

И. П. Илупин

Ф. В. Каминский

Е. В. Францессон

ГЕОХИМИЯ КИМБЕРЛИТОВ

И. П. Илупин,
Ф. В. Каминский,
Е. В. Францессон

ГЕОХИМИЯ КИМБЕРЛИТОВ

18418



МОСКВА, «НЕДРА», 1978



Илупин И. П., Каминский Ф. В., Францессон Е. В. Геохимия кимберлитов. М., «Недра», 1978. 352 с.

Книга является первым монографическим обобщением материалов по геохимии кимберлитовых пород. Особое внимание уделено описанию малых и рассеянных элементов и обобщению литературных материалов по кимберлитовым породам Африки и Северной Америки. Вычислены средние содержания микроэлементов в кимберлитах. Охарактеризованы геохимические особенности кимберлитов, а также их геохимическая специализация в рядах ультраосновных и основных пород. Высказаны соображения об особенностях состава верхней мантии и о генезисе кимберлитовых пород.

Книга рассчитана на геологов, геохимиков и петрографов, изучающих щелочно-ультраосновные породы и занимающихся вопросами глубинного магмообразования и строения верхней мантии.

Табл. 106, ил. 58, список лит. — 208 назв.

В последние годы с развитием аналитической техники наблюдается качественно новый этап в развитии геохимических исследований. Кроме того, увеличение «глубинности» во всех отраслях геологии определяет интерес к геохимии пород, являющихся продуктами мантийного петрогенезиса. Эти обстоятельства, казалось бы, должны были привести к углубленному систематическому изучению геохимии кимберлитов — производных глубинных зон верхней мантии (120—200 км и более). Однако, к сожалению, таких исследований до последнего времени было мало.

Изучение содержаний и поведения в кимберлитах макрокомпонентов осуществлялось на протяжении многих