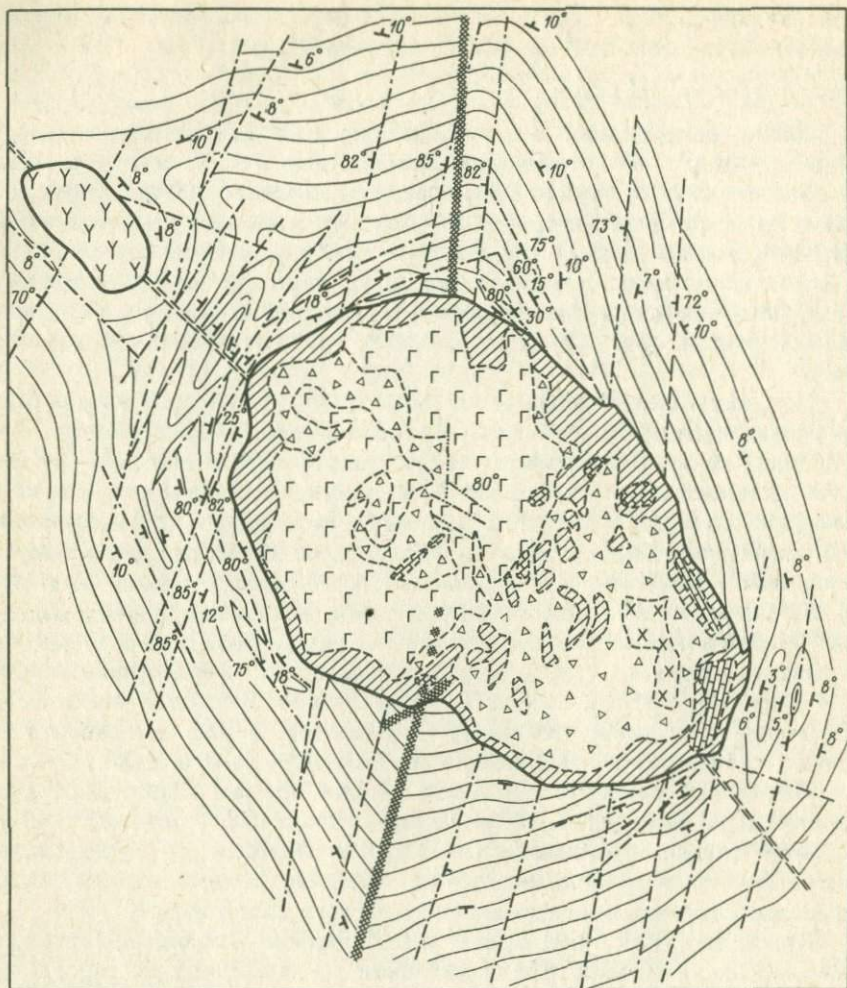


Рис. 18. Геолого-структурная схема района трубки Мир. По данным геологов объединения "Якуталмаз" и А.Д. Харькива.

1 – эруптивные брекчи; 2 – голубые эруптивные брекчи первой фазы внедрения; 3 – серые эруптивные брекчи; 4 – массивный кимберлит третьей фазы внедрения; 5 – приконтактовая разновидность кимберлитовой брекчи желтовато-зеленоватого цвета; 6 – жила кимберлитов; 7 – ксенолиты осадочных пород; 8 – зона дробления со свинцово-цинковой минерализацией; 9 – изоклины залегания пластов осадочных пород; 10 – элементы залегания осадочных пород; 11 – дизъюнктивные нарушения: а – во вмещающих породах, б – в кимберлитах; 12 – контакты между разновидностями кимберлитовых пород

Таблица 12

Содержание минералов (%) тяжелой фракции в кимберлитах трубок Мир и № 1 и в сопряженных с ними дайках

| Минералы | Южная дайка | Трубка Мир | Северная дайка | Трубка № 1 |
|---------------|----------------|---------------|-------------------|---------------|
| Оливин | — | Зн. | — | — |
| Пироп | 0,88 | 0,51 | 0,10 | 0,03 |
| Пикроильменит | 4,11 | 0,76 | >5 | 0,06 |
| Хромшпинелид | 0,16 | Зн. | 0,01 | Зн. |
| Магнетит | — | 0,34 | Не опр. | 0,04 |
| Пирит | 0,39 | 0,34 | >5 | 0,28 |

Примечание. Исходная масса проб (кг): Южная дайка — 6,2; трубка Мир — 45,32; Северная дайка — 5,37; трубка № 1 — 9,7.

прожилков в приконтактных зонах некоторых участков дайки. Кроме названных минералов в состав прожилков входит пирротин, пирит и марказит.

Состав кимберлитов южной дайки отличается от кимберлитов трубок Мир и № 1 высоким содержанием карбонатного материала, повышенным количеством TiO_2 и фосфора. Кроме того, в породе много сульфатной и сульфидной серы.

Изучено содержание минералов тяжелой фракции в южной и северной дайках. Как видно из данных табл. 12, по содержанию пироба и пикроильменита даечные кимберлиты отличаются от кимберлитов трубок, с которыми они сочленяются. Так, содержание пироба в южной дайке в полтора раза, а пикроильменита в семь раз выше, чем в трубке Мир. Аналогичная картина и для дайки, сочленяющейся с трубкой № 1. Здесь содержание пироба в три раза выше, чем в трубке. Количество пикроильменита установить не удалось из-за интенсивного замещения его пиритом и марказитом. Эти минералы нередко образуют наросты на псевдоморфозах по пикроильмениту, отделить которые не представляется возможным. Однако, судя по количеству псевдоморфоз, можно считать, что содержание пикроильменита в северной дайке не ниже, чем в южной.

Отличаясь по содержанию минералов-спутников алмаза от кимберлитов трубок, изученные отрезки даек существенно разнятся между собой по содержанию пироба: в южной дайке его содержание почти на порядок выше, чем в северной. Кроме того, пироп и пикроильменит в даечном кимберлите имеют в среднем более крупные размеры зерен, чем в трубках. Особенно часто встречаются крупные (0,6 — 1,2 см) зерна пироба оранжево-красного цвета, хотя преобладающей цветовой разновидностью этого минерала является фиолетово-красная (85 %). Зерна пироба слаботрещиноваты, в концентрате часто наблюдаются целые овальные зерна этого минерала с гладкой тонкошероховатой поверхностью. Кели-

фитовая кайма также развита слабо: обычно это тонкая 0,5–0,1 мм полоска вторичных продуктов грязно-зеленого цвета. Очень редко в пиропе встречаются включения других минералов.

Массовые замеры показателя преломления гранатов из кимберлитов трубок Мир и № 1 и сопряженных с ними даек показали, что величина пиропов фиолетово-красного цвета из даек несколько ниже, чем пиропов этой цветовой разновидности из трубок. Следовательно, среднее содержание Cr_2O_3 у пиропов фиолетово-красного цвета даек примерно на 0,5 % ниже по сравнению с таким же пиропом из трубок.

В отличие от пироба пикроильменит обеих даек подвергся интенсивному замещению агрегатами марказита, пирита и анатаза, иногда настолько интенсивно, что зерна пикроильменита трудно отличить от мелких гнезд гидротермального пирита и марказита.

У агрегатных зерен пикроильменита замещение начинается с периферической зоны. Марказит также в виде тонких оболочек замещает края каждого из индивидов агрегата. Такие зерна пикроильменита становятся рыхлыми и рассыпаются на мелкие обломки при незначительном нажиме.

Замещение монолитных зерен пикроильменита проявляется в развитии тонких субориентированных прожилков марказита и пирита. Прожилки ветвятся, образуя сложную систему в виде петельчатых узоров. В таких зернах обычно от пикроильменита сохраняются островки размером 0,01–0,05 мм, иногда крупнее. Высвобождающийся при этом титан входит в состав анатаза и, видимо, других титаносодержащих минералов. Многие зерна пикроильменита, особенно в северной дайке, нацело замещены агрегатами сульфидных минералов.

Следует отметить, что столь интенсивная сульфидизация пикроильменита в кимберлите встречена впервые. Изучение этого процесса заслуживает самого пристального внимания, так как в осадочных породах, где формируются ореолы кимберлитовых минералов, в том числе и пикроильменита, нередко происходит пиритизация породы, что может привести к уничтожению пикроильменита и обеднению ореола этим минералом. Поэтому возможность замещения пикроильменита необходимо учитывать при поисках.

Опробованием установлено, что содержания алмазов в южной дайке значительно ниже, чем в трубке Мир. Опробование северной и центральной даек не производилось.

Таким образом, на примере даек, сопряженных с трубками Мир и № 1, видно, что аналогично другим даечным телам кимберлитов рассматриваемые дайки отличаются от кимберлитов сопряженных трубок повышенным содержанием и более крупными размерами минералов-спутников алмаза, увеличенным содержанием в породе титана, фосфора, серы и более низкой алмазоносностью [16].

В то же время кимберлиты даек, сочленяющихся с этими трубками, имеют особенности, не типичные или малохарактерные для кимберлитов трубок: очень слабая измененность и трещиноватость зерен пироба и исключительно интенсивная сульфидизация пикроильменита. Эти при-

наки свойственны как для северной, так и для южной дайки, хотя по содержанию пироба они существенно различаются.

Последнее можно интерпретировать двояко: либо как доказательство самостоятельности южной и северной даек, либо как свидетельство исключительно неравномерного содержания минералов-спутников в разных участках одной дайки. Автор считает, что эти дайки — самостоятельные тела; одна из них генетически связана с трубкой Мир, другая с трубкой № 1. Ввиду слабой изученности неясным остается генезис центральной дайки.

Дайка, сопряженная с трубкой № 4. На расстоянии 10 м от юго-западного контакта трубки шурфами вскрыта кимберлитовая дайка мощностью 0,5—0,7 м, имеющая северо-западное простирание.

Контакт даечного кимберлита с вмещающими породами нередко сливной, отделить кимберлит от вмещающих пород по плоскости контакта исключительно трудно.

По данным А.Д. Харькива, даечный кимберлит представляет собой плотную породу зеленовато-серого цвета порфировой структуры. На фоне крупнозернистой основной массы карбонатного состава обособляются порфировые вкрапленники кальцитовых псевдоморфоз по оливину, зерна пироба, пикроильменита, хлоритизированные пластинчатые кристаллы слюды. Встречены единичные ксенолиты шпинелевых серпентинитов. Ксенолиты осадочных пород визуалью не наблюдаются.

Из верхнего горизонта дайки изучена отдельная шаровая глыба, покрытая сплошной глинистой коркой толщиной 5—7 см. По окраске и степени выветрелости указанная корка разделена на три зоны, для каждой из которых изучен минеральный состав и сделан химический анализ. Это позволило проследить процесс изменения жильного кимберлита при выветривании. Установлено, что в процессе выветривания возрастает трещиноватость пироба. Его келифитовая оболочка в верхней глинистой зоне превращается в бесструктурный землистый агрегат, полностью изменяется флогопит.

В условиях гипергенеза выносятся карбонатная часть и накапливаются Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 . Состав тонкодисперсных минералов в зоне выветривания даечного кимберлита преимущественно хлоритовый, при этом происходили разрушение и вынос серпентина.

Содержание первичных минералов в выветрелом и плотном кимберлите следующее (%): пироба — 0,35 и 0,11, пикроильменита — 0,59 и 0,24, хромита — 0,049 и 0,029 соответственно. Кроме того, в виде единичных зерен в плотном кимберлите присутствуют хромдиоксид, рутил, апатит, циркон. В выветрелом кимберлите повышено содержание барита (0,026 %). Таким образом, при выветривании происходит накопление практически всех минералов тяжелой фракции.

Содержание пироба и хромита в даечном кимберлите выше, а пикроильменита ниже, чем в трубке, что нетипично для жильных кимберлитов, так как в них обычно повышено содержание пикроильменита (по сравнению с кимберлитами трубок).

Сопоставлялись массовые замеры показателей преломления гранатов

из кимберлитов трубки и дайки [16]. При этом была подтверждена установленная на других объектах закономерность, что даечные кимберлиты содержат в среднем меньше хромистых разновидностей глубинных минералов (в том числе и пироба), чем кимберлиты трубок.

Даечный кимберлит интенсивно карбонатизирован (табл. 13). Несомненно, что источником большей части карбонатного материала являются вмещающие породы.

В пробах дайкового кимберлита массой до 10 кг алмазы установлены не были.

Дайка, соединяющая северное и южное тела трубки № 2. Она сложена порфировым кимберлитом, практически полностью лишенным ксенолитов вмещающих пород. Порфировые вкрапленники представлены псевдоморфозами кальцита по оливину с хорошо выраженной огранкой в виде короткопризматических и бипирамидальных кристаллов. Размер псевдоморфоз 0,5–2,5 мм. Значительный объем породы составляют столбчатые кристаллы кальцита, субориентированные параллельно контактам вмещающих пород. Часто встречаются мелкие, параллельно расположенные кристаллики хлоритизированного флогопита. Перечисленные образования заключены в агрегате кальцита с подчиненным количеством серпентина.

По содержанию минералов-спутников алмаза даечный кимберлит имеет много общего с кимберлитом южного тела. Он содержит мало пироба; пикроильменит в десятки раз преобладает над пиропом. Содержа-

Таблица 13

Химический состав (%) кимберлитовых пород Мало-Ботуобинского района.
По данным А.Д. Харькина

| Оксиды | Жильный кимберлит | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| SiO ₂ | 15,25 | 9,06 | 8,99 | 14,34 | 14,10 | 12,15 | 12,40 |
| TiO ₂ | 7,88 | 5,58 | 2,75 | 1,55 | 3,07 | 2,54 | 2,48 |
| Al ₂ O ₃ | 7,15 | 4,78 | 2,38 | 1,99 | 2,40 | 2,24 | 2,25 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,27 | 0,18 | 0,02 | 0,08 | 0,14 | 0,13 | 0,09 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,68 | 7,75 | 5,25 | 4,69 | 2,84 | 1,87 | 3,66 |
| FeO | 3,40 | 8,20 | 1,98 | 2,19 | 2,80 | 2,49 | 2,36 |
| MnO | 0,54 | 0,58 | 0,18 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,13 |
| NiO | | Не определялось | | | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| MgO | 9,75 | 5,79 | 6,60 | 11,20 | 12,90 | 10,16 | 10,24 |
| CaO | 20,10 | 27,58 | 37,45 | 32,06 | 31,25 | 35,70 | 34,12 |
| K ₂ O | 0,20 | 0,25 | 0,15 | 0,14 | 0,65 | 0,96 | 0,48 |
| Na ₂ O | 9,14 | 0,26 | 0,26 | 0,22 | 0,29 | 0,27 | 0,27 |
| SO ₃ | 0,05 | 0,24 | Сл. | 0,67 | 0,43 | 0,65 | 0,44 |
| CO ₂ | 17,00 | 25,52 | 31,68 | 26,84 | 23,84 | 26,50 | 27,24 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,45 | 0,90 | 0,77 | 0,88 | 0,76 | 0,83 |
| П.п.п. | 4,53 | 2,69 | 0,55 | 1,80 | 3,40 | 3,04 | 2,20 |
| H ₂ O | 2,35 | 1,07 | 0,54 | 0,95 | 0,38 | 0,23 | 0,52 |
| Σ | 108,41 | 89,98 | 99,68 | 99,63 | 99,57 | 99,83 | 99,74 |

| Оксиды | Жила "Мир" | Мир | № 1 | Трубки | | № 3 | № 4 |
|--------------------------------|---------------|-------|---------|--------|---------|---------|-------|
| | 8 | | | 9 | № 2 | | |
| SiO ₂ | 4,28 | 34,68 | 40,81 | 10,17 | 29,04 | 23,04 | 37,70 |
| TiO ₂ | 2,10 | 1,39 | 0,59 | 1,38 | 0,81 | 0,66 | 1,37 |
| Al ₂ O ₃ | 1,82 | 2,43 | 4,73 | 2,73 | 2,40 | 2,54 | 5,76 |
| Cr ₂ O ₃ | He опр. | 0,12 | 0,06 | 0,06 | 0,14 | 0,17 | 0,10 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,87 | 5,91 | 3,29 | 3,36 | 3,48 | 3,60 | 4,31 |
| FeO | 0,89 | 2,80 | 2,07 | 2,11 | 3,33 | 1,18 | 3,02 |
| MnO | 0,15 | 0,10 | 0,08 | 0,16 | 0,10 | 0,12 | 0,09 |
| NiO | He обн. | 0,12 | He опр. | 0,10 | 0,19 | He опр. | 0,06 |
| MgO | 5,80 | 26,68 | 15,18 | 7,39 | 19,35 | 20,20 | 18,70 |
| CaO | 38,60 | 5,40 | 11,90 | 38,00 | 19,10 | 22,12 | 9,45 |
| K ₂ O | 0,28 | 0,38 | 1,74 | 0,39 | 0,32 | 0,49 | 0,57 |
| Na ₂ O | 0,24 | 0,19 | 0,64 | 0,20 | 0,18 | 0,21 | 0,16 |
| SO ₃ | 4,36 | 0,07 | He опр. | 0,25 | He опр. | 0,21 | 0,15 |
| CO ₂ | 30,30 | 6,03 | То же | 26,59 | 12,30 | 16,50 | 7,79 |
| P ₂ O ₅ | 1,20 | 0,23 | 0,45 | 0,52 | 0,82 | 0,50 | 0,32 |
| П.п.п. | 4,32 | 4,40 | 14,72 | 5,22 | 8,45 | 7,03 | 7,09 |
| H ₂ O | — | 7,29 | 8,25 | 1,36 | He опр. | 0,51 | 3,25 |
| Σ | 99,21 | 98,22 | 104,51 | 99,99 | 100,04 | 99,61 | 99,89 |

Примечание. 1–2 – кора выветривания кимберлитовых пород с глубин 4 и 5 м; 3, 4, 5, 6 – плотные кимберлитовые породы с глубин 28, 30, 122, 130 м соответственно; 7 – среднее из анализов 3–6; 8 – среднее из 4 анализов (по данным А.К. Боткунова); 9 – среднее из 31 анализа; 10 – среднее из 10 анализов; 11 – среднее из 6 анализов; 12 – среднее из 4 анализов; 13 – среднее из 7 анализов; 14 – среднее из 3 анализов. Анализы 1 – 6 выполнены Н.Д. Тихонькиным, Т.И. Фалалеевым, Е.И. Шевцовым.

ние хромита также низкое. Размер зерен пироба и пикроильменита в среднем значительно ниже, чем в северном теле. Поверхность пикроильменита мелкобугорчатая шиповидная.

Можно предположить трехэтапное образование системы кимберлитовых тел трубки № 2. В первый этап образовалась кимберлитовая дайка, во второй – южное тело, в третий – северное (рис. 19).

Дайки, сопряженные с трубкой № 5. Около трубки № 5 вскрыта серия кимберлитовых даек. Все они являются дотрубочными, так как обрываются на контакте с трубкой. Внутри трубки они не прослежены, причем это касается не только трубки № 5, но и всех других трубок, где дайки установлены в эксплуатационных карьерах или при детальной разведке.

Около трубки № 5 выделено три системы даек. Одна из них имеет северо-западную ориентировку, примерно совпадающую с направлением нарушений, оперяющих глубинные разломы. Вторая группа даек ориентирована в северо-восточном направлении, третья – совпадает с меридиональным направлением, примерно соответствующим осевой линии Козляхского разлома. Как видно из схемы (рис. 20), ряд кимберлитовых даек не сочленяется непосредственно с трубкой. Они располагаются на

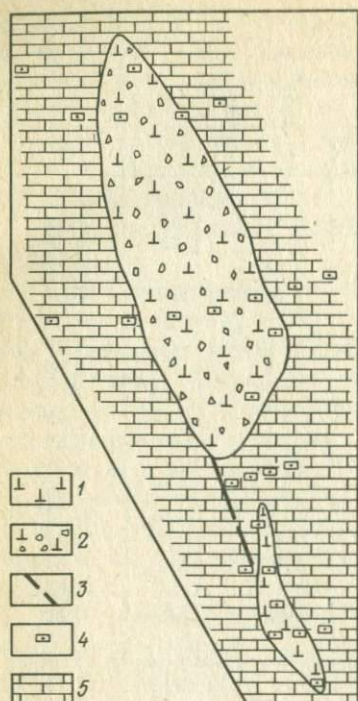
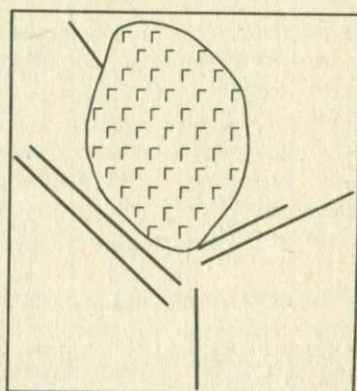


Рис. 19. Схематический план трубки № 2: 1 — порфиновый кимберлит; 2 — кимберлитовая брекчия; 3 — дайка кимберлитов; 4 — поисковые шурфы; 5 — известняки

Рис. 20. Схематический план трубки № 5 и расположение кимберлитовых даек



расстоянии нескольких десятков метров от трубки. Взаимоотношения между дайками, ориентированными в различных направлениях, не выяснены.

Южная дайка субмеридиональной ориентировки (северо-западное простирание 350°) имеет мощность от 0,2 м на удалении от трубки до 3–3,5 м вблизи трубки (на расстоянии 10–15 м от контакта). От кимберлитов трубки дайка отделяется маломощной зоной дробления с многочисленными зеркалами скольжения.

Из двух других даек, расположенных у юго-западного контакта, одна, находящаяся ближе к контакту трубки, сочленяется с последней маломощной зоной дробления. Длина дайки незначительная, мощность колеблется от 1 до 1,2 м.

Остальные дайки изучены слабо. Они представлены субвертикальными телами; контакт между кимберлитами и вмещающими породами резкий. Плоскости контактов четкие, прямолинейные. В стенках карьера отмечаются расщепления основного тела дайки на несколько апофиз различной мощности. Последние во вмещающих породах либо выклиниваются, либо снова соединяются с основным телом.

Кимберлитовые дайки, сопряженные с трубкой № 5, сложены массивной породой, подверженной интенсивной карбонатизации. Цвет породы варьирует от светло-серого до темно-серого, структура среднезернистая,

порфиновая. Ксенолиты вмещающих пород редки, они составляют не более 3—5 % объема кимберлита, представлены известняками и мергелями.

По степени карбонатизации, характеру строения и содержанию минералов-спутников алмаза среди кимберлитов изученных даек № 1, 3, 4, 7 представляется возможным выделить следующие разновидности пород.

Дайка № 4 (см. рис. 20) сложена крупнопорфировым кимберлитом, состоящим из псевдоморфоз кальцита и серпентина по оливину (20—30 %), сцементированных карбонатизированной основной массой. Размер псевдоморфоз варьирует от 0,5 до 10 мм, форма овальная, округлая и неправильная, контуры четкие. Довольно часто встречаются пластинчатые и таблитчатые кристаллы хлоритизированного флогопита размером 0,5—6,0 мм. Распространены овальные или округлые зерна пироба, окруженные келифитовой оболочкой. Кристаллы хромита редки.

Порода дайки № 1 представлена сильнокарбонатизированным и сульфидизированным кимберлитом со слабо выраженными псевдоморфозами кальцита по оливину. Псевдоморфозы имеют овальную и неправильную форму, расплывчатые контуры. В мелкоагрегатной карбонатной массе погружены мелкие чешуйки и пластинчатые кристаллы флогопита и редкие зерна пироба и хромита. Пироб подвержен замещению хлоритом до образования полных псевдоморфоз. Однако преобладают зерна пироба, окруженные узкими келифитовыми оболочками.

Дайка № 7 сложена сильно карбонатизированным кимберлитом, фактически утратившим признаки изверженной породы. Порода напоминает перекристаллизованный известняк, где среди агрегата кальцита наблюдаются единичные зерна измененного граната без келифитовой оболочки либо с обрывками последней. Редко встречаются мелкие кристаллы хромита.

Кимберлит дайки № 3 представлен сильно карбонатизированной и сульфидизированной породой с повышенным содержанием пикроильменита. На фоне светло-серой карбонатной массы псевдоморфозы кальцита по оливину выражены плохо, контуры их расплывчатые. Они составляют 40—45 % объема породы. Среди мелкозернистой кальцитовой массы довольно часто встречаются зерна пироба, пикроильменита, пластинчатые кристаллы слюды.

Отдельные участки дайки № 3 сложены плотным массивным кимберлитом от темно-серого до черного цвета. Он состоит из карбонатного среднезернистого материала с редкими псевдоморфозами по оливину (до 2—3 мм). Пикроильменит образует мелкие овальные зерна размером 1—2 мм, редко 5—6 мм. В единичных зернах встречается пироб, чаще — мелкие чешуйки хлоритизированного флогопита, хромшпинелид размером до 1 мм отмечается чрезвычайно редко.

Включения глубинных пород в жильных кимберлитах единичны. В жиле № 4 обнаружен обломок эклогитоподобной породы размером 2,0 × 1,2 см, сохранивший реликты бледно-розового граната.

В табл. 14 приведены содержания акцессорных минералов четырех

Таблица 14

Содержание (%) минералов тяжелой фракции в кимберлитах.
По данным А.Д. Харьковца

| Минерал | Дайка № 1 | Дайка № 4 | Дайка № 7 | Дайка № 3 | Силл | Трубка № 5 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|---------------|
| Пироп | 0,25 | 0,19 | 0,06 | 0,12 | 0,14 | 0,22 |
| Хромит | 0,08 | 0,07 | 0,02 | Зн. | 0,007 | 0,03 |
| Пикроильменит | Зн. | — | Зн. | 0,61 | 0,02 | 0,01 |
| Барит+лимонит | 0,39 | 0,02 | Зн. | — | Зн. | — |

даек. Для сравнения здесь даются содержания минералов тяжелой фракции кимберлитов трубки № 5.

Как видно из табл. 15, кимберлиты разных даек различаются между собой по содержанию минералов-спутников алмаза. По этому признаку некоторые из них существенно отличаются от кимберлитов трубки.

В кимберлитах трех из четырех изученных даек отмечается резкое преобладание пироба над пикроильменитом. Содержание последнего в них определяется знаками, или десятичными долями процента, тогда как количество пироба меняется в пределах 0,06 — 0,25 %. Кимберлиты дайки № 3, наоборот, имеют повышенное содержание пикроильменита, в пять раз преобладающее над пиробом. Повышенные количества хромита (0,2–0,8 %) отмечаются в кимберлитах тех жил, где содержание пикроильменита низкое. В ильменитовой жиле содержание хромита опускается до редких знаков.

Содержание минералов-спутников алмаза в дайках № 1 и 4 близкое к содержанию этих минералов в трубке № 5. В дайке № 7 оно значительно ниже, чем в трубке, что может быть связано с действительно низким содержанием этих минералов либо непредставительностью протолочной пробы. Кроме того, необходимо учесть, что кимберлиты дайки № 7 сильно карбонатизированы, что могло привести к замещению части пироба другими минералами. Ввиду повышенного содержания пикроильменита кимберлиты дайки № 3 не имеют аналогов среди кимберлитов трубки.

В табл. 15 приведен химический состав дайковых кимберлитов. Как видно из табл. 15, состав кимберлитов варьирует. Однако между ними много общего, отличающего их от кимберлитов трубочной фации. Наиболее существенное различие — это высокое содержание в жильных кимберлитах CaO и CO₂ и низкое — SiO₂, обусловленное интенсивной карбонатизацией. Кроме того, характерной особенностью жильных кимберлитов является повышенное содержание TiO₂ и P₂O₅. Особенно высокие содержания титана установлены в дайке № 3, где отмечается повышенная концентрация пикроильменита. Обращает на себя внимание повышенное количество SrO в дайке № 3, что является указанием на присутствие здесь стронциевой минерализации. Этот факт заслуживает особого внимания, так как минералы стронция, во-пер-

Таблица 15

Средний химический состав (%) дайковых кимберлитов
в Мало-Ботуобинском районе.
По данным А.Д. Харькова.

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|-------|
| SiO ₂ | 4,28 | 6,52 | 6,30 | 3,86 | 3,60 | 17,30 | 30,86 | 4,99 |
| TiO ₂ | 2,10 | 2,18 | 1,93 | 0,72 | 0,59 | 0,58 | 1,86 | 0,89 |
| Al ₂ O ₃ | 1,82 | 1,91 | 2,32 | 1,83 | 1,33 | 1,33 | 8,94 | 1,76 |
| Cr ₂ O ₃ | He опр. | 0,28 | 0,107 | 0,29 | 0,31 | 0,26 | 0,52 | 0,09 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,87 | 1,21 | 3,32 | 1,65 | 1,61 | He опр. | 12,76 | 1,40 |
| FeO | 0,89 | 2,51 | 0,86 | 0,89 | 2,15 | 1,86 | 1,92 | 1,93 |
| MnO | 0,15 | 0,08 | 0,03 | 0,10 | 0,13 | 0,13 | 0,72 | 0,29 |
| NiO | He опр. | He опр. | 0,097 | He опр. | He опр. | He опр. | 0,12 | 0,028 |
| CoO | — | " | 0,010 | " | " | " | 0,088 | 0,004 |
| MgO | 5,80 | 4,81 | 3,60 | 1,97 | 2,33 | 1,81 | 9,93 | 3,25 |
| CaO | 38,60 | 42,96 | 42,15 | 47,87 | 47,93 | 41,44 | 13,84 | 45,76 |
| Na ₂ O | 0,14 | 0,13 | 0,25 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,18 | 0,18 |
| K ₂ O | 0,28 | 0,12 | 0,43 | 0,19 | 0,12 | 0,17 | 0,64 | 0,21 |
| P ₂ O ₅ | 1,20 | 1,31 | 0,34 | 1,05 | 0,82 | 1,01 | 2,58 | 0,95 |
| SO ₃ | 4,36 | 0,06 | 1,72 | 0,35 | 0,24 | 0,01 | 0,10 | 0,07 |
| CO ₂ | 30,30 | 29,92 | 32,18 | 35,64 | 36,08 | 31,68 | 3,41 | 36,05 |
| П.п.п. | 4,32 | 5,40 | 3,27 | 2,48 | 2,32 | 1,88 | 11,40 | 1,85 |
| Σ | 99,11 | 99,40 | 99,91 | 99,02 | 99,67 | 99,55 | 99,89 | 99,70 |

П р и м е ч а н и е. 1 — дайка около трубки Мир; 2–6 — дайки около трубки № 5; 7 — кора выветривания дайкового кимберлита около трубки № 4; 8 — то же, плотный кимберлит. Анализы выполнены в химлаборатории Якутского ПГО Л.И. Мигуновым.

вых, редко встречаются в кимберлитах, во-вторых, они, как правило, образуют небольшие гнезда и прожилки. В данном случае это рассеянная стронциевая минерализация, так как никаких макроскопически видимых скоплений стронциевых минералов не наблюдается. Повышенное содержание SiO₂ в дайке № 7 связано с окварцеванием кимберлита.

Таким образом, получены новые данные, свидетельствующие о том, что между кимберлитами жерловой фации и сопряженными с ними кимберлитами жильной фации существуют четкие отличия [16], наиболее существенные из них следующие.

1. Кимберлиты жильной фации отличаются от кимберлитов жерловой низким содержанием SiO₂, резко повышенным — CaO и CO₂. Кроме того, у жильных кимберлитов повышенное содержание TiO₂. Если различия в содержании SiO₂, CaO и CO₂ имеют наложенный характер, и обусловлены исключительно интенсивной вторичной карбонатизацией жильных кимберлитов, то различия в содержании TiO₂ вызваны специализацией кимберлитового расплава.

2. Для кимберлитов жильной фации типично повышенное содержание минералов титановой группы — пикроильменита, оранжевого пиропса. Особенно четко это выражено у кимберлитов дайки № 3.

3. Кимберлитовые дайки зачастую характеризуются специфическими алмазами, ряд признаков которых можно отнести к типоморфным для

этого минерала из жил. Это отмечалось для алмазов из самостоятельной дайки А-21 [16], теперь подтвердилось на примере алмазов из дайки № 3. Для алмазов из даек с повышенным содержанием пикроильменита свойственно резкое преобладание кристаллов ромбододекаэдрического габитуса и округлых алмазов. Многие кристаллы алмаза имеют следы пластической деформации и включения тонкодисперсного и хлопьевидного эпигенетического графита. Алмазы из дайки № 1 отличаются от алмазов из ильменитсодержащей дайки № 3 тем, что среди них значительно меньше ромбододекаэдров и округлых камней. Они сходны с алмазами трубки, но все же между алмазами жилы и трубки полной аналогии нет.

Полученные данные позволяют с уверенностью отнести кимберлитовые жилы к самостоятельной фазе кимберлитового магматизма, которая обычно предшествовала образованию трубок. Тем не менее это не исключает возможности образования маломощных апофиз кимберлитов во вмещающих породах одновременно с трубками или после в результате внедрения остаточного кимберлитового расплава по трещинам во вмещающие породы. Однако, как показали исследования, количество таких жил ограничено, преобладающими являются дотрубочные жилы.

Приведенный фактический материал позволяет предположить, что различия между кимберлитами трубочной и жильной фаций обусловлены разной глубиной очагов в астеносферном слое, питавших расплавом дайки жилы и трубчатые структуры. По физическим свойствам глубинных минералов, по повышенному количеству минералов титановой ассоциации и пониженной алмазности жил, повышенному содержанию в кимберлитах титана, фосфора можно считать, что расплав, образовавший жильные кимберлиты, является продуктом плавления менее глубинных слоев мантии (по сравнению с расплавом кимберлитов сопряженных трубок), где термодинамические условия алмазообразования были недостаточно благоприятными.

Силл кимберлитовых пород около трубки № 5. По данным А.И. Боткунова, при обработке трубки геологами объединения "Якуталмаз" обнаружено во вмещающих породах пластовое тело сильноизмененных кимберлитов. Оно находится в отложениях верхнего кембрия на глубине около 150 м от современной поверхности. Тело прослежено на расстояние 50 м от контакта с трубкой. Мощность тела колеблется от 10 до 40 см, оно образует расширения и пережимы.

Порода, слагающая тело, окрашена в серый, пепельно-серый цвет, представляет собой сильно переработанную вторичными процессами брекчию, состоящую из обломков мергелей и аргиллитов, сцементированных стронцианит-кальцитовым цементом. Обломки пород составляют 5—20 %, форма их угловато-неправильная, контуры обломков нечеткие, сливаются с цементом. В состав цемента, кроме кальцита, входит повышенное количество стронцианита в виде изометричных зерен песчанистой размерности, придающих породе облик песчаника. В породе много каверн, стенки которых инкрустированы кристалликами кальцита.

В целестин-кальцитовой массе часто встречаются овальные, иногда

идеально округлые или угловато-неправильные зерна пироба размером от 1 до 88 мм в поперечнике. Большинство зерен этого минерала лишено келифитовой каймы, отдельные из них окружены сплошной или прерывистой каймой грязно-зеленоватого цвета радиально-лучистого строения. Толщина каймы не превышает 0,3 — 0,5 мм. В случае отсутствия каймы при отделении зерна пироба от породы образуется углубление с гладкими, как бы отполированными стенками. В породе присутствуют сильнотрециноватые зерна граната агрегатного строения с многочисленными включениями хромдиоксида и хромита, наподобие тех, которые часто встречаются в концентрате кимберлита трубки. Цвет пироба фиолетово-красный, малиновый, редко встречаются зерна оранжевого цвета. Судя по окраске и повышенным показателям преломления, значительная часть пироба имеет высокохромистый состав.

Кроме пироба, в цементе брекчии встречаются зерна пикроильменита, хромита и пластинчатые кристаллы измененного флогопита.

Порода, слагающая шластовое тело, имеет следующий состав:

| | | | | | | |
|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|
| Компоненты | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO |
| Содержание, % | 6,63 | 4 | 2,73 | 2,98 | 2,18 | 0,16 |

| | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| Компоненты | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S _{общ} |
| Содержание, % | 7,4 | 29,32 | 0,05 | 0,76 | 0,5 | 0,7 |

| | | | | | | |
|---------------|-----|------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| Компоненты | CO | BaO | H ₂ O ⁺ | H ₂ O ⁻ | П.п.п | Σ |
| Содержание, % | 8,3 | 0,67 | 2,69 | 0,2 | 24,56 | 93,83 |

Детальное изучение строения и минерального состава кимберлита позволяет считать рассматриваемое тело как кимберлитовый силл, образованный кимберлитовым материалом при формировании трубки № 5. Позднее кимберлитовая порода подверглась сильной вторичной переработке постмагматическими и внутрислойными растворами, приведшими к замещению серпентина и других минералов кимберлита кальцитом и стронцианитом. Заслуживает внимания появление в породе последнего минерала, так как в других жильных телах, даже сильно карбонатизированных, он не был зафиксирован в таком большом количестве. По-видимому, вмещающие силл породы нижнего палеозоя в своем составе содержат обогащенные стронцианитом образования.

Далдыно-Алакитский район

Жилы, сопряженные с трубкой Удачная. Карьером во вмещающих породах трубки Удачная вскрыто более шести кимберлитовых жил, ориентированных в северо-западном, северо-восточном и субширотном направлении (рис. 21). По-видимому, все жилы образованы раньше трубки, так как во всех случаях, когда удавалось проследить контакт между жилой и трубкой, жила обрывалась у контакта. Иногда на месте сочленения образуются узкие зоны брекчий. Некоторые жилы (например,

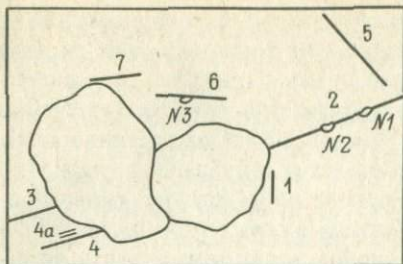


Рис. 21. Кимберлитовые жилы и дайки, сопряженные с трубкой Удачная

5) на современном эрозионном срезе находится в стороне от трубки. Они, возможно, контактировали с телом трубки на более высоких горизонтах, уничтоженных в настоящее время эрозией. Мощность кимберлитовых жил варьирует от первых до нескольких десятков сантиметров. Так, например, жила 4 на расстоянии около 80 м от трубки представлена двумя телами: одно мощностью 18–20 см, другое 15–18 см, тогда как на расстоянии 200 м от контакта прослеживается одно тело мощностью 15–20 см с отдельными расширениями до 50–70 см. Перемычка карбонатных пород между находящимися рядом параллельными жилами составляет 45–50 см. В борту уступа карьера можно наблюдать расчленение жилы на мелкие апофизы аналогично кимберлитовым жилам трубки № 5.

Наиболее длинной и мощной жилой из всех сопровождающих трубку Удачная является жила 2. Она прослежена на расстояние более 300 м от трубки, ориентировка жилы северо-восточная. Мощность жилы (по данным В.В. Готовцева) варьирует от нескольких десятков сантиметров до одного метра.

Жилой соединяются два мелких тела кимберлитовых брекчий размером до 20 м в поперечнике. Форма этих тел несколько вытянутая по направлению жилы, контакты крутые, почти вертикальные. По-видимому, эти тела представляют собой сателлитные трубки, которые сопровождают крупные тела кимберлитов в Якутии и Южной Африке. Кимберлитовые жилы представляют собой субвертикальные тела относительно выдержанной формы на вскрытую глубину (до 80 м). Контакты с вмещающими породами всегда четкие, разкие. Новообразований на контакте не установлено.

Основное тело жилы 2 сложено массивной породой порфировой структуры с редкими ксенолитами осадочного происхождения. Порфиновые вкрапленники представлены псевдоморфозами по оливину, зернами пироксена и пикроильменита.

Расширения сложены кимберлитовой брекчий, состоящей из большого количества (50–60 %) обломков вмещающих пород, сцементированных кимберлитовым цементом. Размер обломков колеблется от микроскопических до 6 см в поперечнике. Выделяются три типа обломков: а) осадочных пород; б) измененных кристаллических сланцев фундамента, в) глубинных пород верхней мантии. Обломки осадочных пород резко доминируют.

Ксенолиты кристаллических сланцев представлены сильноизменен-

ными биотитсодержащими разновидностями размером 1—2 см в поперечнике.

Встречено два ксенолита гранатовых серпентинитов, сложенных ярко-зеленым пироауритом (?), серпентином и кальцитом. Пироп ксенолитов представлен фиолетово-красными зернами размером 0,3—1,5 мм. Келифитовая кайма на пиропах отсутствует.

Цементом брекчии служит кимберлитовая порода, сложенная псевдоморфозами по оливину, зернами пикроильменита, пиропа и карбонатной массой, содержащей относительно небольшую примесь серпентина и, возможно, пироаурита.

Псевдоморфозы по оливину образуют овальные, реже почти округлые выделения, наиболее крупные из которых достигают 2,5 см по длинной оси. В составе псевдоморфоз преобладает кальцит молочно-белого цвета, присутствует небольшое количество пирита.

Зерна пиропа относительно редко наблюдаются в виде овальных и почти округлых выделений размером 0,5—4,0 мм. Изредка встречаются более крупные зерна, достигающие 2 см по удлинению. Среди мелких зерен пиропа присутствуют практически все основные цветовые разновидности этого минерала, характерные для кимберлита, тогда как зерна более 0,7 см представлены, как правило, пиропом оранжево-красного цвета.

Пикроильменит встречается чаще, чем пироп. Он образует зерна овальной и угловато-неправильной формы, размером от нескольких до 20 мм. Так же как и для пиропа, для него характерен относительно крупный размер зерен.

Кимберлит жилы № 3 представляет собой сильно лимонитизированную массивную породу бурого цвета.

Псевдоморфозы по оливину имеют овальную форму зерен, размером 2—8 мм. Они сложены бурым и кремовым серпентином. Количество псевдоморфоз достигает 20 % от объема породы.

В породе присутствуют единичные ксенолиты сильно измененных кристаллических сланцев, содержащих биотит.

Основная масса сложена агрегатом кальцита и серпентина, а также хорошо индивидуализированными лейстовидными зернами кальцита. Значительный объем основной массы составляет гипс, образующий сетку тонких прожилков и мелкоагрегатную массу.

По содержанию глубинных минералов (табл. 16), а также по их физическим свойствам кимберлиты жилы 3 существенно отличаются от кимберлитов остальных жил. По содержанию пиропа и пикроильменита порода жилы 3 напоминает кимберлит тела 1 жилы 4, однако содержание хромшпинелида в кимберлите жилы 3 почти на порядок выше, чем в теле № 1. В жиле 3 повышено содержание хромдиоксида, что несвойственно кимберлитам, так как хромдиоксид относится к минералам, легко замещающимся вторичными продуктами. Пикроильменит в основном представлен зернами агрегатного строения, во многих зернах содержатся включения псевдоморфоз серпентина и кальцита по оливину размером 1—5 мм. Хромшпинелиды из жилы 3 в отличие от хромшпинели-

Таблица 16

Состав тяжелой фракции в кимберлите жилы № 4

По данным А.Д. Харькина

| Номер образца | Масса растворенной пробы, кг | Выход тяжелой фракции, г | Содержание минералов, % | | | |
|--------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------|--------------|
| | | | пироба | пикроильменита | хромшпинелида | хромдиопсида |
| Уж ₁ * | 2,1 | 147,98 | 0,06 | 0,92 | 0,001 | 0,0005 |
| Уж ₂ ** | 2,2 | 225,48 | 0,06 | 0,37 | 0,01 | Не обн. |
| Уж ₃ ** | 3,0 | 222,11 | 0,06 | 0,90 | 0,01 | 0,008 |

* — Массивный кимберлит.

** — Кимберлитовая брекчия.

лидов из трубки Удачная и тела № 2 и жилы 4 представлены (около 60 %) агрегатными зернами неправильной формы с сильно расчлененным рельефом. Агрегатный хромшпинелид хорошо просвечивает густым коричневым цветом. Бурая окраска характерна для хромшпинелида с повышенным содержанием глинозема, поэтому можно заключить, что в жиле 3 преобладает глиноземный хромшпинелид.

По цветовым разновидностям пироба жилы 3 близок к пиробу тела № 2 жилы 4, однако по морфологии зерен он резко отличается. Если подавляющее большинство пиробов из жилы 4 представлено обломками, то около 67 % пиробов жилы 4 являются целыми зернами округлой (почти шаровидной) формы с неровной (изобилующей щелевидными трещинами) поверхностью. При этом все целые зерна принадлежат к одной цветовой разновидности — фиолетово-красной.

Не исключено, что необычные морфологические и цветовые особенности граната и хромшпинелида в жиле 3 связаны с тем, что в пробу протоочки попал ксенолит гранат-шпинелевого состава, явившийся источником большей части граната и хромшпинелида, хотя при просмотре породы перед дроблением наличие ксенолита не было установлено.

Как уже отмечалось выше, на удалении 80 м от трубки жилы 4 состоит из двух тел.

Порода тела № 1 (см. рис. 21) имеет четко выраженное зональное строение: большая часть представлена массивным кимберлитом порфировой структуры и меньшая — эруптивной брекчией.

Массивный кимберлит сложен псевдоморфозами по оливину размером 2 — 8 мм и сцементирован мелкоагрегатной основной массой. Форма псевдоморфоз овальная, длинные оси субориентированы. Содержание псевдоморфоз по оливину первой генерации достигает 20 % объема породы. Они сложены серпентином и кальцитом (последний преобладает). Изредка встречаются зерна пироба, достигающие 8 мм по длинной оси, окруженные келифитовой каймой хлоритового и хлорит-слюдистого состава.

Пикроильменит встречается чаще, чем пироп. Форма зерен изометрически неправильная, размер их колеблется от микроскопических до желваков, достигающих 2 см в поперечнике. Почти все крупные зерна пикроильменита разбиты трещинами, заполненными агрегатами кальцита.

Кимберлитовая брекчия представлена плотной породой бурого и пепельно-серого цвета. Она сложена обломками (30–40 %) осадочных пород, сцементированными сильно карбонатизированным кимберлитом.

Основная масса как кимберлитовой брекчии, так и массивного кимберлита представлена серпентин-карбонатным агрегатом, на фоне которого четко выделяются псевдоморфозы по оливину второй генерации, чешуйки флогопита и призматически удлиненные, столбчатые зерна кальцита.

Тело № 2 сложено грубообломочной кимберлитовой брекчией. Обломочный материал составляет около 40 % объема породы. Он представлен в основном вмещающими осадочными породами. Очень редко встречаются измененные кристаллические сланцы фундамента и глубинные ксенолиты. Размер обломков осадочных пород колеблется от микроскопических до 7 см в поперечнике.

Кимберлит — цемент представляет собой порфиновую породу, сложенную псевдоморфозами кальцита по оливину первой генерации, единичными зернами пироба и пикроильменита, сцементированными мелкоагрегатным кальцитом и серпентином.

На расстоянии 200 м жила представлена одним телом с апофизами во вмещающих породах. Характерен клинопироксеновый облик кимберлита благодаря наличию относительно крупных псевдоморфоз по оливину. Порода окрашена в бурый и темно-серый цвет, имеет четкий контакт между различно окрашенными участками кимберлита.

Содержание псевдоморфоз по оливину достигает 30 %. На участках, окрашенных в темно-серый цвет, псевдоморфозы сложены кремовым серпентином и мелкоагрегатным кальцитом. Серпентин образует сложную сеть из прожилковидных агрегатов, ячейки которых сложены кальцитом. Внутри псевдоморфоз встречаются скопления мелких зерен пирита. Серпентин, слагающий участки породы, окрашенные в бурый цвет, по строению практически не отличается от серпентина из участков темно-серого цвета. Основная масса породы состоит из псевдоморфоз (размером 0,3–1,5 мм) по оливину второй генерации в виде идиоморфных, овальных зерен и удлиненных лейст кальцита. Содержание флогопита несколько ниже, чем в предыдущих разновидностях кимберлита жилы 4.

В табл. 16 приведены результаты изучения минерального состава кимберлитов жилы 4 отдельно для массивной породы и брекчиевидной. Обращает на себя внимание тот факт, что при одинаковом содержании пироба (0,06 %) содержание пикроильменита разное (0,92 и 0,37 %). Пикроильменита в массивном кимберлите почти в три раза больше, чем в кимберлитовой брекчии; содержание хромшпинелида в кимберлитовой брекчии почти на порядок выше, чем в массивном кимберлите. Между этими двумя типами кимберлита наблюдаются существенные различия

в цветowych разновидностях пироба: в массивном кимберлите повышено количество оранжевого пироба, тогда как в этом минерале кимберлитовой брекчии резко доминируют фиолетово-красная и малиновая разновидности. Различия в цветowych разновидностях пироба двух типов породы особенно четко проявляются для зерен крупного класса (более 2 мм): в кимберлитовой брекчии присутствуют как оранжевые, так и фиолетово-красные разновидности пиробов, тогда как в массивном кимберлите пиробы только оранжевого цвета. В массивном кимберлите встречены зерна хромдиоксида. Такие существенные различия в минеральном составе двух рядом расположенных жил установлены впервые. Этот факт указывает на то, что два тела жилы 4 по существу являются самостоятельными жилами, одна из которых на расстоянии 80–150 м от контакта с трубкой выклинивается.

Характерная особенность жилы 4 — повышенное количество ксенолитов глубинных пород. В собранной и изученной коллекции (34 образца) резко преобладают сильно измененные (серпентинизированные) гранатовые и шпинелевые аполерцолиты равномерно-зернистой структуры; при этом гранатовые разновидности составляют 44 %, а безгранатовые (со шпинелью и без таковой) — 53 %. Обращает на себя внимание очень низкое содержание катаклазированных разновидностей лерцолитов в отличие от трубки, где эти породы являются резко преобладающими. Разновидности гранатовых серпентинитов с высокохромистым гранатом принадлежат коэситовой и гроспидитовой субфациям глубинности. Эклогит представлен всего лишь одним модулем.

Цвет кимберлита жилы 6 пепельно-серый и темно-серый. Порода массивная, плотная. Обломочный материал составляет не более 5 % объема и представлен тонкоагрегатными алевритистыми породами пепельно-серого цвета от микроскопических размеров до обломков в 2–3 см в поперечнике.

Особенность жильного кимберлита — интенсивная карбонатизация и пиритизация. В результате проявления этих двух процессов кимберлит приобрел сливной массивный облик. Масса породы за счет высокого содержания пирита повышена, порода прочная.

Вследствие интенсивной карбонатизации псевдоморфозы слились с карбонатной основной массой и порода в целом превратилась в мелкозернистый агрегат, сложенный кальцитом и пиритом, где сохранились пластинчатый и чешуйчатый флогопит, пироп и пикроильменит.

Содержание флогопита в кимберлитах жилы 6 повышено по сравнению с другими изученными жилами, сопровождающими трубку Удачная, а также по сравнению с кимберлитами. Характерны две генерации слюды: в виде относительно крупных (2–8 мм) пластинчатых кристаллов и мелких (0,2–1 мм) чешуек и пластинок. Цвет мелких зерен слюды темно-серый, светло-коричневый, тогда как слюда первой генерации окрашена в грязно-зеленоватый и желтовато-белесый цвет. Создается впечатление, что слюда второй генерации менее изменена (вермикулитизирована и хлоритизирована), чем первой. Пластинчатые кристаллы слюды субориентированы параллельно контактам тела.

Пироп встречается часто в виде овальных и почти округлых зерен размером 0,5 – 5,0 мм. Он окружен сплошными келифитовыми каймами шириной 0,1–1,0 мм. Цвет кайм грязно-зеленый, бурый, желтовато-зеленоватый, строение радиально-лучистое, состав хлоритовый и слюдисто-хлоритовый. Редко встречаются зерна пиропы с обрывками келифитовых кайм.

Пироп представлен практически всеми основными цветовыми разновидностями этого минерала (%): малиновый – 3; фиолетово-красный с различными оттенками – 51; красный – 12; оранжевый – 30 и розовый – 4. Доминирующей разновидностью являются пиропы, содержащие повышенное количество хрома (малиновые и фиолетово-красные). Пиритизация не отразилась на пиропе, она даже не затронула относительно рыхлые келифитовые каймы. В пиропых иногда присутствуют включения других минералов: в оранжевом – пикроильменита, в фиолетово-красном – хромита (ксеноморфные зерна).

Пикроильменит менее распространенный минерал, чем пироп. Он имеет неправильно-изометрическую форму зерен, строение их агрегатное и монолитное (преобладает второе). Размер зерен пикроильменита колеблется от 2 до 5 мм.

Предварительные результаты изучения состава и строения жильных кимберлитов, сопровождающих трубку Удачная, свидетельствуют о резких различиях между кимберлитами жил и трубки. В кимберлитах жильной фации повышено содержание минералов-спутников алмаза, особенно пикроильменита, а также крупных выделений оранжевого пиропы.

Отличительным признаком кимберлитовых жил трубки Удачная по сравнению с жилами других трубок, является присутствие ксенолитов глубинных пород. Эти породы обнаружены в расширении жилы 2, но особенно часто они встречаются в жиле 4.

Кроме описанных жил в кимберлитовой трубке Удачная также встречены внутритрубочные дайки, которые не выходят за пределы трубки, выклиниваясь на ее контактах или на контактах разных фаз внедрения. Они встречены на глубинах 290–410, 737 и 765 м в западном теле и, начиная от поверхности до глубины 907,5 м, – в восточном. Мощность даек от нескольких сантиметров до 25–30 см. В стенках карьера они прослежены на различное расстояние: от первых метров до первых десятков метров. Дайки сложены плотной обычно массивной породой, в редких случаях содержащей единичные ксенолиты вмещающих толщ. Контакт с вмещающим кимберлитом либо резкий, обычно неровный до извилистого, либо постепенный. Дайки не выдержаны по простиранию, образуют линзообразные расширения, нередко сужаются до пережимов, иногда они имеют сложную конфигурацию – наблюдались случаи инъекций материала даек во вмещающие кимберлиты и выклинивания инъекций в приконтактной зоне кимберлита.

Дайки сложены порфировым кимберлитом с пониженным (по сравнению с вмещающими породами) содержанием оливина или псевдоморфоз по нему. Для некоторых даек характерно зональное строение, обус-

ловленное неравномерным распределением измененного оливина: повышенные его концентрации, как правило, тяготеют к центральным участкам даек. Приконтактные зоны нередко имеют облик афанитовой породы, цвет ее темно-серый. Основная масса сложена тонкозернистым агрегатом серпентина и карбоната. Часть карбоната образует микролиты размером от 0,02 до 0,5 м. Повышенное количество распыленного магнетита придает породе темно-серый облик. В некоторых жилах в основной массе повышено содержание перовскита.

Микроструктурный анализ жильных кимберлитов, выполненный В.К. Маршинцевым и К.Н. Мигалкиным, показал, что длинные оси зерен оливина или псевдоморфоз по нему, а также лейст кальцита субориентированы согласно направлению контактов вмещающих кимберлитов.

Породы внутритрубочных даек имеют повышенное содержание CaO и CO_2 , а также TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , K_2O и P_2O_5 (табл. 17), т.е. они характеризуются теми же особенностями состава, что и кимберлиты, слагающие жильные тела в пределах околотрубочного пространства.

Механизм образования внутритрубочных жил представляется в следующем виде. После заполнения флюидизированным кимберлитовым расплавом трубочной структуры произошли консолидация породы и образование в ней трещин и ослабленных зон. В то же время в отдельных участках диатремы скапливались остаточные дифференциаты кимберлитового расплава, обогащенные карбонатной составляющей, летучими и некоторыми другими компонентами, имеющими тенденцию к концентрации в остаточных порциях расплава. Последний, находясь в подвижном состоянии, проникал по ослабленным зонам и трещинам, заполняя линзовидные и линейно вытянутые полости, образуя дайкоподобные тела и серию тонких прожилков. В случае проникновения в консолидированный кимберлит значительных объемов остаточного расплава под давлением этот расплав был в состоянии раздвигать стенки ослабленных зон или даже самостоятельно прокладывать себе путь в породе. Таким способом формировались дайки кимберлитов линейно выдержанной формы, простирающиеся на многие десятки, а то и первые сотни метров.

Постепенные переходы между вмещающими кимберлитами и заполнениями остаточного расплава, по-видимому, связаны с тем, что поступление новых порций расплава происходило в не полностью консолидированные породы трубки.

Жилы, сопряженные с трубкой Айхал. На уровне современного эрозионного среза трубки Айхал карьером вскрыты четыре кимберлитовые жилы (рис. 22). По материалам геологов Якутского ПГО жила № 1 является как бы продолжением северо-восточного конца трубки, ее простираение почти совпадает с направлением длинной оси трубки, жила № 2 располагается у юго-восточного контакта на месте пережима трубки. Она, как и жила № 3, расположена у северо-западного контакта, ориентирована параллельно длинной оси трубки. Жила № 4 располагается на продолжении юго-западного фланга трубки, ее ориентировка также совпадает с направлением длинной оси трубки. Углы падения жил крутые — от 75 до 85°. Жила № 1 по простираению прослежена на расстоянии 400 м

Таблица 17

Химический состав (%) внутритрубочных даечных кимберлитов в трубке Удачная

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|
| SiO ₂ | 29,88 | 23,13 | 24,37 | 29,28 | 29,46 | 30,06 | 28,78 | 26,46 | 24,58 | 28,30 | 16,97 | 25,94 |
| TiO ₂ | 1,07 | 2,44 | 2,24 | 1,59 | 1,75 | 1,51 | 1,43 | 1,42 | 0,73 | 1,52 | 1,48 | 0,79 |
| Al ₂ O ₃ | 1,61 | 2,21 | 1,86 | 1,31 | 1,85 | 1,76 | 1,81 | 2,22 | 1,56 | 2,72 | 2,55 | 2,49 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,71 | 7,76 | 8,00 | 5,86 | 6,04 | 7,46 | 5,36 | 4,96 | 2,89 | 2,20 | 4,40 | 3,12 |
| FeO | 2,27 | 3,97 | 3,40 | 2,78 | 3,52 | 4,28 | 2,18 | 3,44 | 2,17 | 2,62 | 2,37 | 3,57 |
| MnO | 0,14 | 0,18 | 0,25 | 0,23 | 0,23 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,10 | 0,06 | 0,16 | 0,08 |
| MgO | 30,36 | 21,77 | 23,26 | 27,82 | 30,02 | 32,38 | 26,70 | 26,97 | 22,07 | 24,67 | 25,15 | 25,08 |
| CaO | 11,33 | 16,78 | 15,75 | 11,56 | 12,44 | 5,53 | 11,85 | 14,16 | 18,20 | 17,40 | 17,32 | 15,04 |
| Na ₂ O | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,07 | 4,09 | 0,24 | 0,66 | 0,27 | 0,28 | 0,30 | 0,31 | 0,24 |
| K ₂ O | 0,48 | 0,46 | 0,44 | 0,33 | 1,38 | 0,74 | 0,59 | 0,67 | 0,80 | 0,33 | 2,04 | 0,72 |
| H ₂ O ⁺ | 9,76 | 8,83 | 8,83 | 0,96 | 0,55 | 8,64 | 11,50 | 9,16 | He опр. | 6,70 | He опр. | 7,01 |
| P ₂ O ₅ | 0,30 | 0,85 | 0,78 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,54 | 0,54 | 0,38 | 0,64 | 1,72 | 0,34 |
| S _{общ} | 0,12 | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,23 | 0,09 | 0,11 | 0,26 | 0,53 | 0,51 | 0,91 | 0,37 |
| CO ₂ | 8,57 | 10,92 | 10,11 | 7,19 | 5,05 | 5,91 | 7,31 | 8,88 | 15,18 | 13,34 | 21,47 | 12,26 |
| F | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,16 | 0,14 | 0,19 | 0,20 | 0,27 | 0,44 | He опр. |
| П.п.п. | | He обн. | | 9,29 | 2,43 | 0,40 | 1,57 | 0,62 | 10,41 | 0,50 | 3,86 | 2,56 |
| Σ | 99,88 | 99,64 | 99,69 | 99,04 | 99,66 | 99,84 | 100,70 | 100,38 | 100,08 | 102,08 | 100,15 | 99,61 |
| H ₂ O | 0,66 | 0,64 | 0,70 | 0,58 | 0,20 | 0,90 | 1,00 | 1,02 | 0,33 | 1,32 | 1,36 | 1,69 |

Примечание. Дайка в породах трубки Удачная-Восточная: 1 — вмещающая кимберлитовая порода; 2 — мелкопорфировый кимберлит контактовой зоны дайки; 3 — кимберлитовая порода промежуточной части дайки; 4 — то же центральной; 5–8 — внутритрубочные дайки в породах трубки; 9–11 — внутритрубочные дайки в породах трубки Удачная-Западная; 12 — средний химический состав кимберлитовых пород трубки Удачная-Восточная (141 анализ). Пробы 1–11 проанализированы в ИГ ЯФ СО АН СССР (аналитики Г. Амузинская и О.В. Попова).

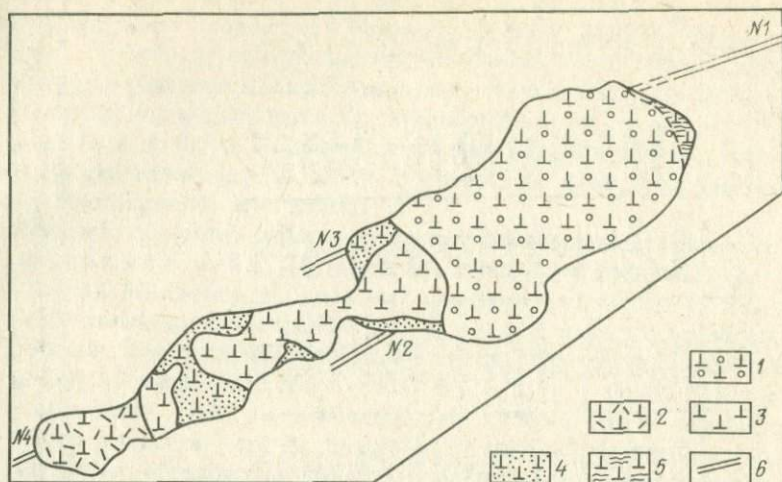


Рис. 22. Геологическая схема трубки Айхал:

1 — кимберлитовые туфы; 2 — эруптивные брекчи первой фазы внедрения; 3 — эруптивные брекчи голубого цвета второй фазы внедрения; 4 — эруптивные брекчи темно-зеленого цвета второй фазы внедрения; 5 — стратифицированные осадочно-вулканогенные породы; 6 — кимберлитовые жилы

от контакта, она продолжается дальше под трапповым силлом. В карьере жила прослежена на глубину 150 м. Остальные жилы имеют длину от первых метров до первых десятков метров.

Мощность жил варьирует от нескольких сантиметров до 3 м. Наиболее мощной является жила № 4, тогда как ширина трех остальных примерно одинаковая и колеблется от 0,25 до 0,4 м, отдельные раздувы достигают 0,8 м.

Кимберлитовые жилы на контакте с трубкой обрываются. Зона сочленения детально прослежена между жилой № 4 и трубкой. Она представлена участком брекчирования мощностью в несколько десятков сантиметров. Содержание ксенолитов вмещающих пород в приконтактовой части трубки составляет около 20 %, в жиле оно не превышает 3–5 %. Подобный характер сочленения жильных кимберлитов с трубчатыми, а также обнаружение в брекчиях трубки обломков кимберлитов, полностью соответствующих жильным, свидетельствует о дотрубочном образовании жил и прорыве их трубкой.

Содержание ксенолитов осадочных пород в жилах обычно не превышает 5 %, составляя в среднем 2–3 %, размер ксенолитов колеблется от 0,5 до 10 см. Обычно ксенолитами обогащены приконтактовые участки жил.

Отдельные участки жилы № 1 имеют зональное строение: периферийные зоны более интенсивно карбонатизированы, чем центральная, причем границы между зонами довольно четкие.

Главным породообразующим минералом жильного кимберлита

является кальцит, содержание которого иногда достигает 85 %. Наиболее интенсивно карбонатизированы кимберлиты жилы № 1.

Установлено несколько характерных форм выделений кальцита. Обычно на фоне криптозернистого агрегата кальцита обособляются псевдоморфозы этого минерала по оливину. Количество последних достигает 15–20, редко 30 %. Размер псевдоморфоз колеблется от 0,5 до 8,0 мм. В жиле № 3 размер псевдоморфоз достигает 20 мм. Для большинства псевдоморфоз четко выражена кристаллографическая огранка оливина. Удлиненные псевдоморфозы ориентированы субпараллельно контактам с вмещающими породами.

Основная масса жил № 2 и 3 на 80 % сложена шестоватыми выделениями кальцита толщиной 0,015–0,05 мм, длиной 0,2–0,6 мм, ориентированными параллельно. Они вместе с псевдоморфозами по оливину образуют характерные флюидалные структуры. Иногда шестоватые образования кальцита, обычно агрегатного, обтекают отдельные более крупные псевдоморфозы по оливину. Кроме кальцита в состав жильного кимберлита входят незначительное количество серпентина, призматические кристаллы апатита и чешуйки слюды.

Кроме жил, выходящих на дневную поверхность, при разведке были вскрыты жильные кимберлиты на различных глубинах. На современной поверхности они не установлены. На глубине 127 м вскрыта жильная порода мелкопорфирового и крупнопорфирового строения. Первая разновидность представлена темно-серой, почти черной основной массой, в которой четко обособляются шестоватые зерна кальцита, лейсты флогопита и мелкие кристаллы апатита. Промежутки между этими минералами заполнены серпентином. В породе значительный объем занимают псевдоморфозы размером 0,5–2 и 0,1–0,3 мм по идиоморфным кристаллам оливина двух генераций. Крупнопорфировый кимберлит сложен псевдоморфозами по оливину трех генераций. К первой генерации отнесены псевдоморфозы размером 1,0–2,0 мм по идиоморфным кристаллам оливина, замещенные светло-зеленым серпентином, кальцитом и магнетитом, ко второй – псевдоморфозы серпентина размером 0,2–2,0 мм по удлиненным зернам оливина, третья генерация представлена микроскопическими (0,02–0,1 мм) псевдоморфозами изометрической формы, сложенными изотропным серпентином. В крупнопорфировом кимберлите изредка встречаются лейсты флогопита, кристаллы хромита и апатита.

На глубине 150 м скважина пересекает жильное тело, сложенное нацело карбонатизированным кимберлитом с небольшим количеством хлоритизированного флогопита, кристаллов апатита и, что особенно интересно, относительно крупными (1,5 мм) кристаллами перовскита. Это единственная разновидность кимберлитов трубки Айхал, где обнаружен перовскит.

От описанных пород отличаются жильные кимберлиты, вскрытые скважинами на глубинах 142 и 410 м. Эти породы интенсивно карбонатизированы. Кальцит имеет неправильную форму зерен. Псевдоморфозы по оливину в породе с глубины 142 м сложены кальцитом, а с глубины 410 м – серпентином и слюдистым минералом с высокими цвета-

Таблица 18

Химический состав (%) жильных кимберлитов Далдыно-Алакитского района.
По данным А.Д. Харькина

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|
| SiO ₂ | 5,45 | 14,70 | 18,66 | 13,28 | 16,00 | 7,68 | 5,40 | 8,47 |
| TiO ₂ | 0,63 | 0,69 | 0,65 | 0,35 | 0,57 | 0,64 | 0,46 | 1,81 |
| Al ₂ O ₃ | 1,91 | 2,54 | 2,31 | 2,57 | 3,39 | 1,65 | 3,03 | 2,40 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,27 | 0,24 | 0,16 | 0,068 | 0,22 | He опр. | He опр. | 0,33 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,14 | 4,47 | 4,59 | 1,96 | 5,48 | 0,85 | 0,75 | 7,25 |
| FeO | 0,38 | 0,50 | 0,61 | 1,33 | 1,35 | 0,81 | 0,86 | 1,15 |
| MnO | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,16 | 0,11 | 0,12 |
| NiO | 0,069 | 0,091 | 0,07 | He опр. | 0,16 | He опр. | He опр. | 0,17 |
| CoO | 0,006 | 0,009 | 0,01 | " | He опр. | " | " | 0,16 |
| MgO | 3,54 | 10,10 | 14,35 | 5,63 | 12,50 | 6,60 | 5,18 | 4,50 |
| CaO | 45,12 | 33,00 | 27,80 | 38,83 | 28,11 | 42,16 | 42,71 | 38,65 |
| Na ₂ O | 0,29 | 0,26 | 0,25 | 0,20 | 0,28 | 0,03 | 0,53 | 0,24 |
| K ₂ O | 0,22 | 0,57 | 0,36 | 0,97 | 0,76 | 0,61 | 1,39 | 1,14 |
| P ₂ O | 0,36 | 1,02 | 0,89 | 0,37 | 0,10 | 0,77 | 0,21 | 1,04 |
| SO ₃ | Сл. | 0,10 | 0,10 | 1,45 | He опр. | 0,14 | 0,16 | 0,41 |
| CO ₂ | 37,40 | 26,00 | 21,40 | 29,92 | 21,12 | He опр. | He опр. | 25,47 |
| П.п.п. | 1,92 | 5,22 | 7,28 | 2,57 | 4,82 | 37,80 | 38,90 | 4,49 |
| Σ | 100,78 | 99,60 | 99,57 | 99,56 | 94,91 | 99,90 | 99,69 | 97,80 |

Примечание. 1-3 — жилы около трубки Айхал: 1-1, 2-II, 3-III; 4, 5 — послетрубочные жилы, подсеченные скважинами на глубине 410 и 124 м соответственно; 6, 7 — маломощные жилы в приконтактной зоне; 8 — жила VI около трубки Удачная. В сумму анализа 8 входит 5,28 % S_{общ.}

ми интерференции. В породе присутствуют кристаллы и ксеноморфные зерна сфалерита, находящиеся внутри псевдоморфоз и в основной массе породы. В кимберлитах обеих жил обнаружены кристаллы флогопита и апатита.

В кимберлитах жильной фации кроме ксенолитов вмещающих пород обнаружены единичные включения гранатовых серпентинитов и кристаллических сланцев фундамента.

Жильные кимберлиты по химическому составу значительно отличаются от кимберлитов трубки (табл. 18, 19). Они сильно карбонизированы и содержат много CaO и CO₂ и мало SiO₂ и MgO. С проявлением сульфидизации и отложением гипса связано повышенное содержание в жильном кимберлите серы. Одной из существенных особенностей химического состава жильных кимберлитов является повышенное содержание TiO₂, которое в два раза выше, чем в кимберлитовых породах трубки. Несмотря на повышенное содержание в жильном кимберлите флогопита, содержание K₂O в породе невысокое. Это связано с хлоритизацией флогопита, сопровождающейся выносом кальция.

Содержание глубинных минералов кимберлитовых жил по данным обработки протолочных проб следующее: пироп и хромита в жилах больше, чем в кимберлитовых брекчиях юго-западного тела и кимберлитовых туфах, а в жиле № 1 больше, чем в брекчиях северо-восточного

Таблица 19.

Средний химический состав (%) кимберлитовых пород.
По данным А.Д. Харьковца

| Компоненты | Жила Мир | Трубка Мир | Жила № 1—III | Трубка № 1 | Жила трубки № 4 | Трубка № 4 | Дайка А-21 | Жилы трубки Айхал | | | Трубка Айхал |
|--------------------------------|-------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|-------------------|---------|---------|-----------------|
| | | | | | | | | № 1 | № 2 | № 3 | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| SiO ₂ | 4,28 | 34,63 | 6,52 | 34,38 | 5,52 | 37,40 | 12,70 | 5,26 | 14,70 | 18,66 | 22,94 |
| TiO ₂ | 2,10 | 1,39 | 2,18 | 0,37 | 0,80 | 1,37 | 2,48 | 0,7 | 0,69 | 0,65 | 0,32 |
| Al ₂ O ₃ | 1,82 | 2,43 | 1,91 | 3,98 | 1,99 | 5,76 | 2,25 | 2,05 | 2,54 | 2,31 | 3,35 |
| Cr ₂ O ₃ | Не опр. | 0,12 | 0,28 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,30 | 0,24 | 0,16 | 0,07 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,87 | 5,91 | 1,21 | 3,69 | 1,51 | 4,31 | 3,66 | 4,66 | 4,47 | 4,59 | 3,43 |
| FeO | 0,89 | 2,80 | 2,51 | 1,77 | 2,08 | 3,02 | 2,36 | 0,43 | 0,50 | 0,61 | 0,98 |
| MnO | 0,15 | 0,10 | 0,08 | 0,12 | 0,31 | 0,09 | 0,13 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | 0,06 |
| NiO | Не опр. | 0,12 | Не опр. | 0,088 | 0,027 | 0,06 | 0,04 | 0,82 | 0,091 | 0,07 | 0,05 |
| CoO | " | Не опр. | " | 0,008 | 0,004 | Не опр. | Не опр. | 0,078 | 0,0086 | 0,01 | 0,007 |
| MgO | 5,80 | 28,68 | 4,81 | 17,83 | 3,18 | 18,70 | 10,24 | 3,70 | 10,10 | 14,35 | 17,39 |
| CaO | 38,60 | 5,40 | 42,96 | 14,22 | 44,72 | 9,45 | 34,12 | 44,25 | 33,0 | 27,80 | 21,60 |
| K ₂ O | 0,28 | 0,38 | 0,12 | 0,84 | 0,23 | 0,57 | 0,48 | 0,22 | 0,57 | 0,36 | 0,68 |
| Na ₂ O | 0,14 | 0,19 | 0,13 | 0,16 | 0,25 | 0,16 | 0,26 | 0,30 | 0,26 | 0,25 | 0,23 |
| P ₂ O ₅ | 1,20 | 0,23 | 1,31 | 0,38 | 1,03 | 0,32 | 0,83 | 0,24 | 1,02 | 0,89 | 0,31 |
| Fe _{общ} | Не опр. | Не опр. | 0,06 | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | 0,49 |
| SO ₃ | 4,36 | 0,07 | Не опр. | 0,03 | 0,08 | 0,15 | 0,44 | Сл. | 0,10 | 0,10 | Не опр. |
| CO ₂ | 30,30 | 6,03 | 29,92 | 11,28 | 36,06 | 7,79 | 27,24 | 27,10 | 26,0 | 21,40 | 20,21 |
| H ₂ O | Не опр. | — | 0,60 | 5,14 | 0,86 | 3,25 | 0,52 | 1,22 | 1,87 | 1,85 | 1,82 |
| П.п.п. | 4,32 | 11,69 | 4,80 | 5,45 | 0,99 | 0,09 | 2,20 | 8,95 | 3,35 | 5,43 | 6,11 |
| Σ | 99,11 | 100,17 | 99,40 | 99,84 | 99,73 | 92,59 | 100,74 | 99,60 | 99,60 | 99,57 | 100,05 |

тела. В то же время количество этих минералов в разных жилах варьирует. В жилах по сравнению с трубкой чаще встречается пикроильменит. Для жильных кимберлитов по сравнению с породами трубки характерно повышенное содержание минералов — спутников алмаза, что является общей закономерностью жильных кимберлитов.

Из других минералов отметим в жиле № 3 повышенное количество барита, присутствие в жиле № 2 хромдиоксида, в жиле № 4 на глубине 410 м — сфалерита.

Гранаты жильных кимберлитов характеризуются широким диапазоном состава, особенно по содержанию хрома: от высокохромистых кноррингитсодержащих до низкохромистых, иногда с повышенным количеством железа. Об этом свидетельствуют окраска минерала, зависящая от содержания различных хромофоров, и значительные колебания показателя преломления (1,738—1,802). В кимберлитовых жилах, как и в трубке, А.Д. Харькиным установлены пиропы зеленого цвета, содержащие повышенное количество уваровитового компонента.

Состав хромшпинелидов также варьирует. Об этом свидетельствуют результаты исследования этого минерала на рентгеновском микроанализаторе из кимберлитов трубки. Состав валовой пробы хромшпинелида из жилы показал повышенную хромистость по сравнению с составом хромшпинелида из трубки (содержание Cr_2O_3 в хромшпинелиде жилы равно 49,96 %, трубки — 42,06 %).

Жильные тела, вскрытые карьером, характеризуются высокой алмазоносностью. Об этом свидетельствует извлечение из пробы кимберлита жилы № 1 массой 12 кг более 10 мелких кристаллов алмаза. Единичные алмазы были обнаружены в протолочных пробах из других жил. Жилы, вскрытые скважинами на глубине, не опробовались.

Учитывая состав кимберлитов и их текстурно-структурные особенности, есть основания разделить кимберлитовые жилы трубки Айхал на дотрубочные и послетрубочные. Возможно, некоторые из вскрытых на глубине жильных тел образовались одновременно с трубкой.

К дотрубочным жилам следует отнести все тела, вскрытые эксплуатационным карьером на современном эрозионном срезе. Кимберлит жилы, подсеченной скважиной на глубине 127 м, по-видимому, образован более поздними дифференциатами кимберлитового расплава, обогащенными щелочами и железом.

Дотрубочные жильные кимберлиты отличаются от основных типов кимберлитов трубки повышенным содержанием минералов — спутников алмаза, флогопита и апатита, более частой встречаемостью пикроильменита. Характерной является флюидальная структура кимберлита жил № 2 и 3, а также некоторых других.

Дайки севера Якутской провинции

Кимберлитовые дайки северных районов Якутской провинции изучены слабее даек Мало-Ботуобинского и Далдыно-Алакитского районов. Они вскрыты относительно небольшим количеством горных выработок,

некоторые оконтурены. Поэтому трудно выделить особенности, присущие самостоятельным дайкам и дайкам, сопряженным с кимберлитовыми трубками, и они описываются совместно по имеющимся к настоящему времени данным.

Верхне-Мунский район

В Верхне-Мунском районе кимберлитовые дайки расположены в бассейне р. Муна и ее правого притока р. Улаах-Муна. Геологическое строение района определяется его приуроченностью к юго-восточному склону Анабарской антеклизы, сложенному карбонатными, глинисто-карбонатными породами среднего — верхнего кембрия и ордовика.

В виде небольших пятен, фиксируемых магнитной съемкой, встречаются своеобразные "железистые конгломераты", содержащие алмазы и минералы-спутники. Возраст их датируется ранней юрой.

За пределами кимберлитового поля развиты дайки долеритов, приуроченные к разломам северо-западного и северо-восточного простирания. И.М. и В.И. Осташкиными при дешифрировании космических снимков выявлена густая сеть разломов, образующих единую зону северо-западного простирания шириной 7—9 км. Эта зона трассируется далеко за пределы Верхне-Мунского поля. Все кимберлитовые тела четко ложатся на разломы этой зоны и имеют удлинение, согласное с простиранием последней. В пределах Верхне-Мунского кимберлитового поля помимо трубчатых тел известны три дайки.

Средне-Оленекский район

Средне-Оленекский алмазоносный район охватывает территорию бассейна среднего течения р. Оленек от устья Биректе до впадения р. Силигир. В структурном отношении он располагается на восточном склоне Анабарской антеклизы в пределах Суханского прогиба, сложенного кембрийскими отложениями. Только на юго-востоке района сохранились реликты юрских пород. Они перекрывают кимберлитовую трубку Аэрогеологическая и содержат алмазы и минералы-спутники.

Магматические породы представлены многочисленными трубчатыми телами, дайками, жилами кимберлитов, редкими дайками долеритов. По новым данным Ф.Ф. Брахфогеля и др. [3] и Д.И. Саврасова [12], долериты относятся к среднепалеозойскому возрасту.

Анализ структурно-тектонических условий локализации кимберлитовых тел, прорывающих породы верхнего кембрия, позволил пересмотреть сделанные ранее выводы о сравнительно молодом, мезозойском возрасте трубок района и обосновать заключение о наиболее вероятном интервале их формирования — в конце девона — начале карбона [3]. Этот вывод согласуется с данными, полученными по соотношению изотопов свинца и урана в цирконах из трубки Рассвет (344,1 млн. лет) Чо-мурдахского поля, но результаты датировок для некоторых других полей свидетельствуют о позднесилурийском возрасте части трубок.

В районе широко распространены разрывные нарушения северо-восточного простирания, менее выражены разрывы северо-западного и

других направлений. Зона разломов прослежена в междуречье Унукит — Омонос в северо-восточном направлении на ширину 50 км. К ней приурочены кимберлиты Омонос-Кутугунского и Нижне-Унукитского кимберлитовых полей. Большинство трубочных тел вытянуто длинными осями вдоль северо-восточных разломов, только две трубки — на северо-запад. Дайки и жилы образуют прерывистые цепочки и простираются в северо-восточном направлении. Вдоль юго-восточной границы района геологами объединения "Севморгео" выделяется вторая зона глубинных разломов северо-восточного простирания. Эта зона также фиксируется линейным расположением тел и ориентировкой их длинных осей на северо-восток. Вдоль зоны расположены Чомурдахское и Верхне-Моторчунское кимберлитовые поля.

Внедрение кимберлитов произошло главным образом по разломам этих двух зон. Только редкие тела приурочены к разрывам северо-западного простирания или к местам их пересечения с разломами северо-восточного направления. К настоящему времени в Средне-Оленекском районе найдено большое количество кимберлитовых тел, из них 51 представлено дайками. Средне-Оленекский район принято делить на четыре кимберлитовых поля: Чомурдахское, Омонос-Кутугунское, Верхне-Моторчунское и Нижне-Унукитское.

Чомурдахское кимберлитовое поле расположено в южной части рассматриваемого района. Здесь установлено шесть даек. Дайки и длинные оси трубок ориентированы в северо-восточном направлении.

Омонос-Кутугунское поле — одно из наиболее насыщенных кимберлитовыми трубками и дайками: количество даек 35. Это единственное кимберлитовое поле провинции, где дайки преобладают над трубками. Дайки, а также многие трубки ориентированы в северо-восточном направлении.

В пределах Верхне-Моторчунского поля известны только трубки, а в пределах Нижне-Унукитского кроме трубок имеется 10 даек. В последнем поле некоторые трубки располагаются цепочкой северо-восточного направления, ориентировка даек и длинных осей трубок также северо-восточная.

Дайка Унукит-1 находится на левом берегу р. Унукит*. Она сечет горизонтально залегающие карбонатные породы верхнего кембрия; обнажается на склоне долины р. Унукит на протяжении 75,8 м. Мощность дайки от 1,1 до 0,6 м. В северном контакте отмечается 10-сантиметровая зона буровато-зеленого глинистого вещества с прожилками поречно-волокнутого кальцита. Далее по направлению к экзоконтакту следует небольшая зона дробления карбонатных пород, также с многочисленными прожилками поперечно-волокнутого кальцита, ориентированными параллельно контакту.

Дайка Унукит-2 находится на правом берегу р. Унукит. На дневной поверхности она образует обнажение мощностью 35—40 см и простира-

* Описание даек приведено по материалам геологов Якутского ПГО и В.В. Ковальского.

нием 1,7 м. Выше по течению реки в 200—250 м от кимберлитовой дайки Унукит-2 в средней части берегового склона расчистками вскрыт делювий кимберлита, который прослежен на протяжении 70 м. Мощность кимберлитовой дайки, судя по делювиальным развалам, не превышает 15—30 см.

Единичными горными выработками при проверке геофизических аномалий вскрыта большая группа дайковых тел. В большинстве случаев обнаруженные тела не оконтуривались, и сведения об их мощностях и особенностях строения фрагментарны. В связи с этим судить о форме и размерах кимберлитовых тел приходится по данным магнитных аномалий. Практика геологоразведочных работ показывает, что контуры магнитных аномалий обычно значительно превышают истинные размеры аномалиеобразующих кимберлитовых тел. Максимальная мощность кимберлитовых даек не превышает 3 м. Дайка Сопка находится на правом берегу р. Сопка левого притока р. Оленек. Вмещающие породы — глинисто-карбонатные средне-верхнекембрийские отложения. Магнитометрической съемкой здесь обнаружена серия линейных аномалий, обязанных своим происхождением кимберлитовым жилам. Простираение аномалий северо-восточное, приурочены они к зоне разрывных нарушений и прослежены на 300—400 м. Близ контакта вмещающие известняки слабо приподняты, а в кимберлите проявляются редкие прожилки кальцита, ориентированные вдоль контакта. Мощность всей контактовой зоны не превышает 25—30 см.

Дайка Горняцкая расположена в русле ключа Чуостах. Судя по расчисткам, мощность ее 20—25 см. Развалы кимберлита прослежены по простираению на 80 см. Вмещающие породы — карбонатные отложения среднего — верхнего кембрия.

Дайка Лекес расположена в бассейне одноименного ручья, правого притока р. Унукит. Обнаружена при проверке магнитной аномалии, простирающейся по азимуту 35° и прослеженной на 400 м. Ширина аномальной зоны 4 м, а мощность дайки не превышает 0,5 см. Вмещающие породы — известняки верхнего кембрия. В приконтактной зоне отмечаются многочисленные мелкие карбонатные прожилки. Известняки падают под углом 10° по обе стороны от кимберлитового тела.

Дайка Эгиентей находится в истоках р. Эгиентей-Очуостааси. Магнитометрической съемкой здесь выявлены две рядом расположенные аномалии размером 40×40 и 40×20 м, одна из которых вскрыта горными выработками. Отметим, что кимберлитовая жила Эгиентей и трубка того же названия пространственно совмещены, причем трубка сформировалась позже жилы и прорвала ее. Вмещающие породы — карбонатные отложения среднего — верхнего кембрия.

Кимберлитовые дайки руч. Тройного располагаются по долине ручья, правого притока р. Кэпэс-Очуостаага (бассейн р. Омонос). Здесь обнаружено пять линейных магнитных аномалий. Четыре аномалии находятся примерно на одной линии длиной 250 м, простирающейся по азимуту 20° , одна аномалия отмечена в 700 м к юго-западу от центра этой линии. Судя по конфигурации аномалий, протяжение кимберлитовых тел небольшое (от 5—17 до 95 м) и они не соединяются между собой. Две

аномалии проверены горными выработками, вскрывшими маломощные (0,4–0,45 м) кимберлитовые дайки. Вмещающие породы — известняки верхнего кембрия. Как в эндо-, так и в экзоконтакте наблюдаются прожилки поперечно-волокнистого кальцита мощностью от 0,1 до 1 см. Породы, слагающие дайки, в приповерхностной части представлены темно-зеленой глинистой массой.

К верховьям руч. Кривого, правого притока р. Эггентей-Очуостаа-си, приурочены кимберлитовые дайки. Они обнаружены при магнитометрических работах. Две аномалии северо-восточного простирания (45°) вытягиваются параллельно друг другу на 800 и 500 м. Одна из аномалий обусловлена кимберлитовой дайкой мощностью 0,5 м, залегающей в верхнекембрийских известняках. В зоне контакта наблюдаются маломощные прожилки бело-розового кальцита, идущие параллельно контактам. В кимберлитовом теле вблизи контакта проходит зона ожелезненной породы мощностью около 1 см с многочисленными зеркалами скольжения.

Нижне-Оленекский район

Нижне-Оленекский район находится в нижнем течении р. Оленек и охватывает бассейны его притоков рек Беечиме, Куойка, нижнее течение р. Мерчимден. Геолого-структурная обстановка района определяется его положением в зоне сочленения северо-восточной зоны Анабарской антеклизы с Лено-Анабарским краевым прогибом.

На рассматриваемой территории распространены верхнепротерозойские, кембрийские, пермские, юрские осадочные породы, траппы и кимберлиты. Алмазы и их минералы-спутники отмечены в базальных горизонтах перми и нижней юры.

Магматические породы представлены силлами, неправильными секущими интрузиями, дайками долеритов, трубками, дайками и жилами кимберлитов. Возраст пород трапповой формации раннетриасовый. Некоторые дайки долеритов, по данным Г.Г. Камышевой и Д.И. Саврасова [12], отличаются по составу и палеомагнитным свойствам и являются более древними, вероятно, среднепалеозойскими (?). Возраст кимберлитовых пород бассейнов рек Куойка и Беечиме по найденным в кимберлитах трубки включениям белемнита определяется как позднеюрский — раннемеловой. Судя по присутствию алмазов и парагенетических минералов-спутников в нижнеюрских и пермских отложениях, в районе, возможно, есть более древние кимберлитовые тела. Позднеюрский возраст кимберлитов установлен также по соотношению изотопов урана и свинца в цирконах (трубки: Токур — 151,2 млн. лет, Муза — 150,9 млн. лет, Ирина — 149,3 млн. лет. Данные получены в США В.С. Соболевым).

Для района характерны разрывные нарушения, большинство из которых имеет северо-западное простирание и относится к Молодо-Попи-гайской зоне глубинных разломов. Широко распространены разломы северо-восточного простирания, реже субширотного и субмеридионального. Разломы фиксируются вертикальными смещениями блоков, расположением трапповых и кимберлитовых тел.

Кимберлитовые тела группируются в двух кимберлитовых полях: Беенчима-Куойкском и Мерчимденском, расположенных в бассейнах одноименных рек. Ориентировка длинных осей большинства кимберлитовых трубок и простираение даек на северо-запад. Мерчимденском поле часть тел имеет северо-западное простираение, а часть (6 из 34) северо-восточную, субширотную и субмеридиональную ориентировку.

В Нижне-Оленекском районе известно 9 даек. Мощность их от 0,15 до 15 м. Беенчима-Куойкское поле включает четыре дайки — Монтичеллитовую, № 1, 2, жилу Зеленая.

Мерчимденское кимберлитовое поле расположено в бассейне нижнего течения р. Мерчимден. В настоящее время здесь открыто несколько кимберлитовых тел, из которых четыре дайки.

Дайка Монтичеллитовая расположена на левом берегу руч. Хас-Терютах, левого притока р. Оленёк. Она обнажается в крупноглыбовом делювиальном развале на крутом (до 45°) склоне и прослеживается на протяжении 250—300 м, мощность кимберлитового тела 2—3 м. Взаимоотношения с вмещающими породами — доломитами туркутской свиты верхнего протерозоя не выяснены.

Дайка Великан находится на левом берегу р. Куойка, в 5 км от устья. В нижней части крутого склона она образует скальное обнажение высотой до 15 м и мощностью 1,5—1,6 м. Вверх по склону в 100 и 150 м расположены еще два выхода этого тела на дневную поверхность.

Северо-западный контакт дайки с доломитами четкий извилистый; экзоконтактовая зона мощностью 10—15 см сложена плотными кимберлитами черного цвета. В непосредственном контакте доломиты слабо метаморфизованы, имеют серый цвет. Кимберлиты, слагающие дайку, обладают четко выраженной плитчатой отдельностью. Порода рассечена многочисленными трещинами, имеющими вертикальное падение.

Приленский район

Приленский алмазоносный район охватывает бассейны рек Молодо, Сянгюде, Буор-Экит, нижних течений рек Моторчуна, Муна. Он приурочен к области сочленения северо-восточного склона Анабарской антеклизы с приплатформенной частью Приверхоаянского краевого прогиба и простирается вдоль их границы.

В геологическом строении территории участвуют верхнепротерозойские, кембрийские, каменноугольные, пермские, юрские, меловые, палеогеновые и четвертичные породы. Алмазы и их минералы-спутники встречены в грубообломочных отложениях нижнего карбона, перми, юры и более молодых образованиях.

Магматические образования района представлены породами трапповой формации и кимберлитами. Долериты, долеритовые порфириды слагают sill, неправильные секущие интрузии, дайки в северной части района в пределах Молодо-Поигайской зоны разломов. Дайки долеритов встречаются и на остальной части района. Они имеют преимущественно северо-западное, реже северо-восточное, субмеридиональное простираение. Возраст пород трапповой формации нижнетриасовый.

Кимберлитовые породы слагают трубки и дайки, пространственно тяготеющие к полю развития траппов, очевидно подчеркивая их связь с одними зонами разломов, в частности с Молодо-Попигайской зоной.

Для большинства кимберлитовых тел точно установлен триас-раннелейасовый возраст. По данным В.Ф. Кривоноса, одиннадцать тел прорывают пермские песчаники и траппы. Кимберлиты трех других тел содержат включения верхнепалеозойских песчаников, обломков обугленной древесины, туфов, траппов. В отложениях плинсбаха присутствуют продукты размыва кимберлитовых пород, в частности алмазы и минералы-спутники.

Определение возраста внедрения кимберлитов по соотношению изотопов урана и свинца в цирконах показало следующие цифры: 159,3 156,2 млн. лет, что соответствует верхней юре [16].

Кроме кимберлитов триас-юрского возраста в районе есть более древние (среднепалеозойские) кимберлитовые тела. Об этом свидетельствуют находки В.Ф. Кривоноса минералов-спутников алмаза в пермских отложениях и базальных конгломератах нижнего кембрия.

Среди пород ранне- и позднепалеозойского возраста широко распространены разрывные нарушения. Наиболее интенсивно они проявились в северной части района в пределах Молодо-Попигайской зоны: глубинных разломов северо-западного простирания. Менее распространены разломы северо-восточного, субмеридионального простирания. Субмеридиональная зона разломов намечается вдоль окраины Приверхоянского прогиба. Нижне-верхнепалеозойские породы разбиты на блоки. Разломы фиксируются интрузиями долеритов и ориентированным расположением кимберлитовых тел. Кимберлитовые тела группируются в одном Молодинском поле. На западе в верховьях р. Молодо большинство кимберлитовых тел располагается линейно вдоль разломов северо-восточного простирания. Ориентировка длинных осей всех трубок и простирание кимберлитовых даек, жил также северо-восточное. В восточной части кимберлитового поля в верховьях рек Толуопка, Тиит-Юрагэ кимберлитовые трубки и жилы располагаются в полосе северо-западного направления. Из известных здесь кимберлитовых тел только жила Оксе имеет северо-восточное простирание. Простирание длинных осей всех трубок и жилы Улыбка северо-западное.

Очевидно, что кимберлитовые породы проявились по разломам северо-западного и северо-восточного простирания.

В Приленском районе в настоящее время известно шесть даек (Алдыкан, Снежная, Апатитовая, Одиночка, Улыбка, Оксе). Кимберлитовые жилы и дайки прослеживаются до нескольких сотен метров.

Куонамский район

Куонамский алмазоносный район занимает территорию части бассейнов рек Большая и Малая Куонамка выше их слияния. Он простирается в северо-западном, субмеридиональном направлении, следуя вдоль восточ-

ной границы Анабарского массива, и охватывает зону сопряжения пород фундамента с осадочным чехлом.

На западе территории в пределах Анабарского массива распространены породы архейского метаморфического комплекса. Платформенные образования восточного склона Анабарского массива представлены отложениями рифея и кембрия. На размытой поверхности кембрия известны реликты юрских, меловых и более молодых отложений.

Магматические породы района представлены в основном дайками долеритов, предположительно кимберлитовыми и карбонатитовыми трубками, а также дайками и жилами кимберлитов. В последние годы М.С. Машак выделил и изучил в пределах южной части Анабарского массива комплекс даек базитовых пород рифейского возраста. На западе района, в пределах Анабарского массива, обнажаются интрузии пироксенитов, перидотитов, гранитов, дайки диабазов архейского и протерозойского возраста. Кимберлитовые тела располагаются в пределах полосы шириной до 40 км и длиной более 130 км.

Возраст кимберлитовых пород района точно не установлен. Некоторые кимберлитовые тела (Полярная, Незабудка, Мачала) содержат ксенолиты траппов, точный возраст которых установить невозможно. Возраст кимберлитов трубки Майская, по данным Н.Н. Сарсадских, равен 246 ± 10 млн. лет. На соседних с районом территориях нижнеюрские отложения алмазоносны. Кимберлитовые породы подвержены редкоземельной минерализации, связанной с проявлением карбонатитов, что свидетельствует о более позднем возрасте последних. В ряде карбонатитовых тел встречены обломки углефицированной древесины, которая известна с низов юры до нижнего мела включительно. Отмечаются также минералы, характерные для меловых отложений. Таким образом, верхняя возрастная граница карбонатитов — поздний мел.

Более конкретные данные о времени формирования кимберлитов имеются для Лучаканского поля. Здесь расположена трубка Поздняя, возраст которой, установленный по циркону, равен 217,4 млн. лет, что соответствует пермо-триасу. Возраст кимберлитовых цирконов из аллювия ближайших рек колеблется от 219,9 до 233,4 млн. лет., т.е. также пермо-триасовый. Таким образом, есть основание считать, что значительная часть кимберлитовых тел Куонамского района образовалась в позднепалеозойское время.

В пределах осадочного чехла распространены разрывы северо-западного, реже субширотного и северо-восточного простирания, по которым наблюдаются дайки и жилы долеритов и кимберлитов.

Вдоль восточной и юго-восточной границ кристаллического массива в северо-западном, субмеридиональном направлении через весь район прослеживается зона глубинных разломов. В осадочном чехле эта зона фиксируется линейно вытянутыми магнитными аномалиями и подчеркивается расположением кимберлитовых и карбонатитовых тел.

Зона проявления кимберлитовых пород в Куонамском районе протягивается от верховий р. Малая, Куонамка на юге до истоков р. Орто-

Ирыгах (левый приток р. Старая) на севере на 300 км, ширина 25—40 км. По данным А.А. Панкратова, Е.Д. Черного [17], форма ее дугообразная, выпуклая сторона обращена к Анабарскому массиву и фактически повторяет очертания его границы. В зоне проявления кимберлитовых пород, в частности на севере района, распространены трубчатые тела карбонатизированных взрывчатых брекчий.

В настоящее время в районе найден целый ряд кимберлитовых тел, группирующихся в 5 кимберлитовых полях (с севера на юг): Нижне-Куонамское, Средне-Куонамское, Дьюкенское, Лучаканское, Куранахское.

Нижне-Куонамское кимберлитовое поле охватывает часть бассейнов рек Старая, Ырга и Орто-Ирыгах. Здесь обнаружена одна дайка. Кроме того, в пределах поля широко развиты карбонатитовые тела. В Средне-Куонамское кимберлитовое поле входят кимберлитовые тела бассейна нижнего и среднего течения р. Большая Куонамка. Среди известных тел трубчатой и линзовидной (сплюснуто-трубчатой) формы имеется одна дайка. Дьюкенское кимберлитовое поле охватывает территорию бассейна р. Дьюкен и частично водораздел рек Дьюкен, Малая Куонамка. Здесь найдены две дайки. В бассейне р. Лучакан (правый приток р. Малая Куонамка) установлены три дайки. В Куранахское кимберлитовое поле объединяются несколько трубчатых линзовидных тел и две дайки кимберлитов. Расположены они в бассейнах рек Куранах, Сенкю, в верховьях р. Малая Куонамка.

По данным В.В. Ковальского, дайка Бета расположена в разрезе правого берега р. Ары-Мастаха, левого притока р. Большая Куонамка. Вмещающими являются терригенно-карбонатные породы мукунской свиты верхнего протерозоя. Судя по наличию кимберлитов с малым содержанием слюды и высокослюдистой разности, взаимоотношения между которыми не выяснены, можно предполагать, что в данном случае мы имеем дело с двумя телами.

Дайка Альфа расположена в разрезе правого берега р. Ары-Мастаха. На склоне долины одним шурфом вскрыта слюдистая кимберлитовая порода, не содержащая ксенолитов. Форма и размеры тела не выяснены, однако по петрографо-минералогическим и структурным особенностям породы она относится к даечному типу.

Дайка Виктория находится на правом берегу р. Куота (правый приток р. Большая Куонамка). Здесь вскрыты кимберлитовая брекчия и порфиновый кимберлит, что, по-видимому, связано с наличием трубки взрыва и дайки. Вмещающими породами служат глинисто-карбонатные отложения билляхской свиты верхнего протерозоя.

Дайка Спортивная находится на правом берегу р. Большая Куонамка, в 7 км ниже р. Мачалы. Мощность тела 2—2,5 м. Вмещающие породы — глинистые известняки билляхской свиты. Дайка сложена порфиновым кимберлитом. Как в эндо-, так и в экзоконтакте наблюдаются тонкие (2 мм) прожилки поперечно-волокнистого кальцита, расположенного параллельно контакту тела.

Дайка Случайная находится в бассейне р. Малая Куонамка, на левом

Таблица 20

Параметры интрузивных кимберлитовых тел Якутской алмазоносной провинции.
По данным В.В. Ковальского.

| Кимберлитовые тела | Возраст вмещающих пород | Мощность, м | Угол падения, градус | Азимут простирания, градус |
|----------------------|---------------------------------|-------------|----------------------|----------------------------|
| Бета | Pr ₃ | Не уст. | — | — |
| Альфа | Pr ₃ | " | — | — |
| Монтичелли- товая | Pr ₃ | 2-3 | 90 | 40 |
| Виктория | Pr ₃ | Не уст. | — | 0-10 |
| Спортивная | Pr ₃ -E ₁ | 2-2,5 | 85-90 | 58 |
| Великан | Pr ₃ -E ₁ | 1,5-1,7 | 90 | 90 |
| Оригинальное | Pr ₃ -E ₁ | Не уст. | 90 | 90 |
| Безымянное | E ₁ | То же | — | — |
| Горбатая | E ₁ | " | — | — |
| Каппа | E ₁ | " | — | — |
| Случайное | E ₁ -E ₂ | Не уст. | 90 | 90 |
| Улахан-Лучакан | E ₂ | 0,5 | 75-80 | 340 |
| Сопка | E ₂ -E ₃ | 0,6-2 | 90 | 25-30 |
| Горняцкая | E ₂ -E ₃ | 0,5 | — | — |
| Эгиптей | E ₃ | Не уст. | 60 | — |
| Руч. Тройного | E ₃ | 0,4-0,45 | 45-52 | 20 |
| Руч. Кривого | E ₃ | 0,5 | 90 | 45 |
| Унукит-1 | E ₃ | 0,5-1,3 | 65-70 | 70 |
| Унукит | E ₃ | 0,35-0,4 | 85-90 | 50-55 |
| Лекес | E ₃ | 0,5 | 90 | 35 |
| Малая Кутугуна | E ₃ | 0,5 | — | C-B |
| Хайыргастах | E ₃ | 0,3 | 90 | 20 |

берегу руч. Горбатого (правый приток р. Дама-Лычхан) в 2 км от его устья. Вмещающими являются карбонатные отложения ниже-среднекембрийского возраста.

Группа тел Улахан-Лучакан находится в районе большой петли р. Улахан-Лучакан. Вмещающие среднекембрийские известняки в этом участке смяты в антиклиналь северо-западного простирания (340°). Размах крыльев складки 30-40 м. Угол падения пород на северо-восточном крыле 10°, на юго-западном 15°. На правом берегу р. Улахан-Лучакан в сводовой части этой складки обнаружен коренной выход кимберлитовой дайки видимой мощностью 0,5 м. Дайка протягивается в направлении с юго-востока на северо-запад согласно с направлением трещиноватости известняков. В 200-250 м по этой линии, к юго-востоку, в сводовой части той же складки канавой вскрыты 7 мелких кимберлитовых даек мощностью 5-7 см каждая. Простирание их также согласно направлению трещиноватости известняков; падение северо-восточное под углом 75-80°.

В 2 км северо-западнее дайки установлены две линейные магнитные аномалии того же простирания, расположенные в 30-40 м одна от другой, мощностью 1-2 м. На одном из тел магнитометрической съемкой выявлены два расширения мощностью 3,5-4 м. В зоне контакта с вме-

Таблица 21

Угол оптических осей и железистость оливинов из интрузивных кимберлитов.
По данным В.В. Ковальского.

| Кимберлитовые тела | Размеры, мм | 2V | Fe, % |
|--------------------|-------------|--------|-------|
| Оригинальное | -2 | +88 | 7 |
| " | 2 | +89 | 9 |
| " | | +89 | 9 |
| Случайное | 2 | +89 | 9 |
| Спортивная | 0,4 | +89-90 | 9-11 |
| " | 5 | +88-90 | 7-11 |
| " | 3 | -88-90 | 11-16 |
| " | 10 | 90 | 11 |
| Капша | 0,9x0,2 | -87 | 19 |
| " | 0,5x0,3 | +87-88 | 4-7 |
| " | 0,1x0,1 | +88 | 7 |
| Бета | 0,9x0,8 | +89 | 9 |
| " | 0,4x0,4 | +89 | 9 |
| " | 0,2x0,6 | +90 | 11 |
| " | 0,22x0,10 | +88-89 | 7-8 |
| Виктория | 1 | -87-88 | 16-19 |
| " | 0,15x0,10 | +88 | 9 |
| " | 2 | +89-90 | 9-11 |
| Монтчел-литовая | 2x2 | +86 | 1 |
| " | 1,4 | +86 | 1 |
| " | 15x12 | +88 | 7 |

Таблица 22

Химический состав (%) разноокрашенных оливинов из интрузивных кимберлитов.
По данным В.В. Ковальского.

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------------|----------------|---------------|----------------|---------|---------------|----------------|---------|
| | Светло-зеленый | Желто-зеленый | Светло-зеленый | | Желто-зеленый | Светло-зеленый | |
| SiO ₂ | 41,24 | 41,08 | 40,10 | 40,60 | 37,05 | 40,00 | 39,88 |
| TiO ₂ | He обн. | 0,15 | Сл. | He обн. | - | 0,04 | He обн. |
| Cr ₂ O ₃ | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | - | 0,03 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | 0,39 | 0,22 | 0,87 | 1,39 | 1,02 | 0,29 | 0,52 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,91 | 2,42 | 1,42 | 1,26 | 0,35 | 2,12 | 2,14 |
| FeO | 6,99 | 7,17 | 10,21 | 10,06 | 14,49 | 9,66 | 9,27 |
| MnO | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,09 | - | 0,11 | 0,11 |
| NiO | 0,37 | 0,30 | 0,24 | 0,25 | - | 0,13 | 0,12 |
| CoO | 0,017 | 0,018 | 0,02 | 0,02 | - | 0,01 | 0,11 |
| MgO | 50,53 | 48,64 | 45,24 | 45,36 | 44,00 | 47,41 | 48,33 |

Продолжение табл. 22.

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|
| CaO | Не обн. | Не обн. | 0,26 | 0,28 | 0,56 | 0,12 | 0,12 |
| H ₂ O ⁺ | 0,02 | 0,04 | 0,35 | 0,11 | — | — | — |
| P ₂ O ₅ | 0,04 | 0,03 | 0,07 | 0,05 | — | 0,01 | 0,02 |
| CO ₂ | — | — | Не обн. | 0,05 | — | — | — |
| SO ₃ | — | — | 0,41 | Не обн. | — | — | — |
| Σ | 100,65 | 100,21 | 99,31 | 99,64 | 97,47 | 99,93 | 100,65 |

Примечание. Трубки: 1, 2 — Великан; 3, 4, 5 — Монтчеллитовая; кимберлитовые тела: 6 — Оригинальное, 7 — Случайное.

Таблица 23

Химический состав (%) контактово-карбонатных пород и интрузивного кимберлита жилы Великан.

По данным В.В. Ковальского

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | 40* | 30 | 20 | 0—10 | 20 | 60 |
| SiO ₂ | 1,20 | 0,96 | 1,33 | 21,34 | 23,16 | 22,10 |
| TiO ₂ | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 3,26 | 2,55 | 3,00 |
| Al ₂ O ₃ | 0,42 | 0,35 | 0,28 | 3,78 | 4,92 | 4,54 |
| Cr ₂ O ₃ | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 0,05 | 0,03 | 0,05 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,37 | 0,27 | 0,44 | 10,00 | 5,19 | 7,65 |
| FeO | 0,30 | 0,30 | 0,14 | 2,74 | 3,57 | 3,70 |
| MnO | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 0,10 | 0,16 | 0,17 |
| NiO | Не опр. | Не опр. | Не опр. | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| CoO | ” | ” | ” | Не обн. | Сл. | Сл. |
| MgO | 17,75 | 18,58 | 8,86 | 20,62 | 21,96 | 21,89 |
| CaO | 32,32 | 32,50 | 42,24 | 16,00 | 16,85 | 15,66 |
| BaO | Не опр. | Не опр. | Не опр. | Сл. | Сл. | Сл. |
| Na ₂ O | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,27 | 0,22 | 0,23 |
| K ₂ O | 0,22 | 0,22 | 0,12 | 0,59 | 1,33 | 0,73 |
| P ₂ O ₅ | Сл. | Сл. | Сл. | 0,008 | 0,39 | 0,09 |
| SO ₃ | Не опр. | Не опр. | Не опр. | — | — | — |
| CO ₂ | 46,02 | 45,44 | 42,57 | 12,34 | 12,22 | 11,62 |
| H ₂ O ⁺ | 1,11 | 0,78 | 2,48 | 7,45 | 7,13 | 7,77 |
| F | 0,14 | 0,13 | 0,30 | 0,49 | 0,30 | 0,34 |
| П.п.п. | Не опр. | Не опр. | Не опр. | 1,12 | Не обн. | 0,21 |
| Σ | 99,92 | 99,60 | 99,83 | 100,20 | 100,01 | 99,80 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,05 | 0,05 | 0,12 | 0,21 | 0,12 | 0,14 |
| Σ | 99,87 | 99,55 | 99,71 | 99,99 | 99,89 | 99,66 |
| H ₂ O ⁻ | 0,20 | 0,76 | 0,52 | 1,92 | 0,96 | 0,64 |

Примечание. 1—3 — вмещающие породы; 4—6 — кимберлит. Аналитик З.Ф. Паринава (химическая лаборатория ИГЯФ СО АН СССР).

* Расстояние от контакта, см.

Таблица 24

Средний химический состав (%) интрузивных кимберлитов

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 29,39 | 27,62 | 32,04 | 30,30 | 32,04 | 29,27 |
| TiO ₂ | 3,77 | 3,09 | 3,57 | 3,62 | 2,67 | 3,03 |
| Al ₂ O ₃ | 4,40 | 6,55 | 3,38 | 4,62 | 5,94 | 4,13 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,08 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,13 |
| Fe ₂ O ₃ | 7,32 | 8,59 | 8,65 | 10,66 | 4,45 | 7,11 |
| FeO | 7,43 | 2,05 | 8,57 | 2,41 | 8,69 | 6,80 |
| MnO | 0,24 | 0,11 | 0,23 | 0,22 | 0,20 | 0,21 |
| NiO | 0,09 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,05 | 0,05 |
| CoO | 0,01 | 0,01 | 0,008 | 0,01 | 0,02 | 0,008 |
| MgO | 26,33 | 17,59 | 24,99 | 16,84 | 18,66 | 21,14 |
| CaO | 14,07 | 15,48 | 12,79 | 13,90 | 18,78 | 11,96 |
| BaO | — | — | — | — | — | — |
| Na ₂ O | 0,28 | 0,08 | 0,36 | 0,12 | 0,55 | 0,09 |
| K ₂ O | 0,50 | 0,19 | 0,76 | 2,31 | 0,92 | 1,32 |
| P ₂ O ₅ | 0,36 | 0,38 | 0,19 | 0,24 | 0,82 | 0,76 |
| SO ₃ | 0,35 | — | — | 0,09 | 0,33 | — |
| CO ₂ | 1,46 | 7,41 | 0,27 | 7,37 | 0,72 | 5,40 |
| H ₂ O ⁺ | 3,91 | 8,85 | 3,68 | 6,69 | 4,50 | 8,23 |
| F | 0,13 | 0,52 | 0,30 | 0,37 | 0,03 | 0,22 |
| П.п.п. | — | 0,14 | 0,56 | — | — | 0,03 |
| Σ | 100,13 | 99,73 | 100,47 | 99,92 | 99,52 | 99,89 |
| FeO | 0,05 | 0,22 | 0,13 | 0,15 | 0,01 | 0,09 |
| Σ | 100,08 | 99,51 | 100,34 | 99,77 | 99,51 | 99,80 |
| H ₂ O ⁻ | — | * 3,56 | 1,00 | 2,96 | 0,80 | — |

Продолжение табл. 24

| Компоненты | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|
| SiO ₂ | 29,09 | 27,00 | 31,42 | 34,04 | 23,58 | 30,13 |
| TiO ₂ | 3,51 | 3,83 | 2,46 | 3,32 | 4,74 | 3,60 |
| Al ₂ O ₃ | 5,58 | 5,32 | 1,75 | 3,52 | 6,00 | 4,72 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,29 | — |
| Fe ₂ O ₃ | 7,46 | 7,96 | 6,89 | 9,34 | 8,57 | 8,15 |
| FeO | 5,11 | 6,11 | 4,01 | 6,14 | 3,86 | 6,68 |
| MnO | 0,10 | 0,19 | 0,10 | 0,12 | 0,30 | 0,12 |
| NiO | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | — | — |
| CoO | — | — | 0,01 | 0,02 | — | — |
| MgO | 20,36 | 21,67 | 17,60 | 23,83 | 19,70 | 25,87 |
| CaO | 10,67 | 10,84 | 15,69 | 5,95 | 15,64 | 7,05 |
| BaO | — | — | — | — | — | — |
| Na ₂ O | 0,38 | 0,18 | 0,08 | 0,09 | 0,03 | 0,45 |
| K ₂ O | 2,36 | 1,05 | 0,55 | 1,34 | 1,46 | 0,96 |
| P ₂ O ₅ | 0,78 | 0,54 | 0,34 | 0,54 | 0,82 | 0,34 |
| SO ₃ | 0,42 | 0,34 | 0,26 | 0,07 | — | He обн. |
| CO ₂ | 2,36 | 8,55 | 11,46 | 3,44 | — | 5,32 |
| H ₂ O ⁺ | 5,57 | 6,18 | 7,55 | 7,60 | 15,09 | 6,96 |
| F | — | 0,07 | 0,44 | 0,21 | — | — |
| П.п.п. | 0,18 | — | — | 0,04 | — | — |
| Σ | 94,14 | 99,97 | 100,75 | 99,78 | 100,08 | 100,35 |
| FeO | — | 0,03 | 0,18 | 0,08 | — | — |
| Σ | — | 99,94 | 100,57 | 99,70 | — | — |
| H ₂ O ⁻ | — | — | — | — | — | 1,55 |

Примечание. Кимберлитовые дайки и тела: 1 — Монтчеллитовая, 2, 3 — Бега, 4 — 10 — Безмянное, 11 — Каппа, 12 — Улахан-Луцакан, 13 — Сопка, 14 — Горняцкая, 15 — 21 — Вечерняя, 22 — средний состав интрузивных кимберлитов (по 53 анализа из 21 тела); 24 — среднее из 210 анализов кимберлит-цемента брекчий (В.В. Ковальский); 25 — среднее

вых тел Якутии. По данным В.В. Ковальского.

| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-------|-------|---------|--------|-------|
| 22,28 | 26,84 | 30,24 | 31,21 | 31,18 | 26,03 |
| 3,39 | 2,65 | 3,08 | 1,82 | 6,77 | 2,61 |
| 4,08 | 2,77 | 3,67 | 1,27 | 2,98 | 3,70 |
| 0,07 | 0,04 | 0,06 | He обн. | 0,03 | 0,04 |
| 7,38 | 5,10 | 10,32 | 8,63 | 9,96 | 7,31 |
| 4,13 | 6,45 | 3,36 | 2,75 | 5,43 | 4,97 |
| 0,20 | 0,18 | 0,20 | 0,20 | 0,21 | 0,19 |
| 0,06 | 0,01 | 0,05 | 0,11 | 0,10 | 0,03 |
| Сл. | — | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,006 |
| 22,45 | 21,61 | 25,83 | 25,34 | 23,03 | 22,48 |
| 16,12 | 21,10 | 9,32 | 9,54 | 7,89 | 11,81 |
| — | — | — | — | — | — |
| 0,26 | 0,12 | 0,18 | 0,27 | 0,21 | 0,14 |
| 0,70 | 0,39 | 1,58 | 0,84 | 1,01 | 0,60 |
| 0,84 | 0,61 | 0,70 | 0,22 | 0,42 | 0,42 |
| 0,16 | 0,31 | 0,19 | — | — | 0,18 |
| 10,97 | 6,27 | 1,72 | 7,30 | 3,53 | 10,49 |
| 6,43 | 5,26 | 9,26 | 9,85 | 7,32 | 7,13 |
| 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,36 | 0,31 | 0,12 |
| 0,12 | — | 0,03 | 0,43 | 0,01 | — |
| 99,76 | 99,86 | 99,96 | 100,15 | 100,40 | 98,26 |
| 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,15 | 0,14 | 0,05 |
| 99,71 | 99,80 | 99,91 | 100,00 | 100,26 | 98,21 |
| — | — | — | 2,02 | 2,72 | — |

| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 32,94 | 23,94 | 23,89 | 28,78 | 27,10 | 29,57 | 27,81 |
| 3,60 | 3,34 | 3,18 | 3,32 | 3,80 | 1,31 | 1,63 |
| 2,67 | 8,50 | 2,54 | 4,20 | 4,60 | 3,48 | 3,40 |
| 0,35 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,13 |
| 2,85 | 6,82 | 11,14 | 7,84 | 6,90 | 5,04 | 5,40 |
| 8,81 | 2,47 | 0,73 | 5,09 | 5,10 | 2,63 | 2,82 |
| 0,08 | 0,17 | 0,30 | 0,19 | 0,21 | 0,11 | 0,12 |
| — | — | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,14 |
| — | — | 0,006 | 0,01 | — | 0,001 | — |
| 26,64 | 18,12 | 18,08 | 21,82 | 23,69 | 26,26 | 25,53 |
| 6,85 | 17,40 | 16,96 | 12,94 | 12,50 | 11,93 | 12,21 |
| — | 0,23 | — | 0,01 | 0,02 | 0,02 | — |
| 0,12 | 0,18 | 0,55 | 0,22 | 0,26 | 0,25 | 0,33 |
| 0,78 | 1,58 | 0,21 | 1,07 | 1,10 | 0,54 | 0,66 |
| 0,38 | 1,10 | 0,74 | 0,59 | 0,84 | 0,45 | 0,50 |
| 0,07 | 0,04 | 0,50 | 0,16 | 0,25 | 0,06 | — |
| 5,17 | 12,00 | 13,98 | 6,58 | — | — | — |
| 9,13 | 6,21 | 7,20 | 6,93 | 13,50 | 18,06 | 19,42 |
| — | — | 0,20 | 0,18 | — | 0,17 | — |
| — | — | — | 0,07 | — | — | — |
| 100,44 | 102,17 | 100,34 | 100,14 | 100,02 | 100,15 | 100,10 |
| — | — | 0,08 | 0,07 | — | — | — |
| — | — | 100,2 | 100,07 | — | — | — |
| 1,35 | 2,47 | 1,64 | — | — | — | — |

Альфа, 5 — Виктория, 6 — Спортивная, 7 — Великан, 8 — Оригинальное, 9 — Случайное, Унукит, 16 — Унукит-2, 17 — Эггентей, 18 — руч. Тройного, 19 — руч. Кривого, 20 — Лекас, 23 — среднее из 19 анализов кимберлитов, слагающих интрузивные жилы (В.В. Ковальский); из 310 анализов кимберлитов (А.П. Бобриевич и др.).

Количественно-минеральный состав (%) интрузивных кимберлитов. По данным В.В. Ковальского

| Кимберлитовое тело | Вкрапленники оливина | | | | | Основная масса | | | | | | | Аналитик |
|--------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|------------|---------|----------------|-----------|----------|----------|-----------|--------|--------|---|
| | оливин | псевдоморфозы серпентина | псевдоморфозы карбоната | монтчеллит | мелилит | рудные | перовскит | флогопит | карбонат | серпентин | апатит | хлорит | |
| Бета | 36,5 | — | — | 20,5 | — | 8,2 | 6,2 | 8,0 | — | 20,0 | — | — | В.В. Ковальский |
| | 23,7 | — | — | 56,3 | 1,3 | 6,2 | 4,9 | 7,6* | — | — | — | — | |
| | 34,3 | — | — | 45,0 | 0,3 | 7,7 | 6,9 | 5,9 | — | — | — | — | |
| Монтчеллитовая | | 30,99 | — | 36,2 | 9,5 | 14,7 | 3,9 | — | — | — | 0,8 | — | В.В. Ковальский |
| | | 17,9 | — | 30,3 | 33,9 | 11,3 | 3,5 | — | — | — | 3,1 | — | |
| | 4 | 40-50 | — | 30-37 | — | — | 13-17 | 5-7 | 4-5 | — | 1 | — | |
| Виктория | 4 | 20,9 | — | 7,5 | — | 5,3 | 0,8 | — | — | 65,5 | — | — | В.В. Ковальский |
| | 3 | 20,4 | — | 7,9 | — | 5,2 | 1,3 | — | — | 65,2 | — | — | |
| Спортивная | 8,8 | 21,8 | — | Ед. зн. | — | 7,9 | 2,8 | 1,3 | 57,4 | — | — | — | В.В. Ковальский |
| | 7,0 | — | 23,8 | — | — | 7,4 | 2,3 | 1,3 | 58,3 | — | 1 | — | |
| Великан | | 21,0 | — | — | — | — | 17,0 | 5 | 56,0 | — | — | — | |
| Оригинальное | 33,5 | — | — | 30,0 | — | 8,3 | 4,0 | 6,3 | 9,3 | 8,3 | — | — | В.А. Литинский и др. С.М. Табунов, С.Г. Лопатин |
| | 11,2 | — | — | 42,2 | — | 7,6 | 3,0 | 1,9 | 20,0 | 14,1 | — | — | |
| Случайное | 6,7 | 27,2 | — | 27,7 | — | 10,3 | 3,1 | — | 25,0 | — | — | — | С.Ф. Духанин и др. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|-----|---|---|------|-------|-------|-------|-------|---------|----|---|
| Безымянное | — | 25 | 5 | 1 | — | 6 | 2 | 1 | 40 | 20 | Ед.зн. | — | К.С. Зарубин и др. |
| Горбатая | 15,0 | 23,0 | 1,0 | — | — | 11,0 | 3,0 | — | 45,0 | — | То же | — | " |
| Улахан-Лучакан | 12,0 | 13,1 | 0,5 | — | — | 11,5 | 3,0 | 1,8 | 34,6 | 24,5 | Ед. з. | — | К.С. Зарубин и др. С.М. Табунов, Б.Г. Лопатин |
| | 11,0 | 15,6 | — | — | — | 11,0 | 2,5 | 0,5 | 35,8 | 23,5 | — | — | |
| | — | 25 | 15 | — | — | 12 | 4 | 6 | 25 | 12 | — | — | |
| Сопка | — | 24,5 | — | — | — | — | 12,0 | 7,0 | 56,0 | — | 10,0 | — | В.В. Ковальский |
| Горняцкая | — | 45,0 | — | — | — | — | 14,0 | 10,0 | 30,0 | — | 1,0 | — | " |
| Эггентей | — | 17,15 | — | — | — | — | 13,13 | 22,44 | 14,47 | 22,42 | 10,64 | — | Е.В. Францесон (1962) |
| | — | 29,00 | — | — | — | — | 8,96 | 21,88 | 10,68 | 23,52 | 5,96 | — | |
| | — | 25,56 | — | — | — | — | 8,41 | 11,00 | 15,61 | 34,85 | 4,21 | — | |
| Руч. Тройной | — | — | — | — | — | 4 | 2 | 3 | 13 | 75 | Зн. | 3 | М.А. Крутойрский и др. |
| | — | 48 | — | — | — | 7 | — | 20 | 12 | 10 | 1 | 2 | |
| Руч. Кривой | — | 50 | — | — | — | 7 | — | 15 | 6 | 20 | 1 | 2 | |
| Унукит-1 | — | 60 | — | — | — | 10 | — | 20 | 2 | 5 | Ед.зн. | 3 | С.Ф. Духанин и др. |
| Унукит-2 | — | 58 | — | — | — | 8 | — | 5 | 10 | 8 | 1 | 10 | |
| Малая Кутугуна | — | 47 | — | — | — | 8 | — | 5 | 10 | 18 | Ед. зн. | 12 | |

щающими породами развиты мелкие прожилки поперечно-волокнистого кальцита. Вмещающие карбонатные породы превращаются иногда на контакте в глинистую ожелезненную массу мощностью в несколько сантиметров.

Дайка Каппа расположена на водоразделе р. Дама-Лычхан и Лучакан, вскрыта одним шурфом. Вмещающие породы — карбонатные отложения нижнего кембрия.

В пределах рассматриваемой территории кроме описанных известно еще пять интрузивных кимберлитовых тел, обнаруженных по высыпкам.

По данным С.Ф. Духанина, обильные обломки интрузивного кимберлита обнаружены при шпиховом опробовании в среднем течении руч. Аччыгый-Кутугун. Расположение этих обломков позволило приближенно оконтурить на правом склоне долины, по-видимому, маломощную кимберлитовую дайку Малая Кутугуна северо-восточного простирания.

Дайка Горбатая расположена в 500 м от устья руч. Горбатого, правого притока р. Дама-Лычхан. Предположительно она оконтурена К.С. Забурдиным по небольшой элювиально-делювиальной россыпи обломков кимберлита.

Группа линейных магнитных аномалий Оригинальная расположена на правом берегу р. Лучакан, в 4 км от ее устья. Обломки интрузивного кимберлита обнаружены на одной из аномалий. На основании этих находок сделан вывод о наличии здесь коренного кимберлитового тела. Вмещающие породы — карбонатные отложения верхнего протерозоя — нижнего кембрия.

Дайка Хайыргастах находится в верховьях руч. Хайыргастах, левого притока р. Унукит. Здесь обнаружены три линзовидных тела северо-восточного простирания, выполненных кимберлитовой брекчий. В 3,5 м от главного линзовидного тела расположена описанная С.Ф. Духаниным дайка кимберлита. Взаимоотношения линзовидного тела, выполненного кимберлитовой брекчий, и дайки кимберлита не выяснены.

Данные о геологических параметрах перечисленных кимберлитовых даек, особенностях основных минералов, химическом и качественно-минеральном составе интрузивных кимберлитов приведены в табл. 20—25.

Некоторые вопросы происхождения кимберлитовой магмы и образования дайковых форм кимберлитовых тел

В настоящее время многие исследователи считают кимберлитовые породы гибридными образованиями, в состав которых входят раздробленный материал пород верхней мантии (ксенолиты и ксенокристаллы) и цементирующие его продукты кристаллизации неотжатого магматического расплава. Дезинтегрированный материал согласно термодинамическим условиям равновесия образуется на значительном по вертикальной протяженности мантийном участке, начиная от области стабильного алмазообразования (глубина 150—200 км) до зоны перехода мантия — кора (шпинель-пироксеновая фация, глубина 30—50 км). Чтобы определить реальные условия формирования кимберлитовых расплавов, необходимо

учитывать их минерально-петрохимический состав и геохимическую специализацию. Как известно, эти особенности кимберлитов определяются эндо- и экзогенными группами факторов. К эндогенным факторам относятся: а) состав мантийного субстрата, из которого выплавляется кимберлитовый расплав; б) состав флюидов, определяющих физико-химические условия плавления исходного мантийного вещества. Экзогенные факторы включают: а) состав и механические свойства среды, вмещающие кимберлитовые тела в земной коре; б) особенности постмагматических и экзогенных изменений кимберлитов.

Эндогенная группа факторов, кроме всего прочего, определяет основные петрохимические и геохимические особенности кимберлитовых пород, главными из которых являются высокомагнезиальный ультраосновной (недосыщенный SiO_2) состав пород и их базальтоидная геохимическая специализация. Иначе говоря, кимберлиты принадлежат к оригинальным природным образованиям, характеризующимся такими уникальными особенностями, как высокое содержание MgO и коррелирующихся с ним когерентных элементов (Ni , Co , Cr , Mn , V) и высокими концентрациями некогерентных элементов (K , Rb , Cs , Ti , Ba , Zr , U , Th , Tr), накопление которых в породах не может быть связано с поведением главных компонентов, определяющих ультраосновность пород.

Черты ультраосновности кимберлиты приобретают в процессе плавления пород верхней мантии, среди которых преобладают высокомагнезиальные ультрабазиты типа гранатовых дунитов, гарцбургитов, лерцолитов и их шпинелевых аналогов. Эти породы большинство исследователей относят к реститовым, из которых осуществилось выплавление базальтовой составляющей. Однако, как показали исследования представительных коллекций ксенолитов глубинных пород многих кимберлитовых тел Якутии, Африканского и других континентов, ультраосновные породы хотя и являются преобладающими, но тем не менее они не единственные составные компоненты верхней мантии. Наряду с этими породами в составе верхней мантии установлено присутствие основных (эклогитов), щелочных (слюдистых перидотитов и слюдитов) и щелочно-титанистых (ильменитовых перидотитов, пироксенитов и их слюдисто-ильменитовых разновидностей) дифференциатов. Щелочные и щелочно-титанистые образования принадлежат к метасоматическим производным верхней мантии. РТ-условия минерального равновесия нодулей пород верхней мантии из кимберлитов показывают, что в целом наиболее глубокие части пород верхней мантии, опробованные кимберлитовой магмой, и зона, венчающая мантийную часть литосферы, имеют высокомагнезиальный дебазальтированный состав, в то время как средняя часть верхней мантии сохранила значительное количество базальтовой составляющей, где концентрируются главным образом ильменит-слюдистые и слюдистые дифференциаты. Флогопит-ильменитовые гипербазиты представляют интерес при обсуждении условий генерации глубинных щелочных ультраосновных магм, в том числе кимберлитовой, поскольку по своим петрохимическим и геохимическим параметрам они в наибольшей степени приближаются к кимберлитам и другим продуктам ультра-

основного магматизма. Геохимической особенностью флогопит-ильменитовых гипербазитов является то, что высокие содержания сидерофильных элементов, свойственных мантийным перидотитам, сочетаются в них с повышенными концентрациями литофильных редких элементов, во много раз превосходящими содержание последних в гранатовых и шпинелевых перидотитах.

Механическое смещение расплавов с неотжатыми реликтами исходных пород и минералов различных участков дифференцированной по вертикали породы верхней мантии приводит к формированию кимберлитовых магм, которые, переместившись в условиях земной коры, образуют трубчатые, дайковые и силлоподобные тела.

Кимберлитовые породы дайковой фации по сравнению с породами, выполняющими трубки, характеризуются, по мнению А.Д. Харьківа, рядом отличительных признаков. Главными из них являются: а) повышенное содержание Fe, Ti, P и других некогерентных элементов; б) пониженное содержание наиболее глубинного материала, представленного высокохромистыми гранатом и хромшпинелидами, и повышенное содержание пикроильменита и флогопита; в) пониженная алмазоносность и преобладание во многих дайках алмазов, образованных при пониженных *PT*-условиях (ромбододекаэдров и округлых кристаллов, кристаллов с полосами пластических деформаций, подвергнутых графитизации). По этим признакам было сделано заключение, что очаги зарождения расплавов кимберлитов даечной фации залегают на меньших глубинах верхней мантии, чем очаги зарождения кимберлитовых магм, образовавшие сопряженные с даечными телами трубчатые структуры.

Дайковые (жильные) формы кимберлитовых тел по особенностям образования и соотношению с кимберлитовыми трубками делятся на следующие группы: а) самостоятельные дайки, не сочленяющиеся с трубками; б) дайки, в которые на глубине переходят трубки; в) дайки, прорванные трубками; г) посттрубочные дайки, локализованные во вмещающих породах; д) посттрубочные дайки, локализованные внутри трубок.

Количество кимберлитовых даек в том или ином районе определяется несколькими факторами. Главными из них являются: структурно-тектоническая позиция территории к моменту внедрения кимберлитового флюида, характер вмещающих пород, величина эрозионного среза территории локализации кимберлитовых тел.

Анализ количественного соотношения даек и трубок показывает, что особенно широко распространены линейные типы кимберлитовых тел на уровне фундамента платформы, на щитах, а также участки территории, сложенные изверженными породами. Это определяется прежде всего физическими свойствами среды и проявлением тектонических напряжений, подготовивших линейно вытянутые нарушения в виде зон трещиноватости. Эрозионный срез территории хотя и играет определенную роль в образовании тех или иных трубочных и даечных форм кимберлитов, но эта роль не является главенствующей. Вполне закономерно, что в районах со значительным эрозионным срезом ряд трубчатых пост-

роек уничтожен, в то время как подводящий канал в виде дайкового тела сохраняется. В то же время в некоторых районах даже при незначительном эрозионном срезе количество даек может быть большим. В этом случае широкое распространение имеют дайки первой группы, т.е. не связанные с кимберлитовыми трубками. Примером такого района может быть горная часть Лесото, где срез кимберлитовых трубок незначительный (сохранились типичные раструбы с реликтами кратерных образований, тогда как количество даек исключительно велико и на порядок превышает количество трубок). Это объясняется тем, что в горной части Лесото вмещающими породами являются базальты Карру — жесткие легко раскальвающиеся образования с подготовленными, до внедрения кимберлитов, трещинами. Кимберлитовая магма, обладая малой вязкостью, легко проникала по трещинам и без взрывов застывала в виде инъективных тел.

Характерными особенностями подобных даек являются унаследованные формы ранее существовавших трещин, обычно однородное внутреннее строение, отчетливые ровные контакты с вмещающими породами, наличие следов механического воздействия на боковые породы. Проникновение кимберлитовой магмы в тонкие, нередко миллиметровые трещины — признак малой вязкости и большой подвижности кимберлитового расплава.

ГЛАВА II.

ПРОБЛЕМА АЛМАЗОНОСТИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДАЕК

Алмазоносность кимберлитовых даек изучена недостаточно, и в литературе приводятся лишь отрывочные данные по этому вопросу. Далее дается обобщение известных к настоящему времени материалов по содержанию алмазов и их особенностям в дайках разного типа протерозойской и мезозойской эпох кимберлитового вулканизма. Изложение проводится по рассмотренным провинциям зарубежных стран.

АФРИКАНО-АРАВИЙСКАЯ ПЛАТФОРМА

ЗАПАДНАЯ АФРИКА

Дайки кимберлитов верхнего протерозоя

Дайки кимберлитов этого возраста известны на территории Кот-д'Ивуара и Мали.

В пределах Кот-д'Ивуара они наиболее изучены на площади Сегела, где образуют две группы дайковых тел: Тубабуко и Боби. По данным Д. Кнопфа [25], дайки Тубабуко прослежены на протяжении 500—600 м, имеют мощность от 1 до 3 м, на глубине нередко переходят в серию мелких жил мощностью до 10 см. Содержание алмазов в них составляет

в среднем 1 кар/м³ при средней массе 0,1 кар. Группа Боби образована множеством маломощных даек, вытянутых на расстояние до 600 м. Содержание алмазов достигает здесь 10 кар/м³ при средней массе 0,33 кар.

Качество алмазов площади Сегела хорошее, много прозрачных бесцветных камней. Часто алмазы окрашены с поверхности в зеленый цвет в результате природного радиоактивного облучения [21]. Морфология алмазов из даек Боби изучена Р. Казановой, [25] на 184 кристаллах. По ее данным, основная масса алмазов (6,7 %) представлена додекаэдрами (ромбододекаэдр и гексатетраэдр с округлыми гранями), 24 % составляют алмазы переходного габитуса, 4,9 % — двойники додекаэдрических кристаллов и только 1,1 % — октаэдр. Гранулометрический состав алмазов: 1–2 мм — 17,5 % (0,077 кар); 2–4 мм — 63,5 % (0,365 кар) и 4–6 мм — 19 % (1,24 кар).

Несмотря на высокое содержание и хорошее качество алмазов, дайки Кот-д'Ивуара практически не разрабатываются из-за малой мощности. Эксплуатируются аллювиальные, делювиальные и элювиальные россыпи, образованные в результате длительного разрушения алмазоносных даек.

Об алмазоносности кимберлитовых трубок Мали того же возраста сведения отсутствуют.

Дайки кимберлитов мезозойского возраста

Наиболее крупным районом развития даек этого возраста является Лесная Гвинея. Здесь кимберлитовые дайки группируются в локальные зоны, имеющие протяженность от 2 до 20 км при ширине 2–5 км. Мощность отдельных даек колеблется от нескольких сантиметров до 5 м с преобладающим размером 0,5 м. На некоторых дайках встречаются раздувы в 15–50 м, длиной до 100 м. Обычно отдельные дайки удалены на 15–50 м друг от друга, но иногда сближаются на 1,5–2 м, образуя сеть прожилков типа штокверка. Рассмотрим особенности алмазоносности даек в основных кимберлитовых полях Лесной Гвинеи, где они наиболее хорошо опробованы [10, 4, 14].

Б у н у д и н с к о е поле включает около 20 даек, имеющих длину 100–150 м при мощности 0,1–0,4 м. Они образуют три зоны: Бунудинскую, Авалийскую и Губароко. Дайки в зонах характеризуются сложным строением и имеют многочисленные прожилки и апофизы. Содержание алмазов в отдельных дайках колеблется от 0,85 до 3,65 кар/м³. Среди кристаллографических форм резко преобладают (71,5 %) округлые ромбододекаэдры, которые имеют и наиболее крупные размеры (табл. 26).

Ф е н а р и й с к о е кимберлитовое поле включает дайки с частыми мелкими раздувами и пережимами, прослеженные на расстояние до 500 м. Мощность их колеблется от 0,2 до 2 м, составляя в среднем 0,5–0,9 м. Отдельные раздувы достигают ширины 10–12 м и протяженности 30–40 м. Большинство даек алмазоносны со средним содержанием до 4 кар/м³. В отдельных дайках содержание алмазов колеблется от 14–16 до 20 кар/м³. Это наиболее богатая площадь Лесной Гвинеи. Средняя

Т а б л и ц а 26

Распространение кристаллов алмазов и средняя масса различных морфологических типов Бунудинского района. По Е.М. Писемской [4]

| Морфологические типы кристаллов | Участок пос. Бунуду (делювий) | | Левый склон р. Баламба (делювий) | | Верховья р. Колокоро (делювий) | | Кимберлит пос. Колокоро | |
|---|-------------------------------|------|----------------------------------|-------|--------------------------------|------|-------------------------|-------|
| | % | мг | % | мг | % | мг | % | мг |
| Плоскогранные октаэдры | 1,0 | 10,0 | 1,2 | 31,0 | — | — | — | — |
| Алмазы, сложенные уменьшающимися тригональными слоями роста | 16,5 | 23,6 | 10,7 | 14,4 | 13,1 | 23,2 | 19,4 | 155,6 |
| Алмазы с полицентрически растущими гранями | 1,0 | 40,0 | 1,2 | 64,8 | 0,5 | 90,0 | — | — |
| Алмазы, сложенные тонкими дитригональными слоями роста | 11,6 | 68,0 | 20,9 | 53,4 | 15,7 | 33,6 | 22,6 | 162,0 |
| Кристаллы с занозистой штриховкой | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Кристаллы с округло-ступенчатыми гранями | 38,8 | 48,8 | 13,0 | 56,0 | 35,0 | 70,2 | 39,8 | 162,6 |
| Округлые алмазы | 25,2 | 74,8 | 47,1 | 200,6 | 30,5 | 43,9 | 16,1 | 86,6 |
| Алмазы с блоковой скульптурой | 1,0 | 10,0 | — | — | — | — | — | — |
| Алмазы прочих типов | — | — | 1,6 | — | 2,6 | — | 2,1 | — |
| Осколки алмазов без крупных граней | 4,9 | — | 4,4 | — | 2,6 | — | — | — |
| Количество учтенных кристаллов | 104 | — | 253 | — | 191 | — | 93 | — |

масса алмазов здесь 0,09 кар. Среди них резко преобладают округлые ромбододекаэдры преимущественно коричневой окраски с большим количеством внутреннетрещиноватых камней. Несмотря на высокое содержание алмазов, эти дайки не разрабатываются, так как имеют очень небольшую мощность и часто быстро выклиниваются по падению.

Кимберлитовое поле Б а н а н к о р о включает штокверки и около десятка даек, имеющих мощность от 0,5 до 2,5 м, а в раздувах 10–12 м. По простиранию дайки прослежены на 200–250 м. Содержание алмазов в них низкое от 0,01 до 0,31 кар/м³ при средней массе 0,3 кар. По форме преобладают ромбододекаэдрониды (50–84 %). Значительную часть (более 15 %) составляют бесцветные ювелирные алмазы чистой воды.

Мако́нское кимберлитовое поле объединяет две локальные зоны — Барадунскую и Дамбоинскую. В пределах первой мощность даек колеблется от 0,1 до 1 м и лишь в редких раздувах увеличивается до 2–3 м. Протяженность даек — первые сотни метров, иногда они образуют штокверки. Алмазоносность даек этого поля практически не изучена,

Содержание алмазов (%) разного цвета и кристаллографических

| Кимберлитовое поле | Участки | Кристаллографические формы | | | |
|--------------------|-----------------|----------------------------|---------|------------|------------|
| | | Округлые ромбодекаэдры | Октаэдр | Переходные | Кубические |
| Бунудинское | — | 71,5 | 9,3 | 15,9 | 2,3 |
| Фенарийское | — | >50 | 0,0п | — | — |
| Бананкорское | Бауле | 61 | 10 | 20 | До |
| | Бауле-Бананкоро | 84 | 6 | 10 | — |
| | Бимбоко | 50 | 10 | 40 | 0,0п |
| Маконское | Доффе | 95 | 0,0п | — | — |
| | Макона | 75 | >50 | — | — |
| Ферубинское | — | 40 | 40 | 20 | — |

так как опробование носило случайный характер, 75–95 % алмазов представлено округлыми ромбодекаэдрами.

Ферубинское поле содержит более десятка кимберлитовых даек мощностью от 0,5 до 5 м с низким содержанием алмазов (0,17–0,54 кар/м³) при средней массе 0,2 кар. Алмазы в основном бесцветные, среди них присутствуют как округлые, так и плоскогранные (октаэдры) формы.

Особенности морфологии и окраски алмазов кимберлитовых полей Лесной Гвинеи отражены в табл. 27.

Дайки кимберлитов этого района являются основными источниками крупных и выгодных для эксплуатации россыпей, из которых добыто около 5 млн. кар алмазов.

В республике Сьерра-Леоне кимберлитовые дайки распространены на площади Сефаду, включающей несколько отдельных участков Коиду, Багбема, Пангума и др.

На участке Коиду разведывалась площадь размером 20 X 15 км, где установлено 12 групп кулисообразно залегающих даек кимберлитов, прослеженных по простиранию на 500–800 м. Местами в них наблюдаются линзообразные раздувы. Мощность даек от первых сантиметров до 1 м. Содержание алмазов колеблется от 0,5 до 0,9 кар/м³. В этом же районе расположены крупные и богатые россыпи, на которых с начала разработки добыто более 10 млн. кар алмазов, около половины которых представлено ювелирными камнями.

Участок Пангума включает семь даек, главная из которых имеет протяженность 1,26 км при мощности 0,45 м. Содержание алмазов составляет 1 кар/м³.

На границе с Либерией в Файаме обнаружены 4 кимберлитовые дайки, прослеженные на 15 км. Содержание алмазов в них 0,03–0,22 кар/м³.

форм в кимберлитовых полях Лесной Гвинеи [4, 14]

| | Окраска | | | | Содержание ювелирных разностей |
|--|------------|-----------|------------|---------------|--------------------------------|
| | Бесцветные | Серые | Коричневые | Желто-зеленые | |
| | 48,5 | 25,2 | 26,3 | — | 21,3 |
| | 19,4–61,0 | 12,2–29,8 | 19,5–50 | — | 4,7 |
| | Нет свед. | — | — | — | — |
| | 5–66,7 | 15,3–50,0 | 3,1–14,5 | — | 15,3 |
| | — | — | — | — | — |
| | 69,0 | 22,6 | — | 8,4 | Нет свед. |
| | 50 | — | — | — | „ |
| | 82,8 | 15–26 | 5–10 | — | 5,9 |

Масса алмазов на площади Сефаду колеблется в широких пределах, составляя в среднем 0,5 кар, 35 % их относится к ювелирным сортам.

Большинство алмазов из кимберлитовых даек площади Сефаду представлено октаэдроидами, иногда черепитчатого строения, додекаэдроиды сравнительно редки. Алмазы представлены двумя типами — чистыми алмазами и алмазами в оболочке из мелкокристаллического алмазного материала, окрашенного в различные оттенки зеленого цвета. Толщина ее на крупных кристаллах 2–3 мм, на мелких — меньше. Интересно, что алмазы в оболочке и без нее встречаются в кимберлитах одной и той же дайки. Текстура оболочки однородная или полосчатая. Она очень хрупкая и на некоторых кристаллах сохраняются только ее следы. Алмазные оболочки обычно содержат повышенное количество примесей. Содержание SiO₂ и MgO в оболочке 0,7 %, часто присутствуют следы алюминия и титана. По данным Ж. Манарда густота окраски зависит от толщины оболочки. Чистые без оболочки алмазы обычно бесцветны, но иногда имеют желтоватый, бледно-коричневый и другие оттенки.

Кимберлитовые дайки Сьерра-Леоне слабо разведаны и изучены, поэтому перспективы их алмазоносности далеко не выявлены. Существование богатых россыпей с крупными алмазами позволяет предполагать еще не обнаруженные богатые кимберлитовые тела.

В Либерии на площади Мано-Лоффа известно несколько кимберлитовых даек, располагающихся кулисообразно в зоне протяженностью 15 км. Прослеженная длина отдельных тел около 60 м, мощность 0,02–2,4 м, в среднем 0,5–1 м.

Содержание алмазов невысокое 0,03–0,33 кар/м³.

Кимберлитовые дайки наряду с трубками обнаружены также на площади Кенеба на юго-западе Мали, но опробование их дало отрицательные результаты [21].

ЦЕНТРАЛЬНАЯ АФРИКА

На территории Габона известно два района распространения даек сильноизмененных кимберлитов (метакимберлитов, по М. Барде) протерозойского возраста.

В районе М и т з и к прослежена зона даек на протяжении более 100 км. Она сложена многочисленными жилами и дайками, иногда достигающими мощности нескольких метров. Данные о степени алмазности этих тел отсутствуют. Алмазы представлены в основном октаэдрами небольшого размера (в среднем 0,05 кар), изредка встречаются камни хорошего качества до 5 кар.

На площади И к о й обнаружена серия жил измененных кимберлитов мощностью от нескольких миллиметров до 20 см, алмазов они не содержат.

Метакимберлиты Габона изучены очень слабо. Их экономическая ценность определена недостаточно, так как опробование проведено в незначительных размерах. Россыпные месторождения известны в бассейнах нескольких рек (Огове, Нири и др.). Содержание алмазов в них невысокое 0,05–0,08 кар/м³. Алмазы хорошего качества размером 0,2–8 кар.

В настоящее время регулярной добычи алмазов здесь не ведется, производятся лишь поисковые работы [14].

ЮЖНАЯ АФРИКА

Здесь, как и в Западно-Африканской провинции, известны дайковые фации кимберлитов протерозойского и мезозойского возраста. Однако первые практически не изучены, и сведения об их алмазности в литературе не приводятся. Характеристика алмазности мезозойских кимберлитовых даек дается в соответствии с их типизацией (см. гл. 1).

1. Алмазность даек, не имеющих видимой связи с трубками взрыва. Примером этого типа служат кимберлитовые дайки района Рустенберг, на территории которого известны две зоны дайковых тел общей протяженностью несколько километров. На участке Свартрюгенс северной зоны, которая наиболее изучена, дайки эксплуатируются на алмазы. Их прослеженная длина составляет 5,25 км [45]. Дайки часто ветвятся, мощность их колеблется от 0,02 до 2,1 м (в среднем 0,7–0,9 м). На глубине мощность увеличивается. Практически все дайки этой зоны алмазны. На отводе Ноутгедахт эксплуатационные работы производятся на глубине 180 м, а разведаны дайки до глубины 420 м. Для дайковых тел этого участка характерно постоянное содержание алмазов, составляющее 3–5 кар/м³, 85 % из них относится к техническим сортам. Наиболее крупный камень имел массу 511,25 кар. В 1972 г. здесь добыто 165 594 кар алмазов, а всего на этом руднике около 1 млн. кар.

Среди алмазов из даек Свартрюгенса отмечается значительное количество кристаллов кубического габитуса (38–45 %), по 30–35 % прихо-

дится на долю додекаэдров и пластинчатых додекаэдров, содержание октаэдров не превышает 5–8 %.

Южная свита даек имеет протяженность 2,7 км при мощности отдельных тел 0,3–0,9 м. На ней функционируют два рудника. На руднике Маллин добываются преимущественно технические алмазы со средним содержанием 1,65 кар/т, ежегодная добыча составляет здесь 100 тыс. кар. Рудник Хелам разрабатывает дайки средней мощностью 0,8 м с содержанием алмазов 1,38 кар/т, 50 % из них составляют ювелирные сорта. Объем добычи – 40 тыс. кар в год [14].

2. Алмазоносность даек, служивших подводными каналами для диатрем. К первому подтипу этой группы относятся корневые дайки, в которые переходят крупные трубки кимберлитов центральной части Южно-Африканской провинции. Этот переход для разных трубок происходит на глубинах от 240 до 1000 м. Мощность даек меняется от 2 до десятков метров. Наибольшее количество таких корневых даек отмечено в Кимберлийском поле (трубки Кимберли, Де-Бирс и др.).

В подводной дайке центрального столба трубки Кимберли, начинающейся на глубине 1043 м, встречаются алмазы со своеобразными углублениями ("оспинами"), возникновение которых объясняют графитизацией под влиянием термального метаморфизма больших глубин. Для нее характерно преобладание октаэдров и гексаоктаэдров с округлыми гранями [14]. В большинстве подводных дайковых тел содержание алмазов ниже, чем в трубках (Кофффонтейн, Ягерсфонтейн и др.). В некоторых дайках, например Робертс-Виктор в поле Б о ш о ф, отмечается относительная обогащенность алмазами по сравнению с трубками. Среднее содержание алмазов здесь 0,45 кар/т. Она эксплуатировалась до глубины 120 м, пока резко не уменьшилась мощность дайки.

Ко второму подтипу относятся системы кимберлитовых даек с раздувами, на которых часто расположены и трубчатые тела.

В районе Западного Баркли (север-западнее Кимберлея) выделяют две площади развития таких систем.

На площади Франк-Смит известно несколько кимберлитовых даек длиной от 3,6 до 6,6 км, соединяющих трубчатые тела. Среднее содержание алмазов в них от 0,06 до 0,45 кар/т. Алмазы часто представлены бесцветными октаэдрами с ямчатыми гранями, иногда в графитовой рубашке.

Площадь Б е л ь с б е н к включает две зоны кулисообразно расположенных даек протяженностью от 0,5 до 3,9 км. Главная, западная, зона представлена системой мелких даек мощностью 0,45–1,2 м и осложнена четырьмя раздувами. Содержание алмазов в них 0,3–0,75 кар/м³. Восточная зона даек – Боббиджан разрабатывается до настоящего времени при мощности даек менее 1 м. Среди алмазов этой площади встречаются как октаэдры, так и додекаэдры, причем первые крупнее и лучшего качества. Среди добываемых камней преобладают ювелирные сорта. Ежегодная добыча составляет несколько десятков тысяч карат [14].

Юго-западнее площади Франк-Смит известна дайка Ньюлендс длиной более 1 км при мощности от 0,3 до 2,5 м с несколькими раздувами

шириной от 5 до 40 м. Содержание алмазов в дайках и раздувах одинаково — 0,4–0,6 кар/м³. Преобладают мелкие алмазы хорошего качества. Разработки достигли глубины 150 м.

Крупная зона кимберлитовых даек с раздувами находится на площади Уинбург (к востоку от Кимберлея). Она прослежена на 16 км. Мощность Главной дайки около 1 м. Целый ряд рудников разрабатывает дайки и находящиеся на них раздувы. Рудник Феникс начал работать в 1927 г. За 5 лет работы было добыто 32 000 кар алмазов при содержании 0,1–0,13 кар/т. Алмазы хорошего качества, прозрачные, от чистого белого до светло-зеленого цвета. Добыто большое количество алмазов массой более 80 кар. Рудник Стар разрабатывает участок даек протяженностью 1,83 км, мощностью 1 м. Эксплуатируется горизонт 300 м с содержанием алмазов 0,45 кар/т. Средняя масса их 0,4 кар, качество высокое. В 1960 г. здесь было добыто 36 820 кар [14].

Севернее описанной площади в поле Кроунсайд расположена дайка с раздувами протяженностью более 6 км при мощности 1,2 м. Содержание алмазов в ней 0,21 кар/т. Кристаллы представлены ромбододекаэдрами массой 0,1 кар, обычно окрашенными, невысокого качества.

Алмазоносные площади Лесото характеризуются широким развитием даек с раздувами (более 200 тел). В пределах полосы их распространения известно несколько полей.

На площади Бута-Буте Западного поля имеется 27 даек с раздувами протяженностью несколько километров и мощностью не более 1,5 м. Содержание алмазов в отдельных дайках составляет 0,5–3 кар на 100 т. В Центральном поле содержание алмазов в дайках от 0,03–0,18 до 2,5–3,34 кар/100 т. Среди кристаллографических форм преобладают додекаэдровиды. Размер их в основном небольшой (80–85 % менее 4 мм), но известны и находки крупных алмазов более 100 кар.

Заканчивая характеристику алмазоносности кимберлитовых даек Африкано-Аравийской платформы, отметим, что они являются объектами промышленной разработки лишь в Южно-Африканской провинции. В Западной Африке дайки кимберлитов, несмотря на высокие содержания и часто хорошее качество алмазов, не разрабатываются из-за небольшой мощности и большей рентабельности эксплуатации россыпных месторождений, для которых дайки являются основным источником алмазов. В Южной Африке наибольшее промышленное значение имеют первый и второй типы даек. Для даек первого типа (район Рустенберг), не имеющих видимой связи с кимберлитовыми трубками, характерны значительная протяженность и постоянное, высокое содержание алмазов (3–5 кар/м³). Во втором типе интерес представляют серии дайковых тел с раздувами, сопровождающие кимберлитовые тела. Они образуют зоны протяженностью от нескольких (районы Западного Баркли-Уэста, Уинбурга и др.) до десятков (Лесото) километров. Мощность даек в этих зонах колеблется от 0,45 до 4 и даже 8 м, а ширина раздувов достигает десятков метров. Содержание алмазов здесь ниже, чем в дайках первого типа (в среднем 0,45 кар/т), но запасы значительны. Среди алмазов

в кимберлитовых дайках преобладают округлые формы (додекаэдриды и октаэдриды). Масса их варьирует в широких пределах — от мелких (менее 0,1 кар, поле Кронстад) до значительных (0,4 кар, поле Уинбург).

АЛМАЗОНОСНОСТЬ "ФИЛЛИТОВ" ЮЖНО-АМЕРИКАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Дайки сильноизмененных пород, называемых "филлитами", распространены на площади Д и а м а н т и н а в Бразилии (см. рис. 12). Они характеризуются линейно-групповым расположением и образуют 3 поля — северное, центральное и южное, отличающиеся главным образом особенностями алмазов.

Каждое поле включает дайки, жилы, реже трубчато-сплюснутые тела (раздувы) с многочисленными апофизами. Мощность даек колеблется от 7—8 до 20 м, а в раздувах достигает 40 м. Протяженность их от нескольких сотен метров до первых километров. На глубину дайки прослежены бурением до 100 м.

Эти породы эксплуатировались на алмазы в 20—30-х годах нашего столетия. Алмазы установлены в подавляющем числе даек "филлитов". Окраска и качество алмазов изменяются в месторождениях разных полей.

Для алмазов северного поля (рудник Сан-Жуан-ду-Шападу, Кампо-ду-Сампайо, Коррего-Ново) характерна сине-зеленая окраска поверхности, исчезающая при огранке, а также большое количество бледно-желтых и светло-коричневых камней, равномерных по величине и качеству. Исключение составляет рудник Паган, где преобладают прозрачные бесцветные алмазы. Размер их обычно небольшой, масса самого крупного на руднике Паган составила 38 кар. Всего за время эксплуатации здесь было добыто около 20 тыс. кар [29].

Характерной особенностью алмазов северного поля является ямчатая, шероховатая поверхность граней. Углубления на гранях, а также трещины в кристаллах нередко заполнены вторичным кварцем. Особенно часто алмазы с прожилками и корочками кварца встречаются на рудниках Паган, Кампо-ду-Сампайо и Каррего-Ново, где составляют от 20 до 70%. Интересно отметить, что алмазы, подобные описанным, встречаются в некоторых районах Леоно-Либерийского массива Западной Африки, например в россыпях Ганы, образованных за счет промежуточных коллекторов протерозойского возраста [5].

Алмазы центрального рудного поля (рудник Перпетуа, Кампо-ду-Дамазо, Гуинда и др.) отличаются сильным блеском даже в неограниченном состоянии и зеленоватой наружной зоной. Среди них преобладают октаэдриды и триоктаэдры. Содержание алмазов в дайках Перпетуа около 0,13 кар/м³. Здесь добывали в год около 160 кар. По остальным месторождениям данные о содержаниях алмазов отсутствуют. Их эксплуатация чаще всего велась старателями.

Среди алмазов южного поля преобладают додекаэдриды, бесцветные, иногда со слабым голубоватым или желтоватым оттенком.

В целом алмазы Диамантины небольшие, обычно не превышают 7—8 кар, но около 80 % их относятся к ювелирным сортам.

“Филлиты” этой площади служат основным источником алмазов позднедокембрийских конгломератов серии Лаврас, которые разрабатывались, и кайнозойских россыпей, являющихся основным источником добычи алмазов в Бразилии.

ГЛАВА III.

КИМБЕРЛИТОВЫЕ ДАЙКИ КАК ИСТОЧНИК АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

Вопрос о влиянии кимберлитовых даек на формирование алмазных россыпей до сих пор остается нерассмотренным. Имеются только разрозненные данные в статьях, отчетах, где указывается на то, что дайки могут служить источником при формировании алмазных россыпей. Однако более конкретных сведений не приводится. Поэтому этот вопрос специально изучался автором на примере промышленной алмазности Гвинейской Республики с привлечением материалов по другим алмазным провинциям.

Данные об алмазности даек Гвинеи приводились в предыдущих главах. Наряду с неалмазными телами встречаются дайки и жилы, содержание алмазов в которых достигает нескольких каратов на тонну кимберлита. Дайки располагаются в различных геоморфологических обстановках, находятся на различных гипсометрических отметках, что дает возможность рассмотреть роль даек при формировании алмазных россыпей разных генетических типов и в различной геоморфологической обстановке. Выявлено несколько типичных обстановок, по которым и ведется описание.

РОЛЬ ОДИНОЧНО РАСПОЛОЖЕННЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДАЕК

Роль отдельно расположенных даек при формировании россыпей алмазов различных генетических типов изучена на примере Гвинеи. В других алмазных регионах подобных работ не проводилось. Установлено, что на масштабы россыпей оказывают влияние мощность и алмазональным строением. Верхняя часть их представлена “желтой землей”, дайка, климат, при котором происходит разрушение дайки, и энергия эрозионно-денудационных процессов. Так как рельеф играет основную роль, рассмотрим эти закономерности на его фоне.

Рельеф в первую очередь сказывается на форме россыпи. Россыпь располагается на плоском водоразделе. Рассмотрим это на примере разведанных дражных полигонов Бунуду и Самокони (см. рис. 1). Здесь имеется кимберлитовая дайка длиной 600 м, мощностью 1,8 м, среднее

содержание алмазов в которой около $0,75 \text{ кар/м}^3$. Ее северо-западная часть длиной 100 м располагается на водоразделе. Алмазы есть, только в элювии содержание их примерно такое же, как и в кимберлитах дайки ($0,75 \text{ кар/м}^3$). В горных выработках, расположенных в 3, 5, 10 и 20 м от дайки, алмазов нет или они находятся в рассеянном состоянии. Таким образом, существенного обогащения алмазами в элювии не происходит. Мощность коры выветривания на кимберлитовых дайках не превышает 2–3 м. Ниже глинистого элювия, где алмазы находятся в свободном состоянии, идет щебенка кимберлитов, а глинистая составляющая этого слоя не превышает 20 %.

Анализ фактического материала по другим алмазоносным районам Африкано-Аравийской платформы показывает, что элювиальные россыпи на кимберлитовых одиночных дайках характеризуются примерно таким же строением, как и в пределах Гвинейской Республики. Имеются, правда, некоторые отличия и аномальные случаи. Например, на дайке № 17 в пределах Лесото отмечена кора выветривания мощностью 23 м. По материалам Г.И. Смирнова, разрез элювиальной россыпи имеет следующий вид:

| | |
|---|--------|
| 1. Тонкозернистый глинистый песок эолового генезиса | 1,7 м |
| 2. Элювий кимберлитов, представленный желтовато-бурой глиной, слегка сцементированный известковым материалом. В глине есть примесь песка из вышерасположенного слоя | 0,6 м |
| 3. Глина желтого цвета, очень плотная | 10 м |
| 4. Глина голубовато-желтого цвета, плотная | 10,7 м |
| 5. Щебнистый элювий кимберлитов | 3–5 м |

Начиная со второго слоя, по всему разрезу встречаются алмазы. Так как содержание алмазов в кимберлитовой дайке не установлено, нет возможности определить степень обогащенности в результате элювиальных процессов. Однако можно отметить, что алмазы в слое желтой глины встречаются чаще, чем в других типах пород.

Наиболее малые мощности элювия на кимберлитовых дайках отмечаются в районах с суровым арктическим и субарктическим климатом. Так, в пределах Якутской алмазоносной провинции на дайках отмечается слой 1–1,5 м структурного элювия, представленного щебенчато-глыбовым материалом с примесью глины, количество которой не превышает 20–30 %. Горизонтов "желтой" и "синей земли" здесь не отмечено. Содержание алмазов и их минералов-спутников всегда ниже, чем в коренных породах.

Обобщая данные по элювиальным россыпям, можно сделать следующие выводы.

Мощности элювиальной россыпи зависят в первую очередь от рельефа и климата. Наибольшая мощность приурочена к плоским междуречным пространствам, лишенным растительности и сформированным при влажном тропическом климате. Она меняется в пределах 10 м. Алмазы в россыпях находятся в свободном состоянии. Россыпи характеризуются зональным строением. Верхняя часть их представлена "желтой землей", средняя — "синей землей", а нижняя — структурным элювием, в той или

иной степени обогащенным глиной. Такой разрез характерен для районов с теплым и влажным климатом, и в первую очередь для тропических и субтропических зон. В умеренных зонах в разрезах отсутствует горизонт "желтой земли", уменьшены мощности "синей земли", а горизонт структурного элювия имеет наибольшую мощность. В арктических широтах горизонты "желтой" и "синей земли" отсутствуют вообще.

Алмазы в элювиальных россыпях распределяются в зависимости от мощности и степени дезинтеграции указанных горизонтов. Наибольшее количество и наиболее высокие содержания алмазов отмечаются в слое "желтой земли", более низкие концентрации, но выше, чем в коренных породах, — в слое "синей земли" и близкое к содержанию в коренных породах — в зоне структурного элювия. Но даже в пределах этих зон распределение алмазов неравномерное. На дайке № 2, расположенной в бассейне р. Масента, где элювиальная россыпь опробована погоризонтно и проведено детальное шлиховое опробование россыпи, при котором подсчитывалось содержание пикроильменита на 10 л пробы, прослежена закономерность распределения алмазов как по вертикали, так и по горизонтали.

На склонах на формирование делювиальных алмазных россыпей за счет отдельно расположенных даек влияет их ориентировка. Если дайка параллельна тальвегу водотока, то форма россыпи параллелепipedальная. Она примыкает непосредственно к дайке. От дайки вниз по склону идет постепенное снижение содержаний, и на расстоянии не более 1 км россыпь становится бедной и характеризуется только единичными алмазами. Это можно наблюдать на одной из даек района Бунуду. Здесь на склоне безымянного притока р. Масента прослежена дайка длиной 200 м, мощностью 1,5 м с содержанием алмазов $0,57 \text{ кар/м}^3$. В делювии в непосредственной близости от дайки концентрация алмазов примерно такая же. Она выдержана на всем протяжении дайки. В 20 м ниже по склону содержание алмазов падает до $0,4 \text{ кар/м}^3$, в 100 м ниже — до $0,3 \text{ кар/м}^3$, а в 200 м от дайки в делювии встречаются только единичные кристаллы алмазов. Россыпь не представляет собой единого плаща с равномерным распределением алмазов. Отмечаются повышенные и пониженные содержания, связанные с обработкой водными потоками материала в деях, с неровной поверхностью склона, различной крупностью склоновых отложений.

Если дайка расположена поперек склона, то делювиальная россыпь имеет форму конуса. Его ширина зависит от крутизны склона, мощности и протяженности кимберлитовой дайки. Обычно длина россыпи колеблется в пределах 0,5–0,8 км. Содержания алмазов примерно соответствуют содержаниям в кимберлитовой дайке, в некоторых случаях — повышены. Они отвечают центральным частям делей или углублениям на склонах. Особую роль при этом играют карстовые западины. Так, например, в Заире на пологом склоне при размыве дайки длиной 300 м и шириной 1,75 м в карстовой депрессии, расположенной в 100 м ниже по склону, отмечена россыпь с запасами 70 тыс. кар алмазов с содержаниями около 2 кар/м^3 , хотя в кимберлитовой дайке содержание алмазов составляло

только 0,67 кар/м³. Обогащение произошло за счет выноса глинистой фракции и относительного обогащения [21].

Большое влияние на запасы делювиальных россыпей, которые формировались за счет одиночно расположенных даек, оказывают масштабы эрозионного среза. Чем больше эрозионный срез дайки, тем больше запасы в делювиальных россыпях. Так, например, в Гвинее в верховьях ручья, где эрозионный срез дайки измеряется первыми метрами, содержание алмазов в делювиальных россыпях измеряется в 0,1 кар/м³, а в низовьях, где эрозионный срез измеряется первыми десятками метров, содержание увеличивается в пять раз. Такие же закономерности отмечаются и в других регионах. Причем за счет размыва даже непромышленных одиночно расположенных даек могут образовываться промышленные делювиальные россыпи. В первую очередь они известны в Гвинее, где россыпная алмазоносность изучалась советскими геологами наиболее планомерно. Много промышленных делювиальных россыпей, образовавшихся за счет одиночно расположенных кимберлитовых даек, известно в южной части Африкано-Аравийской платформы. Россыпи здесь небольшие по запасам (до 10 000 кар), но характеризуются иногда повышенными концентрациями алмазов, достигающими 2 кар/м³ [21].

Аллювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва отдельно расположенных даек, характеризуются особенностями, которые зависят от места расположения кимберлитов по отношению к водотоку. Выделяются два наиболее типичных случая: 1) дайка пересекается рекой и 2) дайка находится на склоне долины.

В первом случае аллювиальная россыпь примыкает непосредственно к дайке и простирается на расстояние от 0,1 до 0,5 км ниже по течению, что определяется мощностью дайки и степенью ее алмазоносности. Запасы и содержания алмазов в аллювиальных россыпях зависят в первую очередь от мощности водных потоков, размывающих дайку, и от рельефа русла. В крупных реках с расходами водных потоков более 10 м³/с следов наличия кимберлитовых даек даже не чувствуется. Так, например, на р. Чомурдах (Сибирская платформа) в кимберлитовой дайке отмечается высокое содержание пироба, который в кимберлитах отмечается даже визуально. В русле же, ширина которого около 10 м, пироб встречается очень редко и только в непосредственной близости от дайки. На удалении 50–100 м наличие кимберлитовой дайки не фиксируется. В мелких реках присутствие кимберлитовых даек сказывается на расстоянии до 5 км, но промышленные содержания алмазов охватывают отрезок реки длиной не более 0,2 км.

Известны примеры, когда за счет одиночных даек сформированы значительные по запасам и с высоким содержанием россыпные месторождения алмазов. Такие россыпи имеются в Анголе. Их строение изучено В.М. Зуевым, по материалам которого приводится описание. На р. Канани известна дайка мощностью 2,3 м с содержаниями алмазов 1,3 кар/м³. Ширина реки в этом месте около 25 м, расходы водного потока — 5 м³/с, скорость течения около 1,2 м/с. В русле, в 5 м ниже дайки в метаморфических породах, располагается так называемый "котел",

заполненный аллювием. Он представляет собой овальное в плане углубление диаметром 20 м, глубиной 15 м. Оно заполнено аллювием лишь на глубину 13 м. Строение аллювия хорошо изучено в верхней части разреза на глубину около 5 м и только в периферических частях "котла", которые разрабатывались старателями. На этих участках отводилось русло и проводились примитивные шурфовочные работы. Обобщенный разрез аллювия верхней части этого "котла" имеет следующий вид.

1. Валунно-галечный материал. Валунов около 60 %, гальки и гравия — 35 %, песка около 5 %. Материал хорошо отсортирован. Мощность 1,5 м.

2. Галечный материал с отдельными валунами и гравием. Песка в этом слое около 15 %. Мощность 2,2 м.

3. Валунно-галечный материал, по составу и строению разреза аналогичен первому слою.

4. Слой галечника. Он только в одном месте вскрыт колонковой скважиной, и о строении разреза что-либо определенное сказать трудно.

За пять лет эксплуатации этой воронки старателями добыто около 10 тыс. кар алмазов. Эксплуатация ее продолжается. Такие воронки — "котлы" в руслах рек наблюдаются и в Бразилии, Венесуэле, на р. Оранжевой в Южной Африке. Однако там россыпи образовались не за счет размыва кимберлитовых даек, а за счет промежуточных коллекторов и кимберлитовых трубок.

Если одиночные кимберлитовые дайки располагаются на склонах, то их влияние на аллювиальные россыпи зависит от степени алмазоносности, местоположения дайки и хода эрозионно-денудационных процессов.

При расположении дайки перпендикулярно направлению долины, она образует узкий конус выноса алмазоносного материала и аллювиальная россыпь не формируется вообще или имеет небольшую протяженность. Так, в Сьерра-Леоне, в бассейне р. Лова, дайка мощностью 2,6 м с содержаниями алмазов 1,65 кар/м³ образует конус алмазоносных отложений шириной около 100 м. Алмазоносность делювия этого конуса в два раза ниже, чем в кимберлитовой дайке. В аллювии происходит некоторое обогащение материала, образуется россыпь длиной не более 0,5 км со средним содержанием алмазов около 1 кар/м³. Такие же примеры есть и в пределах Якутской алмазоносной провинции. Но там эти закономерности прослежены только на пиробах. Так, например, в бассейне р. Чокмурдах кимберлитовая дайка оказывает влияние на состав аллювия ручья (шириной 12 м) на расстоянии около 1 км. Если в непосредственной близости от делювиального шлейфа дайки содержание пироба в аллювиальных отложениях достигает 100—150 зерен на шлиховую пробу, то уже на удалении 1 км оно измеряется единичными знаками.

Если дайка располагается параллельно руслу реки, то длина россыпи и степень ее алмазоносности зависят от длины дайки, ее мощности и степени алмазоносности, а также от эрозионных процессов, происходящих на склонах. Для формирования россыпей в первую очередь необ-

ходимо, чтобы с помощью энергичных эрозионно-денудационных процессов привносился алмазонасный материал в русла рек.

Рассмотрим конкретные россыпи, изученные в Гвинейской Республике.

Имеется несколько случаев, когда кимберлитовые дайки располагаются параллельно простирацию речного потока: в днище долины, нижней, средней и верхней частях склона долины.

Наиболее ярким примером первого случая может служить кимберлитовая дайка и аллювиальная россыпь, расположенные в долине р. Сомокони. Дайка имеет длину 800 м, северо-западное простираение, мощность 1,7 м со средним содержанием алмазов $0,27 \text{ кар/м}^3$. Около половины дайки находится на склоне и лишь ее юго-западная часть — в долине ручья, причем эта часть дайки располагается в самом истоке ручья. Долина последнего имеет сундучную форму с плоским днищем и крутыми склонами, возвышающимися над днищем на 20–25 м. В днище хорошо развита пойма с русловой фацией, представленной песчано-галечными отложениями мощностью от 0,5 до 1,7 м и пойменной фацией мощностью 3,2 м. Эти отложения разведаны канавами и шурфами, расположенными на расстоянии 10 м по линиям, пройденным через 200 м. В самой верхней части россыпь бедная и характеризуется более низкими содержаниями алмазов, чем в дайке ($0,04\text{--}0,2 \text{ кар/м}^3$), в средней части россыпи содержания близки или немного выше, чем в коренном кимберлите, а в нижней части — выше, чем в кимберлитах ($0,7\text{--}0,9 \text{ кар/м}^3$). В 200 м ниже дайки содержание алмазов в россыпи падает в два раза, а в 0,5 км промышленных содержаний не установлено.

Таким образом, в аллювии может происходить обогащение за счет гидродинамической обработки. На расстоянии не более 0,5 км влияние кимберлитовой дайки на россыпь уже не сказывается.

Во втором случае, когда дайка располагается в нижней части склона, ее влияние на россыпь несколько иное. В первую очередь россыпь характеризуется уменьшенными запасами и более низким содержанием алмазов, так как не все алмазы попадают в аллювий, часть их остается в делювии.

Примером подобного случая может служить дайка в пределах дорогого полигона Колокоро. Здесь в нижней части склона прослежена дайка кимберлитов длиной около 200 м, мощностью 1,3 м. Однако, судя по широким ореолам рассеяния пикроильменита в делювии, можно предположить, что на отдельных участках существуют раздувы. О содержаниях алмазов в дайке и аллювии данных нет. Поэтому приводятся материалы по изменению концентрации минералов-спутников, и в первую очередь пикроильменита. Содержание пикроильменита в дайке составляет около 400 зерен на 10 л породы, в делювии — 200–250 зерен, а в пойменных и русловых отложениях в среднем 200–250 зерен, хотя в отдельных случаях встречаются шлихи с содержаниями более 500 зерен на 10 л породы. Заметное влияние кимберлитовой дайки на состав аллювия сказывается на расстоянии 0,5 км.

Примером влияния даек кимберлитов, расположенных в средней части склона, служит дайка длиной 350 м, шириной 2,9 м, со средним содержанием алмазов 1,1 кар/м³. За счет этой дайки образуется делювиальная россыпь длиной 0,6 км и шириной, соответствующей протяженности дайки. Алмазоносность делювия ниже по склону очень бедная, и в русло реки поступает небольшое количество алмазов. Влияние дайки на русловую россыпь почти не сказывается. Только в средней части склона имеется небольшая дельта, по которой алмазы приносятся в аллювий реки, и в этом районе отмечается небольшое увеличение содержания алмазов в аллювии.

Если дайка располагается в самой верхней части склона, то независимо от расстояния до русла влияние ее будет одинаково, но в основном оно ничтожно.

Влияние отдельных даек на формирования озерных, прибрежно-морских, золowych и ледниковых генетических типов россыпей не установлено. В Гвинейской Республике они отсутствуют и в литературе не описаны.

ОДИНОЧНЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ДАЙКИ С РАЗДУВАМИ

При изучении кимберлитовых даек в Гвинейской Республике в ряде пунктов были исследованы их раздувы, мощность которых в три и более раз превышает мощность даек. Их влияние на россыпи различных генетических типов отличается от влияния одиночных даек.

Элювиальные россыпи имеют более крупные масштабы и становятся в ряде случаев рентабельными при отработке. Так, например, в Сьерра-Леоне имеется дайка длиной 700 м, расположенная на плоском междуречье. Мощность ее меняется по простиранию от 0,85 до 1,2 м, содержание алмазов около 1,7 кар/м³. В средней части дайки находится раздув, диаметр которого 12 м, сложенный аналогичными кимберлитами и с тем же содержанием алмазов. Элювиальная россыпь на этом раздуве содержит алмазов в два-три раза больше, чем в коренном кимберлите. Из этой россыпи, по данным Кнопфа [25], с начала ее эксплуатации извлечено около 42 тыс. кар алмазов.

В строении разреза элювиальных россыпей на дайковом раздуве фиксируются те же три зоны, которые характерны и для кимберлитовых трубок: верхняя — "желтой земли", средняя — "синей земли" и нижняя — структурного элювия. Однако часто эти зоны нарушены в связи с приносом материала с окружающей территории. И только в центральных частях раздувов они сохраняются. Наибольшие концентрации алмазов приурочены к горизонту "желтой земли". Они в два и более раз превышают концентрации в коренных кимберлитах и являются основным объектом разработки.

Делювиальная россыпь, сформированная за счет кимберлитовой трубки с раздувом, отличается от россыпи, сформированной за счет единичных даек, как формой, так и масштабами. Форма россыпи остается трапецеидальной, однако та ее часть, которая сформирована за

счет раздува, образует усеченный конус, накладывающийся на россыпь в форме трапеции. Поэтому именно эта часть россыпи характеризуется повышенным содержанием алмазов и запасами. Примером может служить россыпь в бассейне р. Саранболи. Здесь на склоне, крутизна которого около 7° , расположена дайка мощностью до 1 м с раздувом в 12 м. Алмазоносность ее низкая (до $0,1 \text{ кар/м}^3$), однако она содержит высокие концентрации минералов-спутников алмазов, в особенности пикроильменитов (до 400 зерен на 10 л воды). В делювии ниже дайки содержание пикроильменита составляет около 50 зерен на 1 л породы, а в районе раздува — содержание пикроильменита составляет около 330 зерен на 10 л. Таким образом, здесь отчетливо проявлено влияние раздува.

Пролювиальные и аллювиальные россыпи по своему строению ничем не отличаются от россыпей, образовавшихся за счет одиночных даек без раздувов. Увеличиваются только содержание алмазов в местах размыва раздувов и дальность влияния даек на пролювиальные и аллювиальные образования.

РОЛЬ ГРУППЫ СБЛИЖЕННЫХ ДАЕК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АЛМАЗНЫХ РОССЫПЕЙ

Расположение кимберлитовых даек в природе самое разнообразное, поэтому для оценки их влияния на формирование россыпей проведена типизация, выделены следующие группы: 1 — зона параллельных даек; 2 — зона даек, имеющих разнонаправленное простирание, 3 — зона даек, образующая штокверк.

Зона параллельных даек. Эта группа даек выделена потому, что их влияние на россыпи примерно такое же, как и одиночных, только масштабы его намного интенсивнее.

Влияние параллельных даек на элювиальные россыпи хорошо проявлено в Сьерра-Леоне. Здесь три параллельные дайки, расположенные на расстоянии 20 м друг от друга, при мощности около 1,5 м каждая и средней алмазоносности $1,7 \text{ кар/м}^3$ образуют сплошную полосу элювиальных россыпей шириной около 25 м. Россыпи четко сохраняют трехчленное строение. В верхней части имеется слой "желтой земли" мощностью около 6 м, ниже идет слой "синей земли" мощностью около 4 м, еще ниже — структурный элювий кимберлитов. В верхнем слое содержание алмазов превышает 2 кар/м^3 , в горизонте "синей земли" — близко к коренным кимберлитам, в горизонте структурного элювия оно аналогично последним.

В этом же районе имеется делювиальная россыпь, образовавшаяся за счет размыва элювия и описанных трех кимберлитовых даек. Россыпь имеет параллелепипедальную форму. В отличие от россыпей, образовавшихся за счет одиночной дайки, она характеризуется большей длиной (около 2,3 м) и мощностью продуктивного слоя. Среднее содержание примерно соответствует содержанию алмазов в коренном кимберлите, т.е. $1,7-1,8 \text{ кар/м}^3$. Форма делювиальных россыпей зависит также от расположения даек по отношению к уклону склона. Если группа параллельных

даек располагается поперек склона, то россыпь имеет форму усеченного конуса, алмазонасность которого в различных частях зависит от степени алмазонасности каждой из даек и рельефа склона. Так, например, в Гвинее в бассейне реки на склонах, где размывается серия кимберлитовых даек, россыпь неоднородна, очень сложная. Большие содержания алмазов в россыпях связаны с дайками, которые характеризуются их повышенными концентрациями.

Влияние серии даек на аллювиальные россыпи наиболее ярко проявилось в бассейне р. Бананкоро в Гвинейской Республике. В одном из районов река пересекает три алмазонасные дайки, мощность которых 0,5–12 м. Выше даек алмазонасность аллювиальных отложений непромышленная и колеблется в пределах 0,1–0,2 кар/м³, ниже их содержание алмазов увеличивается в три раза, россыпь становится промышленной и протягивается на расстояние около 10 км. Влияние даек также подтверждается изменением содержания пикроильменита, который в дайках концентрируется в высоких количествах. Содержание пикроильменита в дайке достигает 400–450 зерен на 10 л породы. Выше даек в аллювии концентрация пикроильменита составляет единичные зерна на 10 л пробы. На участке непосредственного размыва даек его концентрация повышается до 500–550 зерен, вниз по реке идет постепенное снижение концентраций и на расстоянии 10–12 км в аллювии встречаются лишь единичные зерна пикроильменита.

Влияние серии параллельных даек на россыпи других генетических типов (озерных, прибрежно-морских, золовых) не изучалось.

Зона даек с разнонаправленной ориентировкой. Если кимберлитовые дайки группируются в серии, то влияние их на формирование россыпей различных генетических типов представляет собой комбинацию случаев, характерных для одиночных даек и даек, сгруппированных в параллельные зоны.

Характер элювиальных россыпей ничем не отличается от характера описанных россыпей. Делювиальные россыпи имеют причудливые очертания, а протяженность и степень алмазонасности аллювиальных зависит от объема размытых кимберлитов и степени их алмазонасности.

Для примера приведем описание делювиальной россыпи в Кот-д'Ивуаре, находящейся на склоне. На участке склона длиной 1,5 км расположена серия даек кимберлитов северо-восточного и северо-западного простирания. Пересекаясь между собой, они образуют неравномерную сетку, сгущение которой отмечается в центральной части. Алмазонасность колеблется в пределах 0,5–4,3 кар/м³. Отработанной старателями оказалась россыпь ниже по склону, где отмечается сгущение сетки даек. Судя по тому, что делювиальная россыпь отрабатывалась старателями на протяжении 11 лет [25], запасы ее были значительны.

Аллювиальная россыпь небольшого притока, которая сформировалась за счет этих даек, имеет длину около 3 км и характеризуется средним содержанием алмазов 2,5 кар/м³.

В других районах Кот-д'Ивуара, в Гане, Австралии и других алмазонасных провинциях есть также серии даек различной ориентировки,

в районах развития которых известны промышленные россыпи. Однако детальные материалы о закономерностях их формирования отсутствуют.

Зона даек, образующая штокверк. Влияние кимберлитового штокверка на формирование россыпей изучено в районе Бананкорского кимберлитового поля. Строение штокверка, обусловленное размывной тектоникой участка, очень сложное. В его строении принимают участие биотитовые граниты, участками разгнейсованные. Штокверк образован жильными кимберлитами, которые заполняют разрывные нарушения субширотного, широтного и северо-западного направлений. Структура штокверка помимо кимберлитов подчеркивается телами долеритов. Размеры его не определены. По имеющимся данным диаметр штокверка превышает 1 км. По состоянию изученности на сегодняшний день штокверк представляет собой серию сближенных кимберлитовых тел преимущественно северо-западного простирания. Всего на площади 2,5 га выявлено 12 кимберлитовых тел, отстоящих друг от друга на расстоянии от 5 до 23 м. Все тела имеют вытянутую, часто жильную форму, различной мощности от 0,1 до 50 м в раздувах. Наиболее крупные тела имеют средние размеры 175 × 25, 50 × 1, 50 × 12 и 50 × 8 м. Углы падения кимберлитовых тел изменяются от 30 до 80°. Однако большинство из них имеет падение 70–80° на юго-запад. Контакты кимберлитовых тел с вмещающими породами обычно четкие. По-видимому, в пределах штокверка имеются еще кимберлитовые тела, что фиксируется повышенным содержанием минералов—парагенетических спутников алмазов.

С поверхности кимберлиты перекрыты делювиальным покровом мощностью от 1 до 15 м. Строение этого слоя неоднородно. Верхняя его часть сложена крупными глыбами и обломками кирасы, реже ожелезненных долеритов. Пространство между этими глыбами заполнено суглинками. Ниже залегает бурый суглинок, который постепенно сменяется пестроцветной глиной, далее идет кимберлит порфиривого облика с афанитовой основной массой, в которой фиксируется большое количество оливина, слюды, пикроильменита и пироба. Минералы-спутники алмазов в строении кимберлитовых тел играют существенную роль и присутствуют во всех телах.

Кимберлиты на глубину 25 м сильно выветрели, и элювиальная россыпь имеет следующий вид — кимберлиты превращены в светло- и темно-зеленую глинистую массу хлорит-серпентинового состава, сохранившую первичные текстурно-структурные особенности коренных пород. Характерной для элювиальных россыпей "желтой" и "синей земли" на штокверке не отмечено.

Делювий, перекрывающий элювиальную россыпь, беден алмазами. Содержания по отдельным пробам меняются от 0 до 1,15 кар/м³.

Элювиальная россыпь опробована не на всю глубину, поэтому изменений содержаний по разрезу не установлено. Отмечено, что количество алмазов в элювиальной россыпи выше, чем в коренном кимберлите. Если в кимберлите содержания в среднем составляют 0,2–4,5 кар/м³, то в элювиальной россыпи они могут достигать 8 кар/м³.

Делювиальная россыпь от кимберлитового штокверка прослеже-

на на расстояние около 1,5 км вниз по склону долины и до поймы. Среднее содержание алмазов от 0,2 до 2,1 кар/м³. Оно распределено очень неравномерно как по вертикали, так и по латерали. Встречаются обогащенные участки размером 50 X 100 м с явно повышенными концентрациями, есть участки с очень низким содержанием, что зависит в первую очередь от рельефа склона и гранулометрического состава делювиального материала. Повышенные концентрации приурочены к участкам с более грубообломочным делювием.

Аллювиальная россыпь прослеживается как вверх, так и вниз по течению от кимберлитового штокверка, так что определить его влияние на аллювиальную россыпь нет возможности. Однако ниже кимберлитового штокверка концентрация алмазов в аллювии реки увеличивается на 0,3 кар/м³. Это влияние сказывается на 3 км.

* * *

Приведенный материал показывает, что за счет размыва кимберлитовых даек могут формироваться значительные по размерам промышленные россыпи алмазов. Масштабы месторождений зависят от степени алмазоносности даек, их денудационного среза, количества и протяженности дайковых тел.

Отмечено, что за счет размыва кимберлитовых даек формируются россыпи высокосортных алмазов с крупными округлыми кристаллами.

Наиболее благоприятные условия россыпеобразования существуют при размыве серии даек различной ориентировки и штокверковых тел.

ГЛАВА IV.

МЕТОДИКА ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ ДАЙКОВОГО ТИПА

МЕТОДЫ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ДАЕК

В геологических публикациях методика поисков кимберлитовых даек до настоящего времени практически не рассматривалась, а целенаправленные поисковые работы по выявлению этих интересных образований проводились в незначительных объемах. Поэтому большинство известных на сегодняшний день кимберлитовых даек открывалось попутно при поисках кимберлитовых трубок.

В процессе многолетних поисковых работ на алмазы накоплен значительный опыт и по обнаружению кимберлитовых даек. При этом наиболее интересный материал по данному вопросу был получен в процессе проведения поисково-разведочных работ в Якутской алмазоносной провинции и в Гвинейской Республике. Обобщение этого материала позволило разработать методику поисков кимберлитовых даек в различных

геологических условиях и рекомендовать для каждой конкретной ситуации рациональный комплекс геолого-геофизических методов.

Однако, прежде чем приступить к обоснованию такого комплекса, рассмотрим разрешающие способности и области применения наиболее распространенных геологических, геохимических и геофизических методов, применяемых при ведении поисковых работ.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Геологическая съемка

Основой для проведения поисковых работ на алмазы служат геологические и металлогенические карты, полученные по результатам геологических съемок. С этой целью в пределах перспективных территорий (алмазоносные провинция, район, кимберлитовое поле и т.д.) геологическая съемка помимо работ чисто картировочного характера сопровождается специализированными поисковыми исследованиями, методика и объемы которых определяются в основном масштабом съемки. Поэтому и поисковая результативность геологической съемки также находится в прямой зависимости от масштабов картирования.

При проведении картировочных маршрутов вероятность обнаружения кимберлитовых даек при геологических съемках масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000 различная. При съемке масштаба 1 : 200 000, как правило, обнаруживаются только наиболее крупные дайки, вскрывающиеся в естественных обнажениях. Значительная выдержанность даек по простирацию, по данным Ж. Манарда, И. Сарсия, [21, 4], позволяет проследить и картировать крупные кимберлитовые дайки на протяжении десятков километров (до 30–65 км). Поэтому в процессе проведения геологических маршрутов все естественные обнажения детально осматриваются на предмет выявления кимберлитовых даек. Таким методом был обнаружен ряд кимберлитовых даек в северной части Якутской алмазоносной провинции (дайка Великан и др.), а также в Гвинейской Республике. Помимо естественных обнажений детальному изучению должны подвергаться также все искусственные обнажения — карьеры, врезы дог, траншей и т.д.

Картировочные маршруты сопровождаются шлиховым, мелкообъемным и крупнообъемным опробованием. При этом шлиховым методом опробуются в основном аллювиальные отложения; расстояния между точками опробования составляют в среднем 1,0–2,0 км, объем шливовой пробы — 10–20 л. В случае появления в аллювиальных отложениях повышенных концентраций минералов-спутников алмазов (пикроильменита и пироба) с хорошей сохранностью зерен шлиховое опробование проводится также на делювиальных отложениях склонов долин. В этом случае шлиховые пробы отбираются в пределах нижней части склона с интервалом не более 500 м; объем пробы аналогичен указанному. В небольшом объеме (единичными маршрутами) шлиховому опробованию подвергаются элювиально-делювиальные образования водоразделов, что позволяет оценить возможность развития на изучаемой территории раз-

личных вторичных коллекторов алмазов и их минералов-спутников.

Мелкообъемным опробованием исследуют все более или менее значительные водотоки. Пробы отбирают из руслового аллювия на участках максимальных концентраций минералов-спутников алмаза, расстояние между пробами составляет 10—15 км, объем пробы 1—2 м³ (в плотном теле). Отобранная порода промывается и рассеивается на шейкере с набором сит —8 +1 мм, после чего полученный зернистый материал обогащается на ручных отсадочных машинках.

Крупнообъемное опробование при геологической съемке масштаба 1 : 200 000 проводится в незначительных объемах и только на тех участках, где по данным шлихового опробования выявлены повышенные концентрации минералов-спутников алмаза, а по результатам мелкообъемного опробования обнаружены алмазы. Опробованием изучают в основном аллювиальные отложения, для чего проходят одиночные линии горных выработок. Русловой аллювий и отложения низкой поймы вскрывают канавами, образования высокой поймы и надпойменных террас — шурфами. Расстояния между выработками определяются шириной русла и днища долины: в пределах русла и низкой поймы — 10—40 м; в пределах высокой поймы и комплекса надпойменных террас — 80—320 м.

Сечения горных выработок и интервал опробования обосновываются необходимостью получения представительной пробы, объем которой определяется по известным формулам. Обогащение крупнообъемных проб осуществляется вручную на шейкере (при небольших объемах добытой горной массы) или же на передвижных обогатительных установках.

Опыт работы в Якутской АССР показывает, что непосредственно при геологических съемках масштаба 1 : 200 000 выявляется ничтожно мало кимберлитовых даек. Основной результат работ — оценка перспектив картируемых площадей на обнаружение кимберлитового магматизма. Кроме того, по наличию в аллювиальных отложениях алмазов и высокохромистых малокальциевых пиропов [13] представляется возможным получить предварительные сведения о перспективности исследованной территории на выявление коренных алмазоносных источников.

Геолого-съёмочные работы масштаба 1 : 50 000 проводятся на перспективных площадях, определенных по данным геологической съемки масштаба 1 : 200 000 или по результатам региональных геофизических исследований; кроме того, геологическим картированием масштаба 1 : 50 000 планомерно закрываются уже известные кимберлитовые поля и наиболее перспективные алмазоносные районы.

При съемке масштаба 1 : 50 000 объем картировочных маршрутов значительно возрастает, что обеспечивает не только более детальное, но и существенно более равномерное визуальное опосредование района работ. Кроме того, геологические съемки масштаба 1 : 50 000 сопровождаются, как правило, значительными объемами горных и буровых работ, что также повышает вероятность обнаружения кимберлитовых даек. При этом большое значение для получения положительных результатов приобретают такие факторы, как правильный выбор участка постановки горно-буровых работ и методика их проведения.

Исходя из опыта работ как в Якутской АССР, так и в Гвинейской Республике, представляется, что повышение эффективности поисков кимберлитовых даек может быть достигнуто при помощи следующих методических приемов. Локальные участки, перспективные на обнаружение даек, должны вскрываться линиями наклонных колонковых скважин, обеспечивающих полное перекрытие в плане изучаемого профиля, или же крупными магистральными канавами (профилями пунктирных канав). Профили скважин и линии канав ориентируются вкрест простирания известных кимберлитовых даек или же длинных осей кимберлитовых труб. При отсутствии на изучаемой площади проявлений кимберлитового магматизма горно-буровые линии располагаются вкрест простирания наиболее распространенных дизъюнктивных структур. Вскрываемые канавами разрезы, а также керн колонковых скважин подвергаются детальному визуальному изучению с целью обнаружения любых проявлений кимберлитового магматизма.

Геологические съемки масштаба 1 : 50 000, выполняемые в пределах уже известных алмазоносных районов или перспективных на алмазы площадей, сопровождаются планомерным шлиховым и мелкообъемным опробованием всей картируемой территории. Шлиховому опробованию подвергаются все типы развитых в районе рыхлых отложений, при этом особое внимание уделяется изучению пролювиальных отложений мелких водотоков и делювиальных отложений склонов долин; расстояние между шлиховыми пробами составляет в среднем 500 м. При прослеживании ореолов на склонах долин расстояние между шлиховыми пробами при необходимости может быть уменьшено до 20–50 м. Для повышения эффективности локализации перспективных участков большое значение имеет определение уже в полевых условиях степени сохранности зерен минералов-спутников алмазов. С этой целью удобно воспользоваться методами классификации сохранности зерен, а также методами определения расстояния их переноса от коренного источника, хорошо зарекомендовавшими себя при поисках кимберлитов в Якутской АССР [6, 8, 13, 16, 17].

Мелкообъемное опробование проводится с учетом необходимости обеспечения равномерного изучения отложений всех рек и ручьев, протекающих в пределах картируемой площади. При положительных результатах шлихового опробования (наличие повышенных концентраций минералов-спутников алмазов с хорошей сохранностью зерен) мелкообъемные пробы отбираются также из пролювиальных отложений мелких ключей и ложков. Расстояние между пробами (с учетом уже отобранных на предыдущих этапах исследований) должно составлять 5–10 км, объем пробы 1–2 м³ в плотном теле.

Крупнообъемное опробование при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 носит специализированный характер и проводится с целью оценки алмазоносности аллювиальных, пролювиальных, а в редких случаях и делювиальных отложений на перспективных участках, в пределах которых по результатам мелкообъемного опробования установлены повышенные концентрации алмазов. Местоположение и количество поис-

ковых линий в каждом отдельном случае обосновываются конкретной геологической ситуацией; методика работ аналогична описанной при геологической съемке масштаба 1 : 200 000.

Анализ результатов геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 показывает, что как в Якутской АССР, так и в Гвинейской Республике эффективность выявления кимберлитовых даек невысокая, что объясняется, по-видимому, недостаточным вниманием к проведению целенаправленных поисков именно объектов даечного типа. Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 и сопутствующие ей поисковые работы обеспечивают выделение и локализацию участков, перспективных на выявление кимберлитового магматизма (в том числе и даек), а также позволяют осуществить предварительную разбраковку перспективных участков.

Для повышения эффективности поисков кимберлитовых даек при геологических съемках в процессе геологического картирования необходимо уделить внимание изучению закономерностей размещения кимберлитов и других ультраосновных пород. При прогнозировании площадей, перспективных на кимберлитовые дайки, в качестве первоочередных следует выделять кимберлитовые поля, локальные площади и участки, прилегающие к группам ("кустам") кимберлитовых трубок, линейные зоны, расположенные по простиранию длинных осей трубок; особое внимание следует уделять площадям и районам россыпной алмазоносности с невыясненными коренными источниками. В качестве перспективных на проявление кимберлитовых даек следует рекомендовать также районы развития интрузий ультраосновных, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов; сюда же необходимо относить зоны известных глубинных разломов.

Специализированные геолого-геоморфологические исследования

При проведении специализированных геолого-геоморфологических исследований вероятность обнаружения кимберлитовых даек значительно выше, чем при геологическом картировании и сопровождающих съемку поисковых работах. Указанные исследования проводятся, как правило, в масштабе 1 : 100 000 (редко крупнее) и включают следующий комплекс поисковых методов: а) геолого-геоморфологические маршруты; б) метод прослеживания обломков; в) шлиховое опробование; г) мелкообъемное опробование; д) крупнообъемное опробование.

Основной задачей геолого-геоморфологических маршрутов является изучение геологического и геоморфологического строения исследуемой площади с целью выделения участков возможного проявления кимберлитового магматизма. Маршруты намечаются после тщательного анализа материалов предыдущих исследований, аэроснимков и космических фотоматериалов. В большинстве случаев геолого-геоморфологические маршруты в пределах исследуемой территории располагаются равномерно; при возможности локализации перспективных участков по данным ранее проведенных работ наиболее интересные площади изучаются более детально.

Геолого-геоморфологические маршруты прокладываются, как правило, по долинам рек и ручьев с хорошей обнаженностью, что обеспечивает необходимую полноту наблюдений; значительно реже проводится маршрутное пересечение водоразделов. По маршрутам ведутся непрерывные геологические наблюдения, позволяющие уточнить имеющиеся геологические карты. Повышенное внимание уделяется изучению магматических образований — исследуются морфология интрузивных тел, их взаимоотношение с вмещающими осадочными породами, положение в тектонической структуре района, структурные и текстурные особенности пород. При изучении даек уже в полевых условиях по возможности выясняется их состав и взаимоотношения с основными дизъюнктивными структурами района. Согласно В.М. Барыгину, [11] эффективность поисков и изучения даек (в том числе и кимберлитовых) существенно повышается при целенаправленном использовании аэроснимков и космических фотоматериалов. Как отмечено в работах С.Е. Колотухина, М.А. Крутойярского, И.Василевски, [2, 16, 23, 27], при геолого-геоморфологических маршрутах наибольшее внимание необходимо уделять изучению структурно-тектонических особенностей района — характеру проявления в современном эрозийном срезе глубинных разломов, наличию дизъюнктивных нарушений, их протяженности, возрасту, основным системам и т.д.

Метод прослеживания обломков кимберлитов является одним из наиболее надежных поисковых методов. Поэтому при выполнении специализированных поисковых исследований обломочный материал детально изучается на всех этапах поискового процесса — при проведении геолого-геоморфологических маршрутов, шлихового, мелкообъемного и крупнообъемного опробования.

Полевыми наблюдениями установлено, что при расположении кимберлитовых тел в руслах современных водостоков отдельные мелкие валуны кимберлитов прослеживаются на расстоянии 0,2—0,3 км от их коренного источника; расстояние переноса щебнисто-гравийно-галечного материала кимберлитов колеблется в широких пределах — от 1,5 до 15,0 км (редко больше). Расстояние переноса обломочного материала определяется в основном характером физических свойств кимберлитов — наиболее устойчивыми при транспортировке являются плотные порфировые кимберлиты, наименее устойчивыми — кимберлитовые туфы и туфобрекчии; в меньшей степени расстояние переноса кимберлитового материала зависит от особенностей гидродинамического режима водного потока. Отметим, что даже в оптимальных условиях количество обломков кимберлитов в русловом аллювии по мере удаления от коренного источника резко убывает. Поэтому при проведении геолого-геоморфологических маршрутов необходимо изучать петрографический состав галечно-валунного материала; в процессе проведения шлихового, мелкообъемного и крупнообъемного опробования для гравийно-галечной фракции аллювиальных отложений должен планомерно проводиться петрографический анализ. Обнаружение в аллювиальных отложениях даже единичных мелких обломков кимберлитов является прямым указанием на сов-

ременный размыв водотоком кимберлитового тела, поиски которого наиболее удобно вести путем прослеживания в русловых отложениях обломков кимберлита.

В делювиальных образованиях склонов долин дресвяно-щебнистый материал кимберлитов под воздействием гипергенных процессов быстро разрушается. Поэтому расстояние переноса от коренного источника дресвяно-щебнистого делювия кимберлитов незначительно и составляет, как правило, первые сотни метров; однако в единичных случаях отдельные мелкие обломки кимберлитов прослеживаются на расстоянии 500—600 м от кимберлитового тела.

Следует отметить, что даже в условиях хорошей обнаженности визуальное прослеживание обломков кимберлитов в делювиальных отложениях практически невозможно. Однако это возможно с помощью петрографического анализа отсева щебнисто-гравийной фракции делювия, получаемой в процессе промывки шлиховых проб. Поэтому выявление в делювиальных отложениях мелких обломков кимберлитов или же продуктов их разрушения и дезинтеграции (серпентин, серпофит, пластинки флогопита и т.д.) свидетельствует о непосредственной близости кимберлитового тела.

В элювиально-делювиальных образованиях водоразделов в условиях хорошей обнаженности обломки кимберлитов прослеживаются визуально. При этом линейное расположение высыпок кимберлитов является прямым указанием на наличие здесь кимберлитовой дайки. Так, например, в Оленекском районе Западной Якутии на одном из водоразделов, практически лишенном рыхлых образований и сложенном вмещающими кимберлиты коренными известняками, Ю.П. Беликом обнаружены две кимберлитовые дайки мощностью 0,6 и 1,7 м; в элювиальном слое по дресве кимберлитов обе дайки прослеживаются по простиранию на десятки метров.

В Гвинейской Республике одна дайка в районе р. Бананкора была открыта А.В. Медведевым по элювию кимберлитов. По данным Г.И. Смирнова, в Лесото (район Сент-Латерая) около 30 % кимберлитовых даек обнаруживаются по высыпкам кимберлитов непосредственно в процессе проведения геолого-геоморфологических маршрутов.

Достаточно эффективным для поисков кимберлитовых даек при специализированных маршрутных исследованиях является шлихоминералогическое опробование. Отбор шлиховых проб осуществляется по маршрутам геолого-геоморфологических наблюдений, при этом шлиховым опробованием должны быть изучены все развитые в районе типы рыхлых образований — аллювиальные, пролювиальные, делювиальные, покровные и т.д.

При опробовании аллювиальных отложений водотоков основное внимание уделяется изучению руслового аллювия. Расстояние между пробами по руслам крупных водных артерий составляет 0,8—1,0 км; по их притокам, ручьям и ложкам шлиховые пробы отбираются через 0,5 км.

Помимо аллювиальных и пролювиальных отложений обязательному шлиховому опробованию подвергаются делювиальные образования склонов долин. С целью освещения максимально возможной площади шлиховые пробы отбираются в нижних частях склонов долин, но за пределами участков развития комплекса высоких террас. Расстояние между пробами принимается равным не более 0,5 км.

Детализация выявляемых (или ранее установленных) ореолов рассеяния минералов-спутников алмаза осуществляется по квадратной сети или по профилям, ориентированным вдоль простирания склона долины, при этом расстояние между профилями опробования составляет 500 — 700 м, а между пробами по профилю уменьшается до 250—100 м, что обеспечивает надежную локализацию коренного источника.

Объем шлиховой пробы как при рядовом опробовании площадей, так и при детализации ореолов рассеяния парагенетических спутников алмаза определяется в основном величиной концентрации минералов-спутников в опробуемых отложениях и принимается равным 10—20 л; опыт работ свидетельствует, что в большинстве случаев этот объем обеспечивает получение положительного результата.

При детализации ореолов рассеяния минералов-спутников следует иметь в виду, что локализация местоположения кимберлитовых даек с помощью шлихового опробования имеет свои особенности, которые обуславливаются спецификой формирующихся за счет даек механических ореолов. Так, например, если кимберлитовая дайка пересекается руслом водотока, то независимо от содержания в кимберлите парагенетических спутников алмаза в аллювиальных отложениях образуется очень небольшой по протяжению ореол пироба и пикроильменита. При расположении дайки на водоразделе минералы кимберлитов в элювиально-делювиальных образованиях формируют узкий линейный ореол, располагающийся над дайковым телом. Ширина такого ореола зависит от ширины дайки и всегда превышает ее мощность в 2—3 и более раз. Так, например, в одном из алмазоносных районов Западной Якутии Ю.П. Беликом при прослеживании и локализации подобного линейного ореола была обнаружена кимберлитовая жила мощностью 10 см. При мощности перекрывающего жилу элювиально-делювиального слоя в 1,5 м ширина линейного ореола парагенетических спутников алмаза на дневной поверхности составляла около 1 м; зерна минералов-спутников в элювии над кимберлитовой жилой характеризуются весьма хорошей сохранностью. В тропических условиях Гвинейской Республики над кимберлитовой дайкой примерно такой же мощности ореол минералов-спутников алмазов выражен менее четко и обладает неясными, расплывчатыми очертаниями. При сохранении отчетливого линейного простирания ореола в его пределах отмечается чередование повышенных и пониженных концентраций минералов-спутников. Зерна минералов-спутников по сравнению с аналогичными ореолами в Западной Якутии более выветрелые, трещиноватые, существенно разрушены экзогенными процессами. По сравнению с коренными кимберлитами в элювиально-делювиальных

отложениях нарушается соотношение отдельных минералов — содержание пикроильменита по отношению к пиропу заметно возрастает. Зерна пироба характеризуются признаками экзогенного растворения.

В делювиальных отложениях склонов долин ореолы минералов-спутников, формирующиеся за счет разрушения кимберлитовых даек, не всегда имеют линейные очертания. Если кимберлитовая дайка располагается параллельно склону, то линейная форма ореола еще в какой-то мере сохраняется. Если дайка по отношению к склону долины расположена под углом, то определить по морфологии ореола характер коренного источника, как правило, не представляется возможным. При расположении дайки перпендикулярно простиранию склона долины в делювиальных отложениях формируются узкие линейные ореолы, которые в большинстве случаев позволяют правильно прогнозировать дайковую природу коренного источника.

Конечной задачей специализированных маршрутных исследований помимо оценки перспектив коренной и россыпной алмазности района служит также выявление кимберлитовых тел, расположенных в наиболее благоприятных геологических условиях. В процессе работ локализация местоположения кимберлитового тела осуществляется путем детального шлихового опробования. Очень эффективно на завершающем этапе поисковых работ применение в комплексе со шлиховым опробованием высокоточной площадной или профильной магниторазведки, что обеспечивает выявление кимберлитовых даек, залегающих среди немагнитных (или слабомагнитных) вмещающих пород. При этом магниторазведочные профили ориентируются вкрест установленного (или предполагаемого) простирания кимберлитовой дайки. Положительные поисковые результаты магниторазведки хорошо подтверждаются на примере работ в Гвинейской Республике и Западной Якутии. В пределах перспективных площадей с незначительными мощностями перекрывающих рыхлых образований (не более 10 м) наилучшие результаты по локализации кимберлитовых даек достигаются при комплексировании детального шлихового опробования, высокоточной магниторазведки и отдельных модификаций электроразведки (методы дипольного профилирования, кажущихся сопротивлений и т.д.). В зависимости от геологической ситуации шлиховые и геофизические аномалии вскрываются отдельными выработками или профилями выработок.

Поскольку специализированные маршрутные исследования по сравнению с геологосъемочными работами имеют более целенаправленный поисковый характер, при проведении шлихового опробования непосредственно в полевых условиях необходимо выполнять хотя бы предварительное сопоставление минералов-спутников алмазов из выявляемых шлиховых ореолов. Сопоставление ореолов проводится по следующим характеристикам минералов-спутников, которые легко могут быть определены визуально или с помощью полевой (бинокулярной) лупы: а) гранулометрический состав; б) степень сохранности зерен; в) количественное взаимоотношение зерен пироба и пикроильменита; г) количественные взаимоотношения зерен пироба наиболее распространенных

цветовых разновидностей; д) наличие в шлихах зерен более редких минералов-спутников — прежде всего оливина, хромита и хромдиоксида; е) присутствие в шлихах обломков кимберлитов или продуктов их дезинтеграции (серпентин, серпофит, пластинки флогопита и т.д.). Полевое изучение по указанной схеме минералов-спутников алмазов из различных ореолов рассеяния, а также из вновь выявляемых ореолов и уже известных кимберлитовых тел не только позволяет осуществить предварительно разбраковку исследованных участков и площадей по степени их перспективности, но и выделить первоочередные объекты для продолжения поисковых работ.

Мелкообъемное опробование при специализированных исследованиях производится, с одной стороны, с целью планомерного изучения перспектив алмазоносности всех типов развитых в районе рыхлых образований, с другой — с целью качественной оценки алмазоносности рыхлых отложений в пределах известных или выявляемых в процессе работ перспективных участков. Мелкообъемные пробы, так же как и при геологосъемочных работах, отбираются из шурфов, канав, траншей, расчисток и т.д.

Объем пробы составляет в основном 1 м^3 в плотном теле; при необходимости увеличения надежности опробования на особо перспективных объектах объем пробы удваивается.

Как уже отмечалось, алмазы из кимберлитовых даек и жил характеризуются рядом типоморфных особенностей, которые позволяют довольно уверенно отличать их от алмазов из кимберлитовых трубок [6, 13, 16, 23]. Поэтому в процессе мелкообъемного опробования все извлеченные кристаллы алмазов должны подвергаться обязательному предварительному изучению. При выявлении в пробах кристаллов, типичных для кимберлитовых даек и жил, методика поисковых работ должна корректироваться с учетом предполагаемой дайковой морфологии коренного источника.

Крупнообъемное опробование, сопровождающее специализированные маршрутные исследования, производится с целью количественной оценки коренной и россыпной алмазоносности в пределах конкретных объектов, выявляемых в процессе поисковых работ. При этом отрезки долин с установленной алмазоносностью аллювиальных отложений изучаются редкими линиями шурфов или канав, методика опробования аналогична описанной на геологосъемочных работах. Следует иметь в виду, что в алмазоносных районах даже редкие поисковые линии, пройденные с целью опробования аллювиальных отложений, позволяют, как правило, получить достаточное количество алмазов для надежного установления их морфологии. На основании особенностей морфологии алмазов следует выделять те участки и отрезки речных долин, в пределах которых встречаются кристаллы алмазов, наиболее характерные для кимберлитовых даек; такие участки должны подвергаться детальному целенаправленному опробованию на предмет выявления алмазных месторождений дайкового типа.

Вскрытие и опробование кимберлитовых даек осуществляется 3—5

горными выработками; все выработки проходятся до коренных кимберлитов, интервал проходки по которым определяется условием получения представительного объема пробы. По каждой выработке отбираются две пробы, из которых первая проба характеризует дезинтегрированный элювий кимберлитов, вторая — кимберлиты в коренном залегании. Первая проба обрабатывается, как на шейкере, непосредственно в поле по методике обогащения мелкообъемных проб; вторая проба вывозится на передвижную или стационарную обогатительную установку и обрабатывается по коренной схеме.

Дистанционные методы

Значительная протяженность и хорошая выдержанность кимберлитов даек по простиранию позволяют широко использовать для их поисков дистанционные методы — дешифрирование материалов космических, аэрофото- и аэролокационных съемок; при этом максимальная поисковая результативность достигается при комплексном использовании этих методов.

Широкое применение дистанционные методы получили в Якутской алмазоносной провинции; ведущая роль их внедрения в практику поисков принадлежит большому коллективу исследователей, среди которых необходимо отметить Л.Ю. Дукарта, В.И. Конарева, В.Ф. Кривоноса, Е.Н. Кутейникова, Б.Н. Леонова, Л.М. Натапова.

Дистанционные методы при поисках кимберлитовых даек наиболее эффективны в открытых районах, характеризующихся небольшой мощностью элювиально-делювиальных отложений. Здесь кимберлитовые дайки отображаются на материалах дистанционных съемок ввиду узких линейных образований, аналогичных дизъюнктивным нарушениям. Поэтому в процессе дешифрирования не удается однозначно определить природу выявляемых линейных объектов — последняя выясняется в процессе дальнейших поисковых работ. При этом следует отметить, что уровень и точность прогнозирования кимберлитовых даек зависит от масштаба фотосъемок. Из опыта работ в Западной Якутии следует, что наилучшие результаты достигаются при использовании съемок средних масштабов (1 : 15 000 — 1 : 30 000).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Опытно-методические исследования, проведенные в различных алмазоносных районах мира, показали, что проявления кимберлитов в ряде случаев можно обнаружить с помощью геохимических методов. Из зарубежных исследователей, внесших существенный вклад в постановку и решение данной проблемы, отметим Н. Бардета [21], Н. Джункер и др. Инициаторами внедрения геохимических методов для поисков кимберлитов в алмазоносных районах Якутской АССР являются С.В. Григорян, Л.А. Зимин, М.Г. Кокшарский, В.А. Литинский, В.А. Тимченко, Е.Д. Черный, В.Н. Щукин, Б.С. Ягнышев, М.П. Косолапова, А.И. Косолапов [17, 19].

Первоначально геохимические методы поисков кимберлитов применялись в основном в районах простого геологического строения, где кимберлитовые трубки сравнительно хорошо выявлялись по вторичным ореолам. Однако работы последних лет показали, что геохимические методы достаточно эффективны и в районах сложного геологического строения: получены положительные результаты по выявлению скрытых ореолов рассеяния, генетически связанных с миграцией подземных вод; определены особенности геохимической специализации кимберлитовых полей, рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, отдельных локальных площадей, а также доказаны возможности прямых поисков кимберлитовых тел [17, 19]; установлены признаки вторичных изменений вмещающих толщ, связанные с воздействием на них кимберлитов [19]; вокруг кимберлитовых тел методами декрепитации обнаружены ореолы пропаривания.

Таким образом, доказана принципиальная возможность широкого использования геохимических методов для поисков проявлений кимберлитов, в том числе кимберлитовых даек и жил.

Поиски по вторичным геохимическим ореолам рассеяния

Изучение вторичных геохимических ореолов кимберлитовых трубок проводилось в Конго, Сьерра-Леоне, Судане, Индии и Западной Якутии. В Конго исследовались вторичные ореолы рассеяния никеля. Пробы отбирались из коры выветривания кимберлитов и вмещающих пород (известняков, песчаников) и анализировались по методу Хентона, Норма, Уэlsa. Материал размером менее 300 меш плавился в бисульфате калия, затем обрабатывался хлорно-азотной смесью. Далее проводилось хроматографическое отделение никеля рубеноводородной кислотой и сравнение результатов анализа со шкалой контрастности, применяемой для полуколичественного анализа. Установлено, что содержание никеля в почвах над кимберлитами в пять — семь раз выше, чем над вмещающими породами. Повышенное содержание никеля над кимберлитами было отмечено и в других алмазоносных провинциях мира.

В пределах Якутской алмазоносной провинции в качестве элементов-индикаторов используют хром, никель, кобальт, ниобий и иттрий. Эти элементы образуют в почве достаточно контрастные вторичные ореолы рассеяния, отчетливо проявляющиеся независимо от состава вмещающих пород. Размеры вторичных ореолов не всегда соответствуют размерам кимберлитовых тел и существенно варьируют как в большую, так и в меньшую сторону. Вниз по склону долины вторичные ореолы, как правило, переходят в потоки рассеяния длиной 1—2 км.

Контрастность проявления вторичных ореолов определяется в первую очередь содержанием элементов-индикаторов в кимберлитовом теле, мощностью элювиально-делювиальных образований и интенсивностью рассеяния. По данным Л.А. Зиминой, максимальные содержания хрома и никеля достигают 1 % при местном геохимическом фоне 0,004—0,01 %, содержание кобальта и ниобия во вторичных ореолах непосредственно над кимберлитовым телом составляет 0,01—0,02 % (редко

больше) при фоновом содержании 0,001–0,002 % и, наконец, иттрий во вторичных ореолах содержится в количестве 0,03–0,05 % при фоновом содержании 0,002–0,02 %.

Последующими работами было показано, что помимо перечисленных к элементам-индикаторам вторичных ореолов кимберлитов можно отнести также ванадий, марганец и титан [17].

Контрастность элементов в ореолах варьирует от 1,5 до 10,0; отметим, что применение мультипликативных отношений позволяет усилить контрастность вторичного ореола рассеяния кимберлитов в 25–60 раз. В отдельных случаях вторичные ореолы имеют сложное зональное строение, над трубками фиксируются наиболее инертные элементы (кобальт, титан), на расстоянии первых десятков метров – хром, никель и на максимальном удалении от тела (первые сотни метров) – ванадий, марганец и др. [19]. В подобных случаях контрастность ореолов по мере приближения к кимберлитовому телу закономерно возрастает; при значительной крутизне склонов возможна оторванность части ореолов от кимберлитовых тел на 50–100 м.

Эффективность поисков проявлений кимберлитов (трубок, даек, штокверков и т.д.) по вторичным геохимическим ореолам в значительной степени зависит от своевременной и качественной подготовки соответствующей интерпретационной основы. Создание последней предполагает получение достоверной геохимической характеристики основных геологических образований – элювиально-делювиальных отложений осадочных и изверженных пород: геохимическое влияние зон разрывных нарушений; специфика микроэлементного состава рыхлых продуктивных образований (вторичных коллекторов); особенности вторичных ореолов рассеяния от уже известных кимберлитовых тел исследуемого района (или проявлений кимберлитов, расположенных на близлежащих площадях).

Геохимические поиски кимберлитовых даек по вторичным ореолам рассеяния предполагают следующую последовательность проведения отдельных этапов работ: а) выбор перспективных участков, локализованных по геологическим или геофизическим данным; б) разбивка сети магистралей и профилей, ориентированных вкрест установленного (или предполагаемого) простираения дайки; в) профильный (или площадной) отбор проб в масштабе 1 : 1000 – 1 : 500; г) проведение спектральных анализов (желательно в полевой лаборатории); д) камеральная обработка результатов опробования, составление соответствующих карт и выделение "кимберлитовых" геохимических аномалий; е) заверка аномалий горно-буровыми работами.

Поиски по первичным геохимическим ореолам рассеяния

Становление кимберлитовых трубок и даек в соответствующей структурно-тектонической обстановке, а также поледующие постмагматические процессы обусловили формирование первичных геохимических ореолов; эти ореолы впервые были выявлены и изучены Б.С. Яг-

ньшевым [19]. В околотрубочном (или околодаечном) пространстве во вмещающих породах формируются повышенные концентрации олова, вольфрама и молибдена; одновременно отмечается интенсивное перераспределение содержаний бария, фосфора и ванадия. Элементы-индикаторы, наиболее типичные для вторичных ореолов рассеяния (хром, никель, кобальт, титан), не образуют повышенных концентраций [17]. Первичные геохимические ореолы характеризуются концентрически-зональным строением; при этом отдельные участки первичных ореолов обладают отчетливым радиально-лучевым строением, отражающим избирательную концентрацию элементов-индикаторов по наиболее благоприятным структурно-тектоническим зонам.

При поисках кимберлитовых даек по первичным ореолам объектом геохимического опробования являются исключительно коренные породы. Поэтому пробы должны отбираться из горных выработок и буровых скважин, вскрывших коренные породы на глубину не менее 3–5 м. В околотрубочном пространстве масштабы первичных геохимических ореолов, как правило, незначительны и составляют первые сотни метров (максимальный размер ореола не превышает 1,5–2 диаметров трубки); мощность первичных ореолов, обусловленных кимберлитовыми дайками, специально не изучалась, однако можно предположить, что они вряд ли превышают первые десятки метров. Таким образом, для обеспечения поисковой эффективности метода потребовались бы шурфовка или разбуривание перспективных площадей по достаточно плотной сети (соответствующей масштабу 1 : 2000 – 1 : 500), что экономически нецелесообразно. Отсюда следует, что геохимические поиски кимберлитовых даек по первичным ореолам в общем комплексе поисковых работ могут играть только вспомогательную роль, увеличивая поисковую информативность горных выработок или буровых скважин. Поэтому с целью выявления первичных геохимических ореолов кимберлитов все горные выработки (шурфы, каналы, траншеи и т.д.) и буровые скважины в пределах перспективной на кимберлиты площади в обязательном порядке должны подвергаться опробованию; кроме того, опробуются также все искусственные и естественные обнажения. Отбор геохимической пробы во всех случаях осуществляется методом пунктирной борозды. Проба отбирается в пределах литологически однородного слоя, при этом допускаются колебания опробования от 0,5 до 3,0 м.

По результатам обработки данных спектрального анализа строится комплект мономинеральных карт, анализ которых позволяет уточнить мультипликативные соотношения. С помощью последних уменьшается уровень "информационного шума" и увеличиваются "сигналы", предположительно связанные с кимберлитовыми дайками. Первоочередной заверке подлежат наиболее контрастные ореолы, а также ореолы, совпадающие в плане с геофизическими, шлиховыми и фотоаномалиями.

Газортутный метод

Как в кимберлитах, так и во вмещающих кимберлиты породах установлены ореолы ртути. В.А. Бородин методом атомно-абсорбционного и атомно-флюоресцентного анализа изучил образцы из 12 кимберлитовых трубок, а также из вмещающих и перекрывающих трубки пород. Во всех образцах отмечено нахождение многоформной ртути по пяти термическим спектрам. Валовые концентрации ртути в кимберлитах составляют от $0,2 \cdot 10^{-6}$ до $60 \cdot 10^{-6}$ %. Показано, что аномальные зоны валовой ртути локализируются вдоль контактов кимберлитов с вмещающими породами; контрастность зон варьирует в пределах 1,5–5,5 геофонов, ширина их не превышает 50 м.

Над кимберлитовыми трубками, перекрытыми пластовыми интрузиями долеритов, различные формы ртути приобретают зональное распределение, при этом наиболее низкотемпературная форма (хлоридная) концентрируется вдоль крутопадающих контактов трубки; в вышележащих трапах данный ореол прослеживается непосредственно до земной поверхности. Хлоридная форма ртути обладает хорошими индикаторными свойствами и может быть использована для поисков кимберлитовых даек, как выходящих на дневную поверхность, так и перекрытых трапами.

В одном из алмазонасных районов Западной Якутии И.Г. Луковичем, Б.С. Ягншевым и другими сделана попытка поисков кимберлитовых трубок по газовым ореолам ртути. Методика работ сводилась к отбору в каждой точке трех проб — одной газовой пробы из почвы (глубина 0,2–0,3 м), а также двух проб из приземной атмосферы (на высоте 0,1–2,0 м соответственно); объем каждой пробы составлял 1 л. В пробах определялось содержание атомарной ртути при помощи атомно-абсорбционного анализатора ИМГРЭ-4. В процессе проведения работ была установлена недостаточная чувствительность применявшегося анализатора; однако даже в этих условиях на трубках отмечались слабые кольцевые аномалии ртути интенсивностью, превышающей в 1,5–2 раза геофон. Поэтому не вызывает сомнений, что с использованием более чувствительных анализаторов газортутный метод поисков может эффективно применяться для поисков кимберлитовых даек. При этом сеть опробования должна обеспечить выявление узких линейных ореолов ртути, обуславливаемых даечными телами.

Атмогеохимическая съемка

В последние годы все более широкое применение находят различные модификации атмогеохимических съемок. Метод атмогеохимической съемки эффективен при поисках кимберлитов, как непосредственно выходящих на дневную поверхность, так и перекрытых мощной толщей более молодых образований (в том числе и крупными силами траппов). Работами Ю.Р. Юркевича и других установлено, что кимберлитовые трубки сравнительно отчетливо выявляются по аномалиям гелия, водорода и метана. Повышенные концентрации этих газов наблю-

даются в подпочвенном воздухе над кимберлитовыми трубками и приурочены в основном к зонам их эндо- и экзоконтактов. Аномалии имеют кольцевую или полукольцевую форму, мощность их составляет 25–50 м; размеры аномалий, как правило, незначительно превышают размеры трубок. В пределах аномалий концентрации гелия превосходят фоновую в 15–20 раз, водорода – в 3–5 (до 20) раз, метана – в 2–6 раз.

Помимо обнаружения кимберлитовых трубок, атмогеохимическая съемка эффективна также для выявления и картирования зон рудоконтролирующих и рудовмещающих разломов, что позволяет рекомендовать ее и для поисков кимберлитовых даек.

При поисках кимберлитовых даек методом атмогеохимической съемки отбор проб осуществляется по профилям, ориентированным вкрест простирания (установленного или предполагаемого) различных линейных элементов, к которым могут быть приурочены проявления кимберлитов. Пробы отбираются из подпочвенного воздуха с глубины 1,0–1,5 м по сети 10–20 × 200–400 м. Анализы проб проводятся непосредственно в полевых лабораториях на гелий, водород и метан. С целью повышения эффективности атмогеохимической съемки необходимо максимально сократить период времени между отбором пробы и ее анализом.

Гидрохимический метод

Гидрохимический метод применительно к поискам кимберлитов применен М.И. Косолаповой и А.И. Косолаповым на основании изучения ряда кимберлитовых полей в Западной Якутии. В результате исследований установлено, что воды ручьев и ключей, размывающих кимберлитовые тела, содержат повышенные количества цинка. Последний концентрируется в приконтактных участках кимберлитовых трубок; по мере удаления от контакта содержание цинка во вмещающих породах убывает, и уже на расстоянии 60–80 м от трубки оно не превышает фоновых значений. Размеры водных ореолов цинка изменяются в широких пределах.

Исходя из этого гидрохимический метод рекомендуется и для поисков кимберлитовых даек. В связи с недостаточной обоснованностью гидрохимический метод поисков кимберлитовых даек самостоятельного значения не имеет и может быть рекомендован в качестве вспомогательного при геологических съемках и специализированных маршрутных исследованиях в комплексе со штиховым и мелкообъемным опробованием.

Биогеохимический метод

Биогеохимический метод поисков кимберлитов опробовался Н.Джуном в Заире на месторождениях Бакванги. Кимберлитовые дайки там не известны, потому работы велись только на кимберлитовых трубках. Поисковые работы выполнялись по следующей методике. Образцы травянистых растений отбирались по сети 100 × 100 м; стебли и листья измельчались и с помощью горелки Бунзена сжигались в фарфоровом

тигле. Остатки обжигались в печи при температуре 800°C , измельчались в агатовой ступке и подвергались обработке на водяной бане царской водкой. Затем осуществлялось хроматографическое отделение никеля рубеноводородной кислотой и определялось его содержание в пробах. Над кимберлитовыми трубками содержание никеля в растениях увеличилось в три-четыре раза по сравнению с вмещающими породами.

При поисках кимберлитовых даек биогеохимический метод поисков, по-видимому, самостоятельного значения иметь не будет и в качестве вспомогательного может использоваться в комплексе с другими поисковыми методами.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Геофизические методы применительно к поискам кимберлитов (трубок и даек) в основном были разработаны и внедрены советскими геофизиками и геологами в процессе проведения поисковых работ на алмазы в различных районах Западной Якутии. В последние годы использование геофизических методов при поисках кимберлитовых трубок находит все более широкое применение и в других алмазоносных провинциях мира, особенно в тех районах, где работают советские геологи.

Помимо непосредственного выявления связанных с кимберлитовыми трубками и дайками аномалий магнитного, гравитационного, электрического и волнового полей, геофизические методы позволяют выделить районы и площади, перспективные для проявления кимберлитового магматизма, а также глубинные дизъюнктивные структуры, являющиеся для кимберлитов рудоконтролирующими и рудовмещающими.

За годы поисков кимберлитов в алмазоносных районах Западной Якутии было опробовано много геофизических методов и их модификаций. Одни из них нашли широкое применение и используются в различных алмазоносных районах, другие находятся в стадии внедрения, по применению третьих ведутся опытно-методические работы; отметим, что разрешающая способность многих из опробованных геофизических методов оказалась недостаточной для эффективного обнаружения кимберлитовых трубок, особенно расположенных в районах сложного геологического строения.

Глубинные геофизические исследования. Эти исследования проводятся в алмазоносных провинциях для определения региональных закономерностей распределения проявлений кимберлитового магматизма на уровне локальных алмазоносных районов и отдельных кимберлитовых полей. С этой целью используются метод глубинного магнитно-теллурического зондирования (ГМТЗ) и метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).

Метод глубинного магнитно-теллурического зондирования позволяет исследовать геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии до глубины 150–200 км, которая соответствует глубинам формирования кимберлитовых магм. Столь уникальные возможности метода и явились

основной предпосылкой его использования для обнаружения и локализации участков верхней мантии, благоприятных для возникновения кимберлитов.

Идея применения метода глубинного магнитно-теллургического зондирования для поисков кимберлитов принадлежит советским геологам и геофизикам; осуществлено теоретическое обоснование метода для изучения алмазоносных районов и разработаны основные методы интерпретации материалов исследований. Работами В.И. Поспеева и В.И. Никулина показано, что в литосфере под кимберлитовыми полями устанавливается определенный комплекс геоэлектрических неоднородностей. При этом для верхней мантии характерны крупные непроводящие неоднородности, которые интерпретируются как реликты очагов кимберлитовой магмы; в чехле и земной коре прослеживаются проводящие неоднородности, связываемые с наличием древних подводящих каналов кимберлитовых расплавов.

Кроме того, метод ГМТЗ обеспечивает принципиальное решение проблемы установления контуров алмазоносной провинции в целом.

При поисках кимберлитовых даек метод глубинного магнитно-теллургического зондирования рекомендуется использовать с целью регионального прогнозирования районов, благоприятных на проявление кимберлитового магматизма. В процессе опискования таких районов особое внимание должно быть уделено изучению площадей повсеместного распространения минералов-спутников алмазов с хорошей сохранностью зерен и установленной площадной алмазоносностью аллювиальных отложений, где поиски кимберлитовых трубок не дают положительных результатов.

Метод глубинного сейсмического зондирования обеспечивает исследование литосферы между кровлей верхней мантии и подошвой осадочного чехла, что соответствует основной части разреза земной коры. В алмазоносных районах этот метод позволяет изучить особенности строения земной коры на глубине от 2,5 до 45 км.

Использование метода глубинного сейсмического зондирования применительно к решению задач поисковых работ в алмазоносных районах Западной Якутии было предложено группой геологов и геофизиков — Г.Д. Бабаяном, Г.Д. Балакшиным, И.Д. Бондарем, С.С. Бондарем, Т.Р. Кузовым, П.Н.Меньшиковым, В.Д. Суворовым, И.А. Погудиным, В.М. Ушаковым и С.Д. Черным. Работами этих исследователей установлено, что кимберлитовым полям в плане соответствуют локальные участки с аномально высокими граничными скоростями по поверхности Мохоровичича. Поскольку на платформах подобные скорости характерны для значительно больших глубин (150—200 км), следует предположить, что подобная картина обуславливается существенным подъемом плотного мантийного вещества к подошве земной коры. Кроме того, результаты ГСЗ показывают, что в пределах районов проявления кимберлитового магматизма строение верхней и нижней частей земной коры отличается существенной неоднородностью.

При поисках кимберлитовых даек метод глубинного сейсмического

зондирования (так же, как и метод ГМТЗ) рекомендуется использовать для целей регионального прогнозирования, что обеспечивает локализацию районов, перспективных на проявление кимберлитового магматизма.

Аэромагнитная съемка. Аэромагнитная съемка — основной метод поисков кимберлитовых трубок в районах простого геологического строения. Она проводится в масштабах 1 : 25 000—1 : 10 000. Масштаб 1 : 25 000 используется при проведении региональных поисков и решает как задачи геологического картирования территории, так и задачи выявления аномалий "трубчатого типа", обусловленных наиболее крупными кимберлитовыми телами. Вероятность обнаружения аэромагнитной съемкой данного масштаба кимберлитовых даек незначительна, но как показали Г.Д. Балакшин, Д.И. Саврасов, П.Н. Меньшиков наиболее крупные дайки, характеризующиеся повышенной намагниченностью, могут быть выявлены и трассированы по наличию узких линейных геофизических аномалий.

Аэромагнитная съемка масштаба 1 : 10 000 применяется на стадии детальных поисков в пределах перспективной на кимберлиты территории; основные задачи съемки — это обнаружение магнитных аномалий от трубок мелкого и среднего размера, а также от крупных слабомагнитных трубок. Вероятность обнаружения кимберлитовых даек (по сравнению с аэромагнитной съемкой масштаба 1 : 25 000) несколько повышается, разрешающая способность аэромагнитной съемки масштаба 1 : 10 000 все же недостаточна для выявления большей части кимберлитовых даек и жил.

Для проведения аэромагнитных съемок используются тихоходные летательные аппараты. Внедрение протонных и квантовых аэромагнитометров существенно повысило возможность выявления магнитных аномалий от кимберлитовых даек, поэтому при интерпретации материалов съемок особое внимание следует уделять выделению любых по интенсивности аномалий, обуславливаемых линейными объектами.

Комплексная аэрогеофизическая съемка. Этот вид работ включает аэромагнитную съемку, аэрогаммаспектрометрию (АГСМ) и электроразведку; при этом применение метода АГСМ обуславливается наличием в кимберлитах повышенных содержаний тория. Аэроэлектроразведка методом дипольного индукционного профилирования помимо поисков кимберлитов решает различные задачи геокартирования, в том числе задачи выявления и трассирования дизъюнктивных нарушений и части кимберлитовых даек; при этом выделяются также отдельные тектонические зоны в карбонатных породах, перекрытых траппами и различного возраста терригенными образованиями.

Комплексная аэрогеофизическая съемка проводится в масштабах 1 : 25 000—1 : 10 000 и наилучший эффект дает в районах с маломощным (не более 3—5 м) чехлом аллювиально-делювиальных образований. Для поисков кимберлитовых даек комплексная аэрогеофизическая съемка проводится в масштабе 1 : 10 000; применение метода рекомендуется в пределах районов и площадей, перспективных на проявление кимберлитового магматизма. Наличие АГСМ и аэроэлектроразведочных

каналов значительно повышает эффективность комплексной аэрогеофизической съемки для обнаружения кимберлитовых даек по сравнению с аэромагнитной съемкой аналогичного масштаба.

Наземная магниторазведка. Наземные магниторазведочные работы дают хороший эффект при поисках кимберлитовых трубок в открытых районах. Применение новейших моделей магнитометров обеспечивает уверенное выделение аномалий интенсивностью 2—4 мА/м, что позволяет проследивать даже слабомагнитные трубки. Для поисков кимберлитовых трубок наземная магнитная съемка проводится в масштабах 1 : 10 000 (сеть 50 X 100, 100 X 100 м) и 1 : 5000 (сеть 20 X 50 м). В благоприятных геологических условиях (мощность перекрывающих трубки терригенных отложений не превышает 20 м) магниторазведочными работами указанных масштабов оконтуривается, как правило, преобладающая часть кимберлитовых трубок диаметром 50 м и более [12].

Однако эффективность поисков площадными магниторазведочными работами кимберлитовых даек недостаточна, что объясняется в основном незначительной мощностью даек. С целью повышения эффективности обнаружения кимберлитовых даек методами наземной магниторазведки рекомендуется вместо площадных съемок использовать профильные работы: в этом случае измерение магнитного поля ведется по профилям с расстоянием между ними от 50—100 до 200—400 м; расстояние между точками наблюдения по профилю не должно превышать 5—10 м. Магниторазведочные профили ориентируются вкрест установленного (или предполагаемого) простирания кимберлитовых даек.

Гравиразведка. Гравиметрическая съемка в масштабе 1 : 200 000 используется в основном для выявления региональных особенностей структурно-тектонического строения алмазоносной провинции; масштаб 1 : 50 000 — 1 : 25 000 применяется в алмазоносных районах с целью изучения особенностей их структурно-тектонического строения и, в частности, для картирования элементов дизъюнктивной тектоники. В этом плане гравиметрическая съемка масштабов 1 : 50 000 — 1 : 25 000 представляет интерес и для поисков кимберлитовых даек, поскольку к тем или иным системам дизъюнктивных нарушений могут быть приурочены целые серии кимберлитовых даек и жил.

Применение гравиметрических съемок более крупных масштабов при поисках кимберлитовых даек, как правило, неэффективно.

Электроразведка. Метод электропрофилирования на постоянном и переменном токе рекомендуется как основной метод поисков кимберлитовых даек в открытых районах. При использовании методики электропрофилирования с дипольными установками и установками метода срединного градиента кимберлитовые дайки выделяются как линейные зоны повышенной проводимости.

Применение метода электропрофилирования дает наилучший эффект при незначительной (от 3—5 до 10 м) мощности перекрывающих кимберлитовые дайки рыхлых образований. Эффективность метода снижается с увеличением мощности перекрывающих отложений до 20—30 м, при дальнейшем увеличении мощности последних до 40—50 м применение

метода электропрофилирования для обнаружения кимберлитовых даек нецелесообразно.

В алмазоносных районах, характеризующихся значительной мощностью (более 50 м) образований, перекрывающих трубки, а также при наличии в разрезе перекрывающих кимберлиты пород межпластовых интрузий долеритов хороший эффект при поисках кимберлитовых трубок дает метод переходных процессов — кимберлитовые трубки отчетливо выделяются как вертикальные зоны повышенной проводимости. Поскольку аналогичным образом проявляются и дизъюнктивные тектонические нарушения, представляется принципиально возможным рекомендовать для поисков кимберлитовых даек в аналогичных геологических условиях широкое использование зондирований методом переходных процессов.

Сейсморазведка. В последние годы сейсморазведка получила широкое применение для поисков кимберлитовых трубок в районах сложного геологического строения — кимберлитовые трубки обнаруживаются по появлению зоны "тени", изменению волнового поля при прохождении профиля наблюдений через трубку, "задержке" волн, возникновению интенсивного поля вторичных волн и т.д. Помимо кимберлитовых трубок сейсморазведкой методом общей глубинной точки (МОГТ) выделяется также несколько типов тектонических нарушений, начиная от крупных кимберлитоконтролирующих и кимберлитовмещающих разломов и кончая более мелкими тектоническими нарушениями, вдоль которых мощности зон дробления пород не превышают первых десятков метров.

До настоящего времени сейсморазведка для поисков кимберлитовых даек не применялась. Однако хорошие разрешающие способности сейсморазведки даже при выявлении и трассировании сравнительно мелких дизъюнктивных нарушений позволяют рекомендовать ее использование и для прямых поисков кимберлитовых даек. Следовательно, при поисках кимберлитовых даек сейсморазведка может решать как задачи обнаружения крупных рудоконтролирующих и рудовмещающих структур, позволяющих локализовать площади детальных поисков, так и задачи прямого обнаружения кимберлитовых даек. В первом случае сеть сейсморазведочных профилей составляет 3—5 км с последующей детализацией наиболее перспективных участков; при прямых поисках кимберлитовых даек расстояние между сейсморазведочными профилями не должно превышать 0,25—0,50 км.

Радиоволновые методы. Эти методы находятся в стадии опытно-методических исследований. Установлено, что в зависимости от характера разреза вмещающих кимберлиты пород дальность просвечивания варьирует от 200—250 до 400 м.

Каротажные работы. Исследования скважин при поисково-разведочных работах на кимберлиты включают, как правило, гамма-спектрометрический и электрический каротаж, а также каротаж магнитной восприимчивости пород. Каротажные работы проводятся во всех поисковых и разведочных скважинах. Как следует из опыта работ, в процессе каротажа скважин решаются следующие поисковые задачи: а) выявление текто-

нических нарушений, зон дробления и смятия вмещающих пород, а также выделение дизъюнктивных кимберлитоконтролирующих структур; б) непосредственное обнаружение в скважинах кимберлитовых жил и даек при низком выходе керна.

Районирование площадей по геологическим условиям залегания кимберлитовых даек

Проявления кимберлитовых даек в различных алмазонасных провинциях мира характеризуются большим разнообразием горно-геологических условий залегания, в связи с чем необходимо обоснование рационального комплекса поисковых методов применительно к конкретной геологической обстановке. Представляется, что решение поставленной задачи может быть получено путем проведения районирования перспективных на кимберлитовые дайки площадей по степени сложности геолого-поисковой обстановки; последняя учитывает как геологическую, так и экономическую эффективность поисковых работ.

На основании этих факторов районы проявления кимберлитовых даек подразделяются на четыре типа площадей.

I. Открытые площади, характеризующиеся небольшой (до 3–5 м) мощностью элювиально-делювиальных (покровных, аллювиальных и т.д.) образований.

II. Площади, перекрытые палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями мощностью до 20–30 м.

III. Площади, перекрытые палеозойскими и мезозойскими терригенными образованиями мощностью до 100 м и более.

IV. Площади фрагментарного (или сплошного) развития пород трапповой формации мощностью до 100 м и более.

Кимберлитовые дайки могут непосредственно выходить на дневную поверхность или же перекрываться более молодыми породами, причем мощность перекрывающих образований достигает 100–150 м и более. В этих условиях необходимо определить экономический порог глубинности проведения поисковых работ с целью обнаружения кимберлитовых даек. Представляется, что глубинность поисков должна определяться не столько разрешающей способностью существующих методов (и даже не затратами на их проведение), сколько экономической целесообразностью эксплуатации дайкового типа месторождений алмазов на тех или иных глубинах. Расчеты показывают, что на сегодняшний день при значительных содержаниях алмазов и повышенном качестве камней экономически выгодно разрабатывать кимберлитовые дайки, расположенные под перекрывающими породами, на глубине не более 100 м. По-видимому, указанную величину и следует использовать как экономический порог глубинности поисковых работ, дальше которого обнаружение кимберлитовых даек технически возможно, но по экономическим соображениям нецелесообразно.

Комплексирование и технология работ при поисках кимберлитовых даек

Небольшие размеры кимберлитовых даек создают трудности их обнаружения даже в районах простого геологического строения. Эта трудность многократно возрастает при проведении поисков в закрытых районах. Поэтому совершенно очевидно, что повышение эффективности поисковых работ заключается прежде всего в их оптимальном комплексировании. На основании опыта работ в алмазоносных районах Западной Якутии и Гвинейской Республики представляется возможным для каждого типа площадей рекомендовать рациональный комплекс поисковых методов, который, кроме степени сложности конкретной поисковой ситуации, учитывает также разрешающую способность, мобильность, геологическую и экономическую эффективность каждого метода. Различная разрешающая способность рекомендуемых методов обусловила необходимость разделения включенных в комплекс поисковых методов на две категории — обязательные и вспомогательные методы. При этом предполагается, что обязательные методы должны обеспечить прямое решение поисковых задач. Из вспомогательных каждый метод сам по себе решает частные геологические задачи, которые (при их комплексной интеграции) способствуют повышению эффективности обязательных методов.

Рациональные комплексы поисковых методов применительно к каждому типу площадей приводятся в табл. 28. Здесь же приводится разделение рекомендуемых методов на обязательные и вспомогательные.

Многолетний опыт поисковых работ свидетельствует, что даже в районах простого геологического строения с благоприятными перспективами обнаружения кимберлитовых даек получение положительных геологических результатов в большинстве случаев требует существенных затрат денежных средств и материально-технических ресурсов. При усложнении геологической обстановки эти затраты еще более возрастают. С целью максимального повышения эффективности поисков при их планировании и проведении особое значение приобретает не только обоснованный выбор рационального комплекса поисковых методов, но и обеспечение наиболее оптимальной технологии поисковых работ в целом. Следует пояснить, что под технологией поисковых работ понимается проведение выбранного комплекса методов в максимально возможном объеме, соблюдение рекомендованных по каждому методу масштабов исследований и плотности сети наблюдений, использование новейшей аппаратуры и оборудования, обеспечение требуемой точности измерений и высокого качества работ. Основной рекомендацией по обеспечению оптимальной технологии применяемого комплекса является последовательное решение поисковых задач — от региональных к локальным, а также выполнение исследований по видам работ и отдельным поисковым методам в строгом соответствии с их последовательностью, указанной в табл. 28.

| Методы исследований и их модификации | Масштабы исследований, плотность поисковой сети | Поисковые работы с целью выявления алмазоносных районов и площадей | | | Поисковые работы в алмазоносных районах | | | | | | | | |
|--|---|--|---|---|--|----|----|----|---|----|----|---|---|
| | | Специализированные региональные исследования и геологическое картирование масштаба 1 : 200 000 (I-IV*) | Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (I-IV) | Глубинное геологическое картирование масштаба 1 : 50 000 (III-IV) | Поиски и локализация перспективных участков (I, II, III, IV) | | | | Поиски месторождений в пределах перспективных участков (I, II, III, IV) | | | | |
| Дистанционные методы (дешифрирование космоторадиолокационных снимков) | 1) 1 : 200 000— 1 : 500 000 | ++ | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) 1 : 10 000— 1 : 50 000 | - | ++ | ++ | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Геолого-геоморфологические исследования со шпиховым и мелкообъемным опробованием | 1) 1 : 100 000 | ++ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) 1 : 10 000— 1 : 50 000 | - | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | ++ | ++ | + | + |
| Аэромагнитная съемка или комплексная аэрогеофизическая съемка (аэромагниторазведка, АГСМ, аэроэлектроразведка) | 1) 1 : 200 000— 1 : 50 000 | ++ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) 1 : 25 000 | - | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | - | - | - | - |
| | 3) 1 : 10 000 (с радиогеодезией) | - | - | - | + | + | + | + | - | - | - | - | - |

| Методы исследований и их модификации | Масштабы исследований, плотность поисковой сети | Поисковые работы с целью выявления алмазоносных районов и площадей | | | Поисковые работы в алмазоносных районах | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|---|----|----|---|----|----|----|---|
| | | Специализированные региональные исследования и геологическое картирование масштаба 1:200 000 (I-IV*) | Геологическая съемка масштаба 1:50 000 (I-IV) | Глубинное геологическое картирование масштаба 1:50 000 (III-IV) | Поиски и локализация перспективных участков (I, II, III, IV) | | | | Поиски месторождений в пределах перспективных участков (I, II, III, IV) | | | | |
| Гравиразведка | 1) 1:200 000 | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) 1:25 000 1:50 000 | - | + | + | + | + | + | + | - | - | - | - | - |
| Электроразведка: а) глубинное магнитотеллурическое зондирование (ГМТЗ) б) электропрофилирование в) зондирование методом переходных процессов (МПП) | 1) Обосновывается проектом | ++ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) То же | - | - | - | - | - | - | - | ++ | ++ | + | + | - |
| | 3) -"- | - | - | + | + | + | ++ | ++ | + | + | ++ | ++ | - |
| Сейсморазведка: а) глубинное сейсмическое зондирование б) метод общей глубинной точки | 1) Обосновывается проектом | ++ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2) Расстояние между профи- | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Геохимические методы: а) литохимический б) атмосферический в) гидрохимический г) биохимический Магниторазведка | лями 3,0-5,0 км | - | + | ++ | + | + | ++ | ++ | - | - | - | - |
| | 3) То же | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ++ | ++ |
| | 0,25-0,50 км | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ++ | ++ |
| | Сеть в соответствии с масштабом поисков | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| | То же | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | " | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | " | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | 1:5000-1:10 000 | - | - | - | + | + | + | - | ++ | ++ | ++ | + |
| | Обосновывается проектом | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | - | - | ++ | ++ | - | - |
| | То же | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | ++ | ++ | + | + |
| Крупнообъемное опробование аллювиальных отложений | | | | | | | | | | | | |
| Крупнообъемное опробование всех рыхлых отложений района | | | | | | | | | | | | |
| Глубинные площадные поиски при помощи колонковых скважин | -"- | - | - | + | - | - | + | + | - | - | ++ | ++ |
| Радиоволновое просвечивание межскважинного пространства | -"- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + |
| Заверка аномалий (шлиховых, геофизических, геохимических и т.д.) | Тип выработки и расстояние между ними обосновываются проектом | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Каротаж скважин | То же | ++ | + | ++ | - | - | ++ | ++ | - | - | ++ | ++ |

Примечание. "++" - применение метода обязательно; "+" - применение метода рекомендуется с учетом конкретных геолого-геофизических условий исследуемой площади; "-"- - применение метода не рекомендуется.

* Категория сложности местности

Мировой опыт разведки кимберлитовых даек незначителен. В СССР они до настоящего времени не разведывались, а имеющийся опыт разведки кимберлитовых даек за рубежом недостаточен для однозначного обоснования основных методических проблем геологоразведочных работ. Поэтому излагаемые в настоящей работе предложения основываются в значительной степени на опыте разведки и эксплуатации кимберлитовых трубок.

Наиболее прогрессивная методика разведки коренных месторождений алмазов разработана на примере кимберлитовых трубок Якутской АССР и внедрена в практику геологоразведочных работ усилиями советских геологов — А.П. Бурова, А.И. Боткунова, А.А. Горбунова, А.Г. Дьякова, В.Т. Изарова, В.Н. Щукина, Е.Д. Черного и др. При этом использовались теоретические разработки и рекомендации экспертов ГКЗ СССР и ряда советских ученых — Г.П. Воляровича, Ю.В. Гриценко, Д.А. Зенкова, П.Л. Каллистова, А.А. Малаева, В.И. Смирнова и др. Дальнейшее совершенствование методики разведки производилось при активном участии И.Н. Иванова, А.Н. Корзилова, И.М. Корякина, А.И. Крючкова, В.Е. Минорина, В.И. Сафьянникова, И.К. Сарычева и др. Опыт разведки кимберлитовых трубок не может быть полностью перенесен на кимберлитовые дайки. В свете изложенного разработанные рекомендации по разведке дайкового типа месторождений алмазов имеют самый общий характер и требуют уточнения и конкретизации непосредственно в процессе проведения геологоразведочных работ.

Особенности дайкового типа алмазных месторождений

В условиях Западной Якутии кимберлитовые дайки как коренные месторождения алмазов не всегда могут иметь самостоятельное промышленное значение. Исключение составляют районы, освоенные алмазодобывающей промышленностью, где алмазоносные кимберлитовые дайки могут эффективно эксплуатироваться попутно с отработкой коренных месторождений. В районах широкого развития россыпной алмазоносности, в пределах которых кимберлитовые трубки не обнаружены, связанные с кимберлитовыми дайками запасы алмазов могут явиться существенным укреплением минерально-сырьевой базы действующих предприятий. В других алмазоносных провинциях мира кимберлитовые дайки как месторождения алмазов могут иметь важное промышленное значение, в связи с чем работы по их выявлению и оценке должны получить более широкое целенаправленное развитие.

Слагающие дайки кимберлиты имеют массивную или флюидальную текстуру и содержат незначительное (до 5,0 %) количество ксенолитов, представленных мелкими обломками вмещающих и глубинных пород. Для кимберлитов даек в целом характерны повышенные содержания ильменита, перовскита и флогопита. Дайки и жилы кимберлитов имеют прямолинейную или линзовидную форму. Их протяженность составляет

от первых сотен метров до первых километров, обычная мощность равна 0,1–3,0 м (в раздувах – десятки метров).

Отдельные (не связанные с трубками) дайки кимберлитов, характеризующиеся промышленными содержаниями алмазов, зачастую располагаются кулисообразно, ветвятся и образуют сложные зоны протяженностью в десятки километров. Так, например, месторождение Стар представлено серией даек, причем мощности отдельных даек составляют не более 1,0 м; общая длина зоны равна 16,0 км, протяженность разрабатываемого участка – 1,8 км. Дайки месторождения Свартрюнген образуют систему ветвящихся линзовидных тел мощностью до 2,1 м и разрабатываются на протяжении 5,0 км. Вертикальный разрез самостоятельных даек кимберлитов зачастую представляет собой чередование линзовидных раздувов с участками дейкообразного строения и зонами их расщепления на маломощные жилы. Контакты кимберлитовых даек и жил с вмещающими породами, как правило, резкие, отчетливые, в связи с чем границы месторождений определяются границами распространения кимберлитовых пород.

Изменчивость содержаний алмазов в вертикальном и горизонтальном разрезах кимберлитовых даек изучена крайне слабо. Однако по ряду кимберлитовых даек есть сведения, позволяющие предполагать неоднородное распределение алмазов как по простиранию дайки, так и на глубину.

Как уже отмечалось, кимберлитовые дайки содержат повышенное количество кристаллов алмаза ромбододекаэдрического габитуса. Величина алмазов варьирует в широких пределах и колеблется от микроскопических зерен до крупных камней размером 8–10 мм и более в поперечнике. При этом следует отметить, что распределение числа зерен по классам крупности и весовым разрядам крайне асимметрично – вероятность встречи кристалла, как правило, резко убывает по мере возрастания его массы. Анализ гранулометрического состава и качества алмазов по ряду кимберлитовых даек показывает, что отдельные дайки заметно отличаются друг от друга как по ситовой характеристике, так и по сортности камней. По предварительным данным установлено, что гранулометрический состав алмазов в кимберлитовых дайках изменяется главным образом в связи со сменой кимберлитовых пород разных фаз внедрения, причем в более алмазоносных разновидностях кимберлитов повышается и крупность алмазов. В пределах одной разновидности кимберлитов гранулометрический состав алмазов в горизонтальном и вертикальном разрезах существенных изменений, по-видимому, не испытывает.

Стадии разведки и плотность разведочной сети

Геологоразведочные работы с целью определения промышленной ценности кимберлитовых даек, по данным А.П. Дьякова, В.Н. Щукина, осуществляются по нескольким самостоятельным стадиям: а) поисково-оценочные работы; б) предварительная разведка; в) детальная разведка.

Основной задачей поисково-оценочных работ являются разбраковки

кимберлитовых даек по степени их алмазонасности и выбор объектов под предварительную разведку. Поисково-оценочные работы включают комплекс геолого-геофизических исследований с проходкой горных выработок и бурением скважин, а также опробовательские работы на алмазы. По результатам данной стадии ориентировочно определяют морфологию тела, его размеры, условия залегания, при этом широко используются геофизические методы (детальная высокоточная магниторазведка, электроразведка, сейсморазведка, каротаж скважин); среднее содержание алмазов, их гранулометрический состав и сортность оцениваются по месторождению в целом. Для решения геологических задач на стадии поисково-оценочных работ кимберлитовые дайки с поверхности вскрываются канавами или шурфами, с расстоянием между пересечениями не менее 320—400 м. В вертикальном разрезе дайки вскрываются одиночными пересечениями (с расстоянием между ними 640—800 м) на глубину 50—100 м. Кимберлитовые дайки, перекрытые более молодыми образованиями, вскрываются профилями колонковых скважин по такой же сети. По результатам поисково-оценочных работ производится подсчет запасов алмазов по категориям C_2 и P_1 и составляется технико-экономическое обоснование (ТЭО) предварительной разведки месторождения.

Глубина предварительной и детальной разведки кимберлитовых даек обосновывается в каждом конкретном случае технико-экономическими соображениями. Опыт работы, а также предварительные расчеты показывают, что крупные алмазонасные кимберлитовые дайки и серии жил, содержащие высококачественные камни, могут рентабельно эксплуатироваться до глубины 150—200 м. По-видимому, эта глубина (200 м) и должна быть ориентировочно принята в качестве максимальной глубины предварительной разведки кимберлитовых даек; глубина детальной разведки в каждом конкретном случае обосновывается при составлении временных кондиций.

Предварительная разведка проводится с целью изучения морфологии и размеров рудного тела в горизонтальном и вертикальном сечениях, условий залегания, вещественного состава, установления средних содержаний алмазов, ориентировочной оценки гранулометрической характеристики и сортности камней. В общих чертах выясняются горнотехнические условия эксплуатации месторождения, технологические особенности руды, возможные масштабы добычи. Если в технико-экономических соображениях (ТЭС) глубина разведочных работ специально не обосновывалась, то предварительная разведка кимберлитовых даек и серий жил осуществляется на глубину 150—200 м.

Предварительная разведка месторождений дайкового (и жильного) типа с поверхности производится канавами и шурфами, на глубину — колонковыми скважинами. Канавы проходятся до глубины, обеспечивающей уверенное установление контуров рудного тела, и задаются вкрест простирания рудного тела с расстоянием между ними в 160—200 м. После проходки канав и установления контуров дайки (жильной зоны) последняя вскрывается шурфами, которые задаются по рудному телу прямо из канав или располагаются рядом с последними. Глубина шурф-

фов определяется необходимостью опробования кимберлитов в коренном залегании, по которым отбираются одна-две крупнообъемные пробы. Расстояние между шурфами также принимается равным 160–200 м.

На глубину кимберлитовые дайки и серии жил вскрываются скважинами колонкового бурения. Последние располагаются по профилям, ориентированным вкрест простирания рудных тел, расстояния между профилями составляют 160–200 м. По каждому сечению бурятся две наклонные скважины, вскрывающие рудное тело на глубинах ориентировочно 100 и 200 м. В зависимости от характера залегания рудного тела скважины бурятся под углом 75–80° к горизонту. При выходе скважины из рудного тела ее проходка по вмещающим породам должна составить не менее 25–30 м, что обеспечит выявление кимберлитовых жил, сопутствующих основному рудному телу.

По материалам предварительной разведки составляются технико-экономический доклад (ТЭД) и проект временных кондиций, обосновывающих целесообразность проведения детальной разведки месторождения. Мелкие по размерам рудные тела, характеризующиеся повышенным содержанием высокосортных алмазов, могут быть переданы в промышленное освоение по результатам предварительной разведки и выводов технико-экономического обоснования.

Детальной разведке подвергаются только месторождения, получившие положительную оценку по данным предварительной разведки и предназначенные к промышленному освоению в ближайшие годы. Детальная разведка кимберлитовых даек и жил осуществляется с целью определения размеров, морфологии, характера залегания рудного тела и содержания в нем алмазов с точностью, обеспечивающей подсчет запасов алмазов и их квалификацию по категориям В (20–30 %) и С₁ (70–80 %). В процессе детальной разведки существенно уточняются сведения по вещественному составу кимберлитов, характеру распределения алмазов, их гранулометрическому составу, сортности и цене одного карата, технологическому составу руды, гидрогеологическим и горнотехническим условиям эксплуатации месторождения.

Детальная разведка кимберлитовых даек осуществляется при помощи канав, шурфов и колонковых скважин.

При разведке перекрытых даек, расположенных на глубинах свыше 20 м, успешно могут использоваться подземные горные выработки (уклоны, штольни, небольшие шахты со штреками из них и т.д.). На дневной поверхности дайки и жилы вскрываются канавами и шурфами; расстояния между линиями горных выработок (или отдельными выработками) по простиранию рудного тела в значительной степени определяются его размерами и сложностью геологического строения и составляют от 40 до 100 м. Как уже отмечалось, глубина проведения детальной разведки месторождений дайкового типа обосновывается при составлении ТЭД и проекта временных кондиций. Вскрытие, оконтуривание и опробование месторождения в вертикальном разрезе осуществляются колонковыми скважинами, при этом расстояние между участками вскрытия рудного тела по вертикали не должно превышать 80,0–100,0 м.

Скважины располагаются под углом $75-80^\circ$ к горизонту и бурятся навстречу падению рудного тела. Разведанные запасы алмазов подлежат утверждению в ГКЗ СССР.

Основные особенности опробования дайковых месторождений

К опробованию кимберлитовых даек предъявляется ряд требований, связанных со специфическими свойствами этого типа месторождений. При оценке кимберлитовых даек и жил наряду с содержаниями полезного компонента важнейшее значение приобретают такие параметры, как гранулометрический состав и сортность камней. От всех этих показателей зависит способ опробования, масса частных проб и суммарный объем опробования по месторождению в целом. Так как наличие крупных ювелирных камней резко повышает ценность месторождения, гранулометрический состав и сортность алмазов необходимо определять так же надежно, как и их средние содержания.

Надежная оценка средних содержаний алмазов в блоках обеспечивается результатами опробования керна, однако определение гранулометрического состава и сортности камней может быть достигнуто только при помощи крупнообъемного опробования из поверхностных или подземных горных выработок.

Применительно к месторождениям алмазов есть несколько способов определения минимальной представительной массы частной пробы, разработанных А.П. Бутовым, Г.П. Воларовичем, А.Г. Дьяковым, А.П. Божинским, И.С. Рожковым, В.Е. Минориным и др. Предложенные способы несколько различаются по принципиальному подходу к решению проблемы, а отсюда — и по получаемым результатам, при этом расчетная величина частной пробы варьирует от массы, обеспечивающей извлечение одного кристалла алмаза, до массы, позволяющей определить весь гранулометрический спектр камней. Однако все известные на сегодняшний день способы определения минимальной представительной массы пробы малоприменимы для обоснования методики опробования кимберлитовых даек и жил.

Опробование кимберлитовых даек керном производится с целью определения средних содержаний алмазов как в пределах подсчетного блока, так и по месторождению в целом. Основной особенностью кимберлитовых даек, определяющей методику отбора керновых проб, являются небольшие (1–3 м, редкое больше) мощности рудных тел, что обуславливает незначительную длину интервалов бурения скважин по кимберлитам. Последнее, в свою очередь, приводит к получению по каждому участку пересечения скважиной рудного тела сравнительно небольшой массы руды, которая не может обеспечить установление гранулометрического состава алмазов в их природном соотношении. Поэтому наиболее логичным требованием к частной керновой пробе будет требование об установлении качественной характеристики алмазоносности объекта опробования. В таком случае для определения ориентировочной минимальной рациональной массы пробы удобнее всего использовать формулу, рекомендованную А.П. Бутовым и Г.П. Воларовичем:

$$P = Kd/C,$$

где P — искомая масса пробы; d — средняя масса кристалла алмаза; C — среднее содержание алмазов; K — коэффициент, зависящий от надежности определения средней массы кристалла алмаза.

Этой формуле можно придать более общий вид, заменив среднее содержание алмазов на минимальное промышленное, обоснованное для разведываемого объекта или принятое по аналогии с уже оцененными месторождениями, характеризующимися близкими геологическими параметрами, горнотехническими условиями эксплуатации и географо-экономическим положением района:

$$P = Kd/C_{\text{тр}},$$

где $C_{\text{тр}}$ — минимально промышленное содержание алмазов.

Масса пробы, рассчитанная по указанной формуле, обеспечивает, как правило, надежное извлечение каждой пробой хотя бы одного кристалла алмаза.

С учетом изложенного рекомендуется следующая методика опробования керна колонковых скважин. Отбор керновых проб осуществляется как по рудному телу, так и по вмещающим породам экзоконтактовых зон, которые должны опробоваться на расстоянии 5–10 м от контуров дайки. Помимо кимберлитов особое внимание должно уделяться качественному опробованию на алмазы различных зон дробления и брекчирования. Интервал опробования составляет, как правило, 5 м. При меньшей длине интервала пересечения рудного тела в пробу поступает весь добытый материал. С целью увеличения массы пробы квартование керна нецелесообразно — по каждому интервалу опробования оставляют два штучных образца массой 1,5–2,0 кг каждый; по первому образцу изучают вещественный состав, и он служит материалом для различных анализов (минералогического, химического, спектрального и т.д.), а второй — поступает в кернохранилище. С целью увеличения массы керновой пробы колонковые скважины рекомендуется бурить максимально возможным диаметром (111–131 мм). При необходимости увеличения представительности опробования нужно использовать направленное бурение, что позволит получить по каждому локальному участку рудного тела два-три пересечения. Суммарное число керновых проб должно обеспечить оценку средних содержаний алмазов с точностью, соответствующей категории подсчета запасов.

Крупнообъемные пробы отбирают с целью контроля определения средних содержаний алмазов керновыми пробами, а также для установления гранулометрического состава, сортности и стоимости камней. Отбор крупнообъемных проб осуществляется из канав, шурфов и подземных горных выработок. Величина интервала опробования рассчитывается отдельно для каждого типа выработок и определяется необходимостью получения такой массы частной пробы, которая обеспечивает установление каждой пробой природного соотношения кристаллов алмазов основных гранулометрических разрядов (–4+2, –2+1 и –1+0,5 мм). В практике геологоразведочных работ величина интервала опробования обыч-

но составляет: а) по канавам — 1,0–2,0 м; б) по шурфам — 5,0 м; в) по подземным горным выработкам — 2,5–5,0 м. Количество объемных проб и суммарная масса опробованной горной массы должны обеспечить наработку партии алмазов, необходимую для оценки сортности и стоимости камней. Опыт разведки коренных месторождений алмазов свидетельствует, что минимальная масса такой партии составляет не менее 500,0–1000,0 кар.

В практике геологоразведочных работ нередко возникают такие ситуации, когда все крупнообъемные пробы, отобранные из пройденных разведочных выработок, не обеспечивают получения представительной партии алмазов для определения их сортности и оценки стоимости. В таком случае дополнительное количество алмазов рекомендуется получить из валовых проб, которые отбирают из двух-трех крупных граншей, пройденных по простиранию дайки, или из нескольких мелких карьеров, равномерно освещающих разведанный участок месторождения.

Методы опробования месторождений дайкового типа

Методы отбора проб и технология их обработки для кимберлитов разработаны и опубликованы в ряде работ. Здесь остановимся на специфике этих работ при опробовании кимберлитовых даек, так как предшествующие исследования касались в основном кимберлитовых трубок.

При опробовании кимберлитовых даек отбирают протолочные, мелкообъемные и крупнообъемные пробы. Их отбирают для определения минералогического состава породы, количества и качества минералов-спутников алмаза — пироба, пикроильменита, хромшпинелидов. Этому должен предшествовать внимательный визуальный осмотр породы. Пробами необходимо охарактеризовать все разновидности пород и участки даек — приконтактные зоны, центральные части, равномерно всю протяженность дайки. Обычно из дайки длиной 100 м отбирается не менее 10 протолочных проб. Масса проб составляет 5–10 кг. Они дробятся до 1 мм, обогащаются и изучается минералогический состав. В связи с тем, что по протолочкам нельзя установить размеры и морфологию минералов, кроме протолочек необходимо отбирать штуды для шлифовок, а также шлихи из элювия и кор выветривания, где минералы кимберлитовых даек сохраняют первоначальный вид.

Независимо от структурно-петрографических разновидностей кимберлитов, слагающих дайки, число минералов небольшое. Среди них в основной массе мелилит, монтичеллит, серпентин, хлориты, карбонаты, во вкрапленниках — оливин, флогопит, пироксены, гранаты, ильменит, хромшпинелиды, муассанит.

Среднее содержание тяжелой фракции (плотность более 3,2 г/см³) в кимберлитах составляет 1–3 %, поэтому в каждом конкретном случае устанавливается объем протолочных проб.

Мелкообъемные пробы отбираются из кимберлитовых даек для констатации минералов-спутников алмаза (пироба, микроильменита, хромдиоксида). По ним можно также устанавливать и алмазонасность, когда дайки характеризуются средней и высокой степенью алмазонас-

ности. Масса этих проб колеблется в пределах 0,5–2 т. Они отбираются из центральных частей даек в количестве 1–2 проб на 100 м длины дайки.

Необходимо, кроме того, подвергнуть опробованию все крупные раздувы даек. Пробы отбираются на участках, где установлены повышенные содержания минералов-спутников алмаза. Для этого проходятся шурфы или канавы. Обработка проб производится по приведенной схеме.

Крупнообъемное опробование проводится с целью констатации алмазов и предварительного определения их содержания в наиболее перспективных дайках, т.е. на дайках, где уже установлены алмазы, на дайках значительной мощности и содержащих минералы-спутники алмазной ассоциации. В связи с незначительными содержаниями алмазов в кимберлитах масса представительных проб значительная (5–10 т и более). Она рассчитывается по следующей формуле: $P = Kd/C$, где P – искомый объем пробы, m^3 , d – средняя масса кристалла алмаза для данного района, определенная по большому числу кристаллов, мг; C – среднее содержание алмазов в данном районе, mg/m^3 ; K – коэффициент, зависящий от степени надежности определения средней массы алмазов (изменяется от 1 до 2).

Пробы отбирают из даек в местах установленной алмазоносности или равномерно для полученных данных о степени алмазоносности различных частей даек.

Для наработки материала указанных объемов проходят шурфы, канавы, а в некоторых случаях штольни и шахты. Полученный материал обрабатывается на стационарных обогатительных установках по специальным технологическим схемам.

Непременным условием эффективного проведения поисковых и разведочных работ на месторождениях дайкового типа служит надежное определение содержания алмазов в кимберлитах. Одной из специфических особенностей алмазного сырья, отличающей его от других видов минерального сырья, является чрезвычайно низкое содержание ценного компонента. Так, при содержании алмазов в пробе 0,5 кар/т одна часть алмазов приходится на 10 млн. частей твердого вещества пробы. Поэтому разработаны надежные технологические схемы обогащения, которые основаны на физических свойствах алмазов.

Алмаз является одной из кристаллических модификаций углерода. Он кристаллизуется в кубической сингонии и относится к гексаоктаэдрическому классу. Благодаря особой прочности ковалентных связей алмазы характеризуются рядом специфических свойств: большой твердостью, сильным блеском, устойчивостью к кислотам и щелочам. Кристаллы алмазов имеют многочисленные дефекты, вызванные пластическими деформациями и наличием примесей.

Величина алмазов весьма различна: от мелких (0,1 мм и менее) кристаллов массой в десятые доли миллиграмма до крупных в десятки и сотни граммов. Крупные алмазы встречаются весьма редко. За 50 лет эксплуатации африканских месторождений дайкового типа было найдено только около 200 крупных алмазов, что составляет 0,015 % ко всему количеству добытых алмазов. Наиболее часто встречаются в дайках

алмазы крупностью $-8+2$ мм. Алмазы из даек крупнее, чем алмазы из кимберлитовых трубок.

На процесс обогащения влияет также форма кристаллов алмаза. Последние встречаются в виде как хорошо образованных отдельных кристаллов, так и сростков кристаллических зерен различной крупности и формы. Выделяются следующие разновидности алмазов: 1) ювелирные кристаллы высокого качества, совершенной формы, прозрачности, равномерной окраски, без трещин; включений и иных дефектов; 2) технические, включающие три сорта — борт, баллах, конго. Борт — непрозрачные сростки мелких неправильных кристаллов, баллах — шаровидные агрегаты радиально-лучистого строения с более плотной и твердой наружной оболочкой, конго — наиболее низкосортная алмазная мелочь. В кимберлитовых дайках преобладают ювелирные кристаллы и высокоортные технические алмазы.

Все многообразие форм кристаллов алмаза систематизируется в три группы: плоскогранные, кривогранные и переходные. Среди плоскогранных основными формами являются октаэдр, ромбододекаэдр, куб и реже тетраэдр. Кривогранные кристаллы встречаются в виде четырех форм: октаэдронид, додекаэдронид, кубонид и реже тетраэдронид. Обычны различные комбинации всех этих форм.

Алмазы отдельных кимберлитовых даек резко отличаются по размерам и внешнему облику, что обусловлено особенностями их формирования.

Для выбора технологической схемы обогащения большую роль играют физические свойства алмазов и их средний размер. Представление о размере алмазов дают средние данные по кимберлитовым дайкам ЮАР, где кристаллы размером (мм) $-16+8$ составляют 3,1 %, $-8+4-26,3$ %; $-4+2-50,7$ %; $-2+1-10,2$ %; $-1+0,5-8,0$ %; $-0,5-1,7$ %. Из физических свойств в первую очередь необходимо отметить твердость, которая равна 10 по шкале Мооса, плотность — 3,51. Коэффициент трения алмазов очень мал и составляет 0,586—1,235. Алмаз обладает свойством люминесцировать, что также используется при обогащении. Алмазы являются диэлектриками.

Физико-химические свойства поверхности алмазов имеют существенное значение при таких процессах обогащения, как пенная и пленочная флотация, сепарация на липких поверхностях и пенная сепарация.

МЕТОДЫ БОГАЩЕНИЯ

Выбор методов обогащения определяется вещественным составом, свойствами алмазов и сопутствующих минералов. Алмаз и его парагенетические спутники, подлежащие извлечению, обладают относительно большой плотностью, превышающей плотность большинства входящих в пробу минералов кимберлитов. Поэтому для первичного обогащения исходных проб эффективны методы гравитационного обогащения. Как указывалось, алмаз немагнитен, неэлектропроводен, обычно хорошо

люминесцирует в рентгеновских лучах, что создает возможности для применения в доводочных сепарациях магнитной, электрической, рентгенолюминесцентной сепараций. При использовании соответствующих реагентов алмаз может извлекаться методами липкостной, пенной сепарации и флотации.

В результате обогащения необходимо добиться сохранности размеров и природных форм алмазов, максимально полного извлечения алмазов любой крупности, наибольшей степени сокращения объема пробы. Поэтому в технологическом процессе четко выделяются три стадии: 1) раскрытие кристалла алмаза, т.е. освобождение алмазов от вмещающих пород; 2) первичная концентрация алмазов; 3) извлечение алмазов из концентратов.

Те или иные методы раскрытия применяются в зависимости от крепости кимберлитов, слагающих дайки. В случае когда опробуется элювий кимберлита, представленный дезинтегрированным глинистым материалом, для раскрытия алмазов достаточно мокрого грохочения, которое может осуществляться на грохотах любого типа. Если материал очень глинистый, то обязательна его предварительная промывка. Обычно операции дезинтеграции и промывки производятся в одном аппарате.

Для раскрытия алмазов в пробах невыветрелых кимберлитов необходимо применение методов дробления и измельчения. Высвободить алмазы в таких пробах и сохранить при этом формы и размеры кристаллов довольно трудно. Для этого используют щековые, валковые и фрезерные дробилки, шаровые, центробежные, струйные мельницы, мельницы самоизмельчения, электрогидравлические и электроимпульсные способы дробления и дробление методом объемного сжатия. М.И. Маланиным установлено, что в случае использования щековых и валковых дробилок для предотвращения разрушения алмазов необходимо применять стадийное дробление с выводом высвобождающихся кристаллов алмаза после каждой стадии дробления.

Раскрываемость алмазов связана со степенью выветрелости кимберлитов. В кимберлитах, добываемых из верхних частей даек, 85—97 % алмазов раскрывается при дроблении до 20 мм, а додрабливание хвостов дает незначительный прирост раскрытых алмазов. В кимберлитах из более глубоких горизонтов значительная часть алмазов раскрывается только при дроблении до —4 и —2 мм. При этом не всегда можно достичь полного раскрытия всех алмазов при дроблении даже до —2 мм.

Для выделения алмазов из измельченных продуктов в алмазосодержащие концентраты используются гравитационные методы (отсадка, обогащение на концентрационных столах, винтовых сепараторах, в концентрационных чашах и тяжелых суспензиях), магнитная и электрическая сепарация, физико-химические методы обогащения (липкостная сепарация, флотация, пенная сепарация) и термохимическое обогащение.

Отсадка — это процесс, при котором смесь минеральных зерен разделяется в соответствии с их плотностями в вертикальных пульсирующих струях воды (гидравлическая отсадка) или воздуха (пневматическая отсадка). В практике работ используется первый метод. Он применяется

как основной для концентрации минералов крупностью от 25 до 0,5 мм при всех видах опробования.

Обогащение на концентрационных столах используется при обработке зернистого дробленого материала размером -2 мм. Для материала крупностью $-0,5$ мм используются винтовые сепараторы различных марок.

Разделение в тяжелых суспензиях по сравнению с отсадкой характеризуется большой точностью и степенью сокращения, однако в полевых условиях оно технически сложно и экономически невыгодно.

Обогащение на липких поверхностях основано на избирательном прилипании к липкой мази гидрофобных зерен алмаза, находящихся в водной среде. Избирательность прилипания достигается за счет различия в плотности гидратных оболочек, покрывающих зерна алмазов. Усиление гидрофобных свойств алмаза и гидрофильных свойств сопутствующих минералов достигается с помощью реагентов и предварительной механической обдирки материала в мельницах. Широкий диапазон крупности обрабатываемого материала ($-25+0,5$ мм), большая степень его сокращения, высокое извлечение алмазов (до 99 %) позволяют рекомендовать этот процесс в схему обогащения кимберлитов дайкового типа.

Пленочная флотация используется для извлечения алмазов размером -2 мм. Извлечение алмазов достигает 97 %.

Пенная флотация нашла применение для обработки как исходного материала, так и гравитационных концентратов крупностью $-0,5+0,3$ мм. Наиболее эффективно флотируются алмазы из обесшламленной пульпы, из которой удалены частицы тоньше 0,05 мм.

Пенная сепарация используется при материале крупностью -2 мм. Разделение минералов в этом процессе осуществляется в пенном слое, непосредственно на который подается пульпа, уже подготовленная реагентами. Гидрофобные минералы, в том числе и алмаз, удерживаются в пене, а гидрофильные выпадают под действием силы тяжести из потока жидкости, поступающей с исходным материалом. Наличие большой пенной поверхности создает особенно благоприятные условия для прилипания гидрофобных частиц.

Термохимическое обогащение рекомендуется для обогащения класса -2 мм. Этот способ заключается в переводе почти всех сопутствующих минералов (путем сплавления пробы с едким калием или натрием при температуре 500° С) в растворимые соли и в последующем их выщелачивании водой с соляной кислотой. Алмазы остаются в нерастворимом остатке. Извлечение алмазов составляет до 97 %. В зависимости от массы проб (обычно 0,5–5 кг) процесс осуществляется на установках, имеющих различную производительность. Это трудоемкий процесс, который используется для определения наличия алмазов мелких классов.

Для извлечения алмазов из первичных концентратов, полученных в результате приведенных способов, используются люминесцентный, фотометрический, магнитогидростатический методы, магнитная и электрическая сепарация, разделение в тяжелых жидкостях, а также методы, описанные ранее, — термохимический, липкостная, пенная сепарация и все виды флотации.

Люминесцентная сепарация основана на свойстве алмазов люминесцировать под действием ультрафиолетового, рентгеновского и радиоактивного излучения. В рентгеновских лучах и радиоактивных излучениях люминесцируют почти все природные алмазы, кроме карбонадо, которые в кимберлитовых дайках не встречены.

Ультрафиолетовые лучи действуют менее избирательно и, кроме того, в них люминесцирует значительно меньшее количество разновидностей алмазов.

В настоящее время рентгенолюминесцентная сепарация является основной для извлечения алмазов из концентратов. Этот способ применяется для кристаллов крупностью $-25+0,5$ мм. Ультрафиолетовая "подсветка" используется при извлечении мелких алмазов ($-0,5$ мм) под бинокулярным микроскопом из концентратов флотации или термохимического обогащения.

Разделение в тяжелых жидкостях применяется для выделения алмазосодержащих фракций плотностью от 3,2 до 3,6 г/см³ из концентратов и производится с помощью двух жидкостей соответствующих плотностей: 1) жидкость Клеричи — водный раствор смеси малоново-кислого и муравьино-кислого таллия (максимальная плотность 4,25 г/см³); 2) жидкость Туле. Разделение производится в центрифугах.

Магнитогидростатическая сепарация представляет собой модификацию процесса разделения в тяжелых жидкостях. Разделение немагнитных минералов осуществляется в искусственно утяжеленной парамагнитной жидкости. Плотность жидкости регулируют с помощью неоднородного магнитного поля. Наиболее часто употребляемой парамагнитной жидкостью является насыщенный раствор хлористого марганца. Извлечение алмазов при этом составляет 99,1—100 %. Магнитогидростатическая сепарация обычно применяется для обработки концентратов крупностью $-4+0,5$ мм.

Технологические схемы обогащения

Технологические схемы обогащения алмазосодержащих проб определяются их вещественным составом и видом опробования.

Для обработки протолочных проб проводятся промывка исходного дробленого материала кимберлитов и концентрация полученной зернистой фракции.

Третья стадия обработки материала — извлечение алмазов и их минералов-спутников ручной отборкой — производится в минералогической лаборатории. Продуктивная крупность при этом виде опробования представлена классом $-2+0,2$ мм. Объем одной пробы составляет 10—20 л породы.

При мелкообъемном опробовании схемы обработки проб включают уже все три стадии обогащения: раскрытие алмазов, концентрацию их в одном из продуктов обогащения и извлечение их из концентрата. Первая стадия предусматривает избирательное измельчение исходного материала, при котором основная масса пустой породы переходит в класс $-0,5$ мм. Материал крупностью $+0,5$ мм, не поддавшийся избиратель-

ному измельчению, минуя стадию концентрации, но после предварительной сушки и грохочения на классы +4, -4+2, -2+1 и -1+0,5 мм направляется на люминесцентную сепарацию для извлечения алмазов. Хвосты люминесцентной сепарации подвергаются контрольной сепарации, липкостной сепарации, с помощью которой извлекаются слабо- и нелюминесцирующие алмазы.

При крупнообъемном опробовании кимберлитов технологические схемы должны обеспечивать извлечение алмазов любой крупности — от долей миллиметра до десятков миллиметров, поэтому важное значение имеют установление верхнего и нижнего пределов крупности извлекаемых алмазов и определение объема представительных проб. При установлении верхнего предела крупности принимаются во внимание встречаемость в пробах алмазов различной крупности. В настоящее время верхний предел принимается равным 25 мм, а нижний 0,5 мм. Объем исходного материала для крупнообъемного опробования кимберлитов устанавливается расчетным путем в зависимости от крупности извлекаемых алмазов и их содержания; обычно он составляет 10–50 м³.

Схема обработки крупнообъемных проб из даек кимберлитов включает двухстадийное дробление до 25 мм, грохочение дробленого продукта на классы -25+8, -8+4, -4+2, -2+0,5 и -0,5 мм; отсадку материала первых четырех классов; додрабливание хвостов отсадки. Дробленые продукты направляются на предварительное перед отсадкой грохочение. Концентраты отсадки после сушки и контрольного грохочения поступают на рентгенолюминесцентную сепарацию.

Обогатительные установки

Для обработки алмазосодержащих проб в экспедициях и партиях используются обогатительные передвижные установки, а также стационарные установки и фабрики. Для обработки проб из кимберлитовых даек используются в основном стационарные установки, при которых существуют рудные дворы для складирования проб. Стационарная установка состоит из: колосникового грохота с отверстиями 200 мм, на который поступает исходный материал; щековой дробилки; ковшового элеватора, подающего дробленый продукт и просев грохота (класс -25 мм) на два двухдечных вибрационных грохота, выделяющих пять классов крупности: -25+8, -8+4, -4+2, -2+0,5, -0,5 мм: двух отсадочных машин, в которые самотеком поступает класс -25+8 мм; восьми осадочных машин, в которые также самотеком поступают три средних класса крупности; комплекта аппаратуры для обогащения класса -0,5 мм; барабанного истирателя для "обдирки" концентратов отсадки всех классов крупности перед сушкой; двух валковых дробилок для доизмельчения хвостов отсадки; ковшового элеватора, подающего продукты додрабливания снова на грохот; барабанного истирателя для периодической обработки отбираемых проб хвостов класса -2+0,5 мм на определение содержания в них алмазов методами пенной сепарации, флотации, термохимического и выщелачивания. Участок конечной обработки концентратов представлен сушильным агрегатом, вибрационным

прохотом, двумя рентгенолюминесцентными сепараторами, липкостными и флотационными сепараторами.

Приведенная методика отбора и обработки проб из месторождений дайкового типа должна соблюдаться и совершенствоваться.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЦЕНКИ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЙКОВОГО ТИПА

Геолого-промышленная оценка алмазных месторождений дайкового типа должна отличаться своими особенностями, так как эти месторождения характеризуются специфическими чертами, и в первую очередь небольшими масштабами, что, казалось бы, снижает их ценность, но в то же время высокая сортность алмазов и большая масса кристаллов увеличивают значение этих месторождений.

Оценка алмазных месторождений дайкового типа проводится на различных стадиях геологоразведочного процесса и отличается при этом главным образом полнотой и представительностью исходных данных, т.е. надежностью определения геологических границ, содержания алмазов и их распространения в месторождении, изученностью геологических, горнотехнических и гидрогеологических условий.

Оценка месторождений на стадии поисков базируется на недостаточно точных, а порой весьма приблизительных исходных данных, осуществляется по ограниченному числу показателей и носит ориентировочный характер. Главной чертой ее является использование аналогий с детально разведанными и эксплуатируемыми месторождениями. Она должна производиться исходя из условий безубыточной отработки и обеспечивать вовлечение в разведку всех промышленно потенциальных месторождений.

Большое значение имеет геолого-промышленная оценка, осуществляемая по результатам предварительной разведки. Наиболее строгой и точной является оценка по данным детальной разведки.

В повседневной работе мы встречаемся с различными понятиями оценок, при этом термины "оценка" и "ценность" месторождения часто применяют и понимают различно. Оценкой, например, некоторые исследователи называют определение промышленных запасов месторождения и его характеристику в отношении состава, технологических свойств руд, геологических условий эксплуатации, экономики района месторождений и т.д. Оценкой также называют определение перспектив эксплуатации месторождения по ежегодно добываемому количеству алмазов. Оценкой иной раз называют определение народнохозяйственного значения алмазов, заключенных в месторождении, т.е. характеристику его в смысле полезности и потребительской стоимости.

Этот разносистемный подход к определению термина "оценка" привел к тому, что в отечественной литературе встречаются многочисленные понятия, такие, как геологическая оценка, промышленная оценка, экономическая оценка, геолого-промышленная оценка, геолого-экономическая оценка и реже промышленно-экономическая оценка месторождений алмазов.

Все перечисленные понятия могут быть применимы. Каждое из них имеет свои преимущества и недостатки. Они характеризуют месторождение на определенной стадии его изученности. Однако из всего многообразия понятий следует особо выделить геолого-экономическую оценку, так как она наиболее полно учитывает факторы, характеризующие месторождение, в частности геологическую характеристику и взаимосвязанные с геологической позицией технико-экономические показатели будущего горного предприятия.

Остановимся на отдельных понятиях оценки месторождений. В процессе проведения геолого-съёмочных, поисково-разведочных и детальных геологоразведочных работ изучают геологическое строение участка, условия залегания кимберлитов, определяют масштаб и величину запасов алмазов и попутных компонентов, а также горнотехнические и гидрогеологические условия месторождения. Вся эта тщательно задокументированная информация составляет основу для геологической оценки месторождения.

На стадии освоения месторождения особое значение приобретает промышленная оценка, при которой учитываются годовая производительность будущего предприятия, система вскрытия и отработки месторождения, схема обогащения процесса и необходимое горное и обоганительное оборудование.

Экономическая оценка учитывает комплекс всех геологических, горных и обогащательных факторов и определяет общие показатели рентабельности и народнохозяйственной эффективности освоения месторождения. Г.Г. Гудалин отмечает, что при определении сырьевой базы горнодобывающего предприятия, промышленное освоение которого дает наибольший экономический эффект, учитывают масштаб запасов и качественную характеристику месторождений. Более высокую оценку получает месторождение, освоение которого дает большой экономический эффект по сравнению с другими объектами, при условии, что освоение каждого из этих объектов предусмотрено по оптимальному технико-экономическому варианту. Таким образом, экономическая оценка является сравнительной операцией, с помощью которой можно определить порядок очередности промышленного освоения месторождений в зависимости от экономического значения каждого из них. Основными показателями экономической оценки служат стоимостные показатели — цены, рентабельность производства, общие и удельные капитальные вложения, эффективность капитальных вложений.

Рентабельность предприятия, являющаяся разностью между ценой и себестоимостью продукта в расчете на его годовой выпуск или на единицу, характеризует экономический эффект работы предприятия при условии, что цена выражает стоимость продукта.

Известно, что главным фактором при выборе того или иного разведанного объекта для освоения промышленностью является сравнительный экономический эффект при их эксплуатации. Большинство специалистов отмечает, что эффект от освоения месторождений определяется комплексной геолого-экономической оценкой. Эта оценка учитывает

ряд природных и экономических факторов — количество и качество природных запасов месторождения и их стоимость, условия залегания кимберлитовых даек, годовую производительность горного предприятия, стоимость и рентабельность добычи алмазов, объем капитальных вложений для освоения месторождения, их эффективность, сроки строительства.

Таким образом, только при помощи комплекса указанных показателей, а не одного какого-либо из них можно определить народнохозяйственную ценность алмазного месторождения дайкового типа по сравнению с другим. Следовательно, геолого-экономическая оценка может быть правильно оценена лишь особым методом анализа, заключающимся в комплексном сочетании геологии и экономики. Она имеет сравнительный характер, зависящий от условий развития народного хозяйства и баланса минерального сырья.

Как считает Н.П. Вольнец, геолого-экономическая оценка основана на изучении причинозависимостей экономических показателей стоимости алмазов, потребных единовременных капиталовложений и сроков освоения, зависит от различных геологических факторов, характеризующих месторождения и их запасы.

Геолого-экономическая оценка является одним из этапов экономической оценки месторождений алмазов, и основная ее цель — выявление и оценка общих промышленных ресурсов данного полезного ископаемого. Геолого-экономическая оценка служит как бы продолжением геолого-промышленной оценки и проводится в том случае, когда последняя дала положительный результат. Следовательно, если месторождение оказывается непромышленным или не имеет важного значения в народном хозяйстве страны, то нет необходимости проводить его геолого-экономическую оценку, а достаточно ограничиться геолого-промышленной.

Таким образом, геолого-экономическая оценка алмазных месторождений дайкового типа является важнейшим актом, которым определяется народнохозяйственное значение того или иного объекта. Эта оценка проводится на определенном этапе изученности месторождения и технико-экономического состояния промышленности. Геолого-экономическая оценка не постоянна, она подлежит периодическому пересмотру в зависимости от параметров месторождения, выявления новых, более богатых кимберлитовых даек, изменения технологического уровня производства, внедрения новой техники при разработке, совершенствования технологии добычи и обогащения руд, а также в связи с изменением общей конъюнктуры на алмазы.

Разработкой вопросов экономической оценки минерально-сырьевых ресурсов занимались Н.И. Трушков, К.Л. Пожарицкий, М.Н. Просняков, И.Е. Спектер, П.Л. Каллистов, Н.А. Хрушев, Д.Н. Павленко, М.И. Агошков, В.В. Померанцев, Н.А. Быховер, Г.Г. Гудалин, Ю.А. Соколовский. Большой вклад в разработку вопросов геолого-экономической оценки алмазных месторождений внесли В.В. Стефанович, П.Л. Каллистов, Н.П. Вольнец, Ю.И. Камышев, А.А. Бохон.

При геолого-экономической оценке месторождений алмазов, кроме

указанных показателей, необходимо учитывать перспективную потребность народного хозяйства в этом сырье, геологические, горнотехнические и географо-экономические условия размещения месторождений алмазов, их качество. Последнее имеет большое значение при геолого-экономической оценке месторождений.

В отличие от других полезных ископаемых, по которым определена оптовая величина товарной продукции, учитываемая при геолого-экономической оценке и технико-экономических расчетах при проектировании предприятий, алмазы не имеют оптовой цены в обычном понимании. Их стоимость определяется соответствием определенной сортности алмазов.

При экономической оценке должны учитываться и природные, и экономические факторы. От общих запасов месторождения зависит годовой объем добычи алмазов, возможность использования высокопроизводительного оборудования, следовательно, размеры общих и удельных капитальных затрат. С другой стороны, чем выше экономические показатели освоения месторождения, тем больше возможность включения дополнительных запасов в промышленный контур.

К природным факторам относятся запасы алмазов, выявленные в итоге проведения геологоразведочных работ. Эти разведанные запасы являются подготовленным сырьем, на их базе могут проектироваться горные предприятия. Горнодобывающая промышленность осваивает не все известные месторождения, а лишь те, которые экономически выгодно разрабатывать на данном этапе развития производительных сил. Следовательно, при подготовке объектов к промышленному освоению необходимо учитывать не только указанные геологические факторы, но и ценность алмазов, которая оказывает значительное влияние при определении целесообразности отработки месторождения.

Существующая в настоящее время практика подсчета и оценки разведанных запасов алмазов не учитывает качественную характеристику алмазов и их сортность. Подсчет запасов алмазов в разведываемых месторождениях производится по количеству карат алмазов в единице объема горной массы или тонне руды без учета качества самих кристаллов алмаза, т.е. не по сортам и не в денежном выражении, а только по массе.

Известно, что качество алмазов, а следовательно, их стоимость и цена в разных районах и даже в отдельных дайках одного и того же района весьма различны. Так, в ЮАР цена 1 кар из месторождений дайкового типа колеблется от 5 до 900 дол. Встречаются уникальные ювелирные алмазы, которые оцениваются поштучно в тысячу и более долларов за карат. В то же время низкосортные алмазы, пригодные для технических целей, ценятся в десятки и сотни раз ниже. Однако до сих пор не разработана методика учета содержания различных по качеству алмазов и использования этих данных при расчете кондиций, оценке алмазных месторождений и подсчете запасов.

Таким образом, роль качества кристаллов при оценке алмазных месторождений и особенно дайкового типа, которые характеризуются ограниченными запасами, имеет большое значение при рассмотрении во-

проса об определении промышленных кондиций для разведываемых месторождений.

Установлено, что качество алмазов (количество ювелирных и технических сортов, крупность, цвет и дефектность) различно для каждого месторождения. Уже это одно определяет их разную стоимость. С учетом этого положения, а также в связи с тем, что средняя цена одного карата алмазов в одних месторождениях в несколько раз выше, чем в других, для геолого-экономической оценки алмазных месторождений важно не весовое содержание в горной массе, а стоимость алмазов, заключенных в одной тонне каждого конкретного месторождения. Отсюда следует, что одной из важнейших задач геолого-экономических исследований является оценка месторождений в денежном выражении и подсчет запасов с учетом сортности и стоимости алмазов. Это позволит вовлечь в эксплуатацию ряд кимберлитовых даек, небольших по запасам, но с высоким качеством алмазов, а следовательно, выгодных с точки зрения получения максимального экономического эффекта. Для этой цели необходимо разработать научно обоснованную классификацию алмазов, которая отражала бы действительную ценность добываемой продукции.

Кроме того, при определении стоимости алмазов, учитываемой при технико-экономических расчетах и геолого-экономической оценке месторождений, необходимо исходить не только из действующих преysкуранных цен на алмазы, но и учитывать также поступления от реализации алмазов на экспорт и прибыль, получаемую от внедрения и применения алмазов в народном хозяйстве.

При оценке и подсчете запасов алмазных месторождений не учитываются в полной мере качество алмазов и их денежная стоимость. Стоимость добычи одного карата, планируемая для горнорудной промышленности, также не учитывает качество камней. Это не создает необходимого стимула горным предприятиям для добычи высококачественных алмазов и не обеспечивает заинтересованности в освоении новых месторождений алмазов, расположенных в труднодоступных районах, но содержащих алмазы высокого качества.

Существует острая необходимость и целесообразность разработки принципиально новой методики оценки алмазов для дайкового типа месторождений, а следовательно, и новой методики геолого-экономической оценки этих месторождений с учетом высказанных положений.

При геолого-экономической оценке большую роль играют кондиции. Кондиции нельзя рассматривать изолированно от геолого-экономической оценки, они взаимосвязаны. Характер этой связи очень сложный и проявляется на стадии поисково-разведочных работ, по результатам которых составляется предварительная геолого-промышленная оценка. Промышленные кондиции являются результатом и составной частью геолого-экономической оценки месторождений. Запасы алмазов как геолого-экономическая характеристика определяются соответствующими количественной и качественной параметрами, которые в значительной степени лимитируются установленными кондициями. Кондиции на алмазы — это сумма показателей, устанавливающих минимально промышленное

содержание и количество запасов в данном месторождении, обеспечивающих при правильной организации производства и действующих оптовых ценах рентабельную разработку месторождения. Посредством кондиций промышленность предъявляет необходимые требования к количеству и качеству алмазов в месторождении и его горно-геологическим условиям.

За рубежом эксплуатировалось и эксплуатируется более 50 месторождений алмазов дайкового типа с содержанием от 0,2 до 10 кар и более на тонну кимберлита. В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к снижению минимально промышленных содержаний при расчете кондиций. Небольшие по запасам месторождения дайкового типа с невысокими содержаниями, но с высокой сортностью алмазов разрабатываются на небольших рудниках с малой производительностью. Часть даек, расположенных вблизи разрабатываемых трубок, эксплуатируется совместно.

Основные положения, закладываемые в расчет кондиций на алмазы, как было показано, своеобразны, и к кондициям на алмазные месторождения должно быть особое, несколько отличное отношение, чем к кондициям других плезных ископаемых. При обосновании кондиций необходимо учитывать потребности народного хозяйства в алмазах и перспективы роста этих потребностей в целом по стране, количественную и качественную характеристику числящихся на балансе запасов и относительную значимость запасов по разведанному месторождению, наконец, степень удовлетворения потребности страны в алмазах действующими горнодобывающими предприятиями и перспективу развития производственных мощностей, намечаемых для достижения выпуска готовой продукции в необходимых количествах.

Кондиции должны обеспечивать рентабельную работу предприятия, поэтому при определении минимально промышленного содержания следует принимать в расчет оптовую цену на готовую продукцию. Чем выше оптовая цена одного карата алмазов, тем ниже минимально промышленное содержание.

Таким образом, величина минимально-промышленного содержания определяется извлекаемой ценностью алмазов, причем под извлекаемой ценностью необходимо понимать тот экономический эффект, который получит государство от применения весовой единицы получаемой продукции в народном хозяйстве. Это положение очень важно для алмазов, так как кроме широкого их применения в промышленности алмазы являются валютой — этим и определяется их особая важность и ценность. Однако при определении извлекаемой ценности алмазов возникает много трудностей. До сих пор отсутствуют четкие критерии определения истинной стоимости одного карата алмазов. Кроме того, следует подчеркнуть, что в основных положениях по составлению кондиций много неясностей и дискуссионных вопросов, порождающих многозначность решений при расчетах кондиций.

Несовершенство применяемых расчетов кондиций приводит к отсутствию четких критериев для определения промышленной ценности место-

рождений и крайне отрицательно влияет на определение целесообразности и очередности выбора объектов для детальной разведки и эксплуатации.

В целях обеспечения наиболее полного вовлечения в эксплуатацию месторождений алмазов дайкового типа необходимо упорядочить методику определения истинной стоимости алмазов и цены одного карата, закладываемой в расчеты кондиций для подсчета запасов и технико-экономических обоснований освоения алмазных месторождений. В этом случае при составлении расчетов кондиций на алмазы было бы правильно как главный фактор учитывать народнохозяйственную эффективность от поставки алмазов на экспорт. Н.П. Волынцом предложена формула для расчета кондиций с учетом высказанных соображений:

$$C = \frac{P}{K_c \cdot K_i \cdot (1 - K_p)}, \quad K_c = C_v + C_{\text{эф}} + C_{\text{эк}},$$

где: C – минимально промышленное содержание (кар/т), P – эксплуатационные расходы на 1 т руды (руб.), K_c – комплексная цена одного карата, которая учитывает поступления от реализации алмазов внутри страны (C_v) и экономического эффекта использования и применения алмазов в различных отраслях хозяйства ($C_{\text{эф}}$) и поступления от поставки алмазов на экспорт ($C_{\text{эк}}$), K_i – коэффициент извлечения алмазов, K_p – коэффициент разубоживания.

При таком подходе сохраняются два основных положения, учитываемых в расчетах кондиций: себестоимость единицы продукции и ее ценность. Естественно, что чем выше цена, закладываемая в кондиции, и чем ниже себестоимость добычи, тем лимиты промышленных кондиций ниже и наибольшее количество дайковых месторождений будет вовлечено в эксплуатацию.

Результатом геолого-промышленной оценки является районирование территории развития месторождений дайкового типа. Выделяются районы по принципу их ценности, очередности освоения, количеству алмазов.

В заключение необходимо отметить, что подход к геолого-экономической оценке месторождений алмазов дайкового типа требует творческого учета всех параметров, и в первую очередь необходимо детально изучать качество алмазов, тем более, что оно обычно выше, чем в кимберлитовых трубках.

За рубежом дайки, сопряженные с разрабатываемыми кимберлитовыми трубками, почти все отрабатываются вне зависимости от запасов. Кимберлитовые дайки, расположенные вдали от промышленных месторождений, разрабатываются при высоком содержании и в том случае, когда они содержат крупные ювелирные алмазы.

Приведенный материал показывает, что дайковый тип алмазных месторождений нуждается в специальном выделении и изучении. Он характеризуется своей спецификой, для него разработаны свои методы

поисков и разведки. Алмазы из месторождений дайкового типа обладают отличительными свойствами, они более крупные по сравнению с алмазами кимберлитовых трубок, высокого качества, в основном кристаллические, содержат незначительное количество включений.

Содержание алмазов в кимберлитовых дайках самое разнообразное и достигает в ряде случаев десятков карат на тонну. Такие дайки разрабатываются самостоятельно.

Во многих алмазоносных провинциях они являются первоисточниками россыпей. Особенно это четко проявилось в Гвинейской Республике на территории Африкано-Аравийской платформы.

Изучение алмазов месторождений дайкового типа в пределах мировых провинций показывает, что и на территории СССР этому типу необходимо уделять более пристальное внимание, чем это делалось до сих пор, так как именно за счет него возможно улучшение сырьевой базы высококачественных алмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазные месторождения Якутии / А.П. Борбиевич, М.И. Бондаренко, М.А. Гневушев и др. М., Госгеолтехиздат, 1959, с. 527.
2. Балакшин Г.Д., Пляскина Р.А. Строение фундамента в Далдыно-Алаkitском алмазоносном районе. — Геология и геофизика, 1970, № 6, с. 95–103.
3. Брахфогель Ф.Ф., Ковальский В.В. О возрасте кимберлитовых тел Сибирской платформы. — Сов. геология, 1978, № 4, с. 133–139.
4. Владимиров Б.М., Твердохлебов В.А., Колесникова Т.П. Геология и петрография изверженных пород юго-западной части Гвинейско-Либерийского щита. М.: Недра, 1971, с. 242.
5. Докембрийские алмазоносные формации мира / М.П. Метелкина, Б.И. Прокочук, О.В. Суходольская и др. М., Недра, 1976, с. 133.
6. К вопросу об алмазоносности кимберлитовых пород жильной фации (на примере кимберлитовой жилы А-21 Мало-Ботуобинского района, Якутия) / А.Д. Харьков, В.Н. Шукин, Е.И. Борнс и др. — Докл. АН СССР, 1973, том 209, № 6, с. 1425–1428.
7. Маршинцев В.К., Мигалкин К.Н. Природа внутритрубочных кимберлитовых жил. — Геология и геофизика, 1979, № 7, с. 63–69.
8. Методы отбора и обработки проб при поисках месторождений алмазов / Под ред. Б.М. Зубарева. М.: Недра, 1984.
9. Милашев В.А. Кимберлитовые провинции. М.: Недра, 1974.
10. Михайлов Б.М. Геология и полезные ископаемые Либерийского щита. — Тр. ВСЕГЕИ, 1969, т. 167.
11. Парасотка Б.С., Погудин И.А., Саврасов Д.И. Эффективность магниторазведки при поисках алмазоносных кимберлитовых трубок в Мало-Ботуобинском районе. — В кн.: Геологические результаты геофизических исследований в Якутской АССР. Иркутск, 1972, с. 136–147.
12. Саврасов Д.И. Слабомагнитные кимберлитовые тела и предпосылки их обнаружения магниторазведкой. — В кн.: Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск, 1976, с. 87–97.
13. Соболев Н.В. О минералогических критериях алмазоносности. — Геология и геофизика, 1971, № 3, с. 70–80.
14. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов. М.: Недра, 1980.
15. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. М.: Недра, 1979.
16. Харькив А.Д. Кимберлитовые жилы, сопряженные с трубками, как самостоятельная фаза кимберлитового магматизма. — Докл. АН СССР, 1975, т. 224, № 1, с. 190–193.
17. Черный Е.Д., Ягнышев Б.С. Применение геохимических методов поисков кимберлитовых тел в Якутии. — В кн.: Геохимические методы поисков в северных районах Сибири. Новосибирск: Наука, 1984, с. 26–29.
18. Шуберт Ю., Фор-Мюре А. Тектоника Африки. М.: Мир, 1973, с. 270.
19. Ягнышев Б.С. Поиски кимберлитовых тел по вторичным (погребенным) ореолам рассеяния. — В кн.: Геохимические методы поисков в северных районах Сибири. Новосибирск: Наука, 1984, с. 85–92.
20. Atkinson W.J., Hughes F.E. Smith C.B. A review of the Kimberlitic rocks of Western Australia: in Kornprobst J. (Ed.) Kimberlites I. Kimberlites and related rocks, Elsevier, Amsterdam, 1984, p. 195–224.
21. Bardet M.G. Gisements de diamants d'Afrique. In: Geologie du diamant. Mem. Bur. rech. geol. et mines, 1974, v. 2, No 83, 229 p.
22. Gurney J.J. Swizer G.S. The discovery of garnets closely related to diamond in the Finsch pipe. South Africa. Contr. Miner. and Petrol. 1973, v. 39, No 2.

23. *Haggerty S.E., Bence R.J., McMahon B.M.* Kimberlites in Western Liberia. III Mineral chemistry. Kimberlite Symposium II, Cambridge, July 1979.
24. *He Guan Zhi* Kimberlites in China and their major components: a discussion on the physico-chemical properties of the Upper Mantle: In Kornprobst J. (Ed.) Kimberlites. I: Kimberlites and related rocks, Elsevier, Amsterdam, 1984.
25. *Knopf D.* Kimberlites et le roches apparentees de cote d'Ivoire. Sodemi-Abidjan., 1970.
26. *Nixon P.H.* Lesotho Kimberlites., 1973, Lesotho Nation. Develop. Corp.
27. *Sche S.R., Gurney J.J.* The mineralogy of xenoliths from the Orapa, Botswana. Mantle sample: inclusions kimberlites and other volcanics. Proc. 2-nd. Int. Kimberlite Conf. v. 2, Washing. D. C., 1979, p. 37-49.
28. *Scott Smith B.H., Danchig R.V., Harris J.W., Stracke K.J.* Kimberlites near Ororoo, South Australia. - In: Kornprobst J. (Ed.) Kimberlites. I: Kimberlite and related rocks. Elsevier Amsterdam, 1984.
29. *Svisero D.P., Meyer H.O., Hsiao-Meng Tsei.* Kimberlite minerals from Vargem (Minas Gerais) and Redonso diatreme. Rev. Bras. Geociencias, 1977, v. 49.
30. *Wagner P.A.* The diamond fields of Southern Africa. C. Sruik, Cape Town, 1971, 353 p.
31. *Woolsey T.S.* Physical modelling of diatreme emplacement, Intern. Conf. Toun., 1973, p. 325-328.
32. *Zhang Ruyan, Liu Bingguang.* Kimberlites from North China. Geochemical Journal, 1983, v. 17, p. 209-221.

УКАЗАТЕЛЬ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Альфа дайка 103

Ананта-Пур 52

Бананкорское кимберлитовое поле 17, 18, 19, 115

Бельсбенк 39, 40, 41, 119

Бета, дайка 103

Боби 10, 11, 113, 114

Боу-Хилл 59

Бунудинское кимберлитовое поле 14, 114

Бута-Буте 43, 120

Виктория, дайка 103

Горбатая, дайка 110

Горняцкая, дайка 97

Группа кимберлитовых тел Улахан-Лучакан 103

Дайка № 1 69, 71, 72, 77

Дайка № 4 73, 77

Дайка № 7 77

Дайка А-21 63

Дайка 213 67

Дайки на площади Дарварского кратона 52

Дайки Фенарийского кимберлитового поля 16, 17, 114

Дайки Ферубанского кимберлитового поля 22, 116

Дайки филлитов на площади Диамантина 48, 49, 121

Дайки Верхне-Мунского района 95

Дайки Куонамского района 100

Дайки Нижне-Оленекского района 98, 99

Дайки Приленского района 99, 100

Дайки ручья Тройного 97

Жила № 2 трубки Удачная 81, 82

Жила № 3 трубки Удачная 81, 83

Жила № 6 86

Жилы сопряженные с трубкой Айхал 88, 90, 92, 94

Ингаши 63

Камферсдам 38

Кениеба 13

Каша, дайка 110

Кимберлитовые тела Средне-Оленекского района 95, 96

Кимберлитовые тела Северо-Китайской платформы 53, 54, 55, 56, 57

Кюиду 24, 116

Коффифонтейн 38, 45

Лондо 25

Лоффа 25, 26, 117

Молибамайсо 44

Маконское кимберлитовое поле 20, 115

Мауди-Крик 58

Митзик 28, 29, 118

Ньюлендс 41

Пангума 116

Полуночная 68

Райеме 25

Робертс-Виктор 38

Рюстенберг 35

Самакони 127

Свартрюгенс 35

Случайная, дайка 102

Спак 45

Спортивная, дайка 103

Тубабуко 8, 10, 113

Тело № 2 85

Унукит-1, дайка 96

Унукит-2, дайка 96, 97

Хайыргастах, дайка 110

Эгиентей, дайка 97

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|------------|
| Предисловие | 3 |
| Глава I. Геология кимберлитовых даек | 4 |
| Африкано-Аравийская платформа. | 4 |
| Западная Африка | 4 |
| Строение и этапы геологического развития | 4 |
| Главные циклы базитового и щелочно-ультраосновного магматизма | 5 |
| Дайки кимберлитов позднепротерозойского возраста | 8 |
| Дайки кимберлитов позднемезозойского возраста | 13 |
| 1. Лесная Гвинея | 13 |
| 2. Сьерра-Леоне | 23 |
| 3. Либерия | 25 |
| Центральная Африка | 27 |
| Строение и этапы геологического развития | 27 |
| Дайки кимберлитов протерозойского возраста. | 28 |
| Южная Африка. | 30 |
| Строение и этапы геологического развития | 30 |
| Главные циклы основного и щелочно-ультраосновного магматизма. | 32 |
| Дайки кимберлитов (?) верхнего протерозоя | 32 |
| Дайки кимберлитов мезозойского возраста. | 34 |
| Южно-Американская платформа. | 46 |
| Строение и этапы геологического развития области распространения алмазоносных "филлитов". | 47 |
| Дайки алмазоносных "филлитов" района Дамантина | 48 |
| Индостанская платформа | 52 |
| Северо-Китайская платформа. | 53 |
| Кимберлитовые и лампроитовые дайки Западной Австралии | 58 |
| Сибирская платформа | 61 |
| Самостоятельные дайки | 61 |
| Дайки, сопряженные с трубками. | 68 |
| Дайки севера Якутской провинции | 94 |
| Некоторые вопросы происхождения кимберлитовой магмы и образования дайковых форм кимберлитовых тел | 110 |
| Глава II. Проблема алмазоносности кимберлитовых даек | 113 |
| Африкано-Аравийская платформа. | 113 |
| Западная Африка. | 113 |
| Центральная Африка | 118 |
| Южная Африка. | 118 |
| Алмазоносность "филлитов" Южно-Американской платформы | 121 |
| Глава III. Кимберлитовые дайки как источник алмазных россыпей | 122 |
| Роль одиночно расположенных кимберлитовых даек | 122 |
| Одиночные кимберлитовые дайки с раздувами. | 128 |
| Роль группы сближенных даек при формировании алмазных россыпей. | 129 |

| | |
|---|-----|
| Глава IV. Методика поисков, разведки и оценки месторождений алмазов дайкового типа | 132 |
| Методы поисков кимберлитовых даек | 132 |
| Геологические методы | 133 |
| Геохимические методы | 142 |
| Геофизические методы | 148 |
| Районирование площадей по геологическим условиям залегания кимберлитовых даек | 153 |
| Комплексирование и технология работ при поисках кимберлитовых даек | 154 |
| Методика разведки кимберлитовых даек | 158 |
| Методы обогащения | 166 |
| Некоторые вопросы геолого-промышленной оценки алмазных месторождений дайкового типа | 171 |
| Список литературы | 179 |
| Указатель кимберлитовых тел | 180 |

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Зубарев Борис Матвеевич

ДАЙКОВЫЙ ТИП АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Заведующий редакцией *В.А. Крыжановский*
Редактор издательства *Л.А. Журавлева*
Обложка художника *В.Л. Христинина*
Художественный редактор *Г.Н. Юрчевская*
Технические редакторы *Н.С. Анашкина, О.В. Власова*
Корректор *Е.М. Федорова*
Оператор *Н.Б. Жилина*
ИБ № 8158

Подписано в печать с репродуцируемого оригинал-макета 28.10.88. Т-17071.
Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 2. Усл.печл. 11,5. Усл.кр.-отт. 11,88.
Уч.-издл. 13,50. Тираж 990 экз. Зак. № 43. /2099-2. Цена 2 р. 70 к.
Набор выполнен на наборно-пишущей машине.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра".
125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
300600, г. Тула, проспект Ленина, 109.



10и СК 3

5552

Издательство "Недра"
выпускает в свет в 1990 году книгу
"РАЗВЕДКА И ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ"
(авторы А.М. Сечевица, В.В. Иванов,
В.Н. Иванов, Н.П. Данилова, В.П. Кувшинов,
О.В. Кондрашова, А.Н. Цибизов).

Обоснована актуальность исследований по разработке методики изучения и оценки комплексных месторождений в связи с возрастающим народнохозяйственным значением их промышленного освоения. Сформулированы понятия рационального и комплексного использования минерального сырья, определены общие особенности попутных полезных ископаемых и компонентов как объектов изучения в комплексных месторождениях. Обоснованы принципы геолого-промышленной оценки их запасов, определяемые попутным характером добычи из недр или извлечения из руд. Впервые приведена геолого-промышленная группировка попутных полезных ископаемых и компонентов в основных промышленных типах месторождений с учетом особенностей распределения в технологических типах и сортах руд и достигнутых технико-экономических показателей их извлечения в промышленных масштабах. Кратко описаны современные технологические процессы переработки комплексных руд с извлечением попутных компонентов. Значительное внимание уделено характеристике геологических условий распространения попутных полезных ископаемых и компонентов в месторождениях цветных металлов. Для редких и рассеянных элементов впервые систематизированы данные о характере их распределения и условиях концентрации в основных типах и сортах руд цветных металлов, а также в продуктах их обогащения и металлургического передела. Определены общие особенности разведки запасов попутных компонентов и обоснованы рекомендации по их разведке, опробованию, производству химико-аналитических работ, подсчету и оценке валовых и реально извлекаемых запасов с учетом современных технологических и экономических критериев.

Книга может быть рекомендована специалистам, занимающимся разведкой и оценкой рудных месторождений, а также студентам геологоразведочных специальностей вузов.

Книгу можно заказать в местных магазинах, распространяющих геологическую литературу, или через отдел "Книга — почтой" по адресу:

199178, Ленинград, В.О., Средний проспект, 61, магазин № 17

НЕДРА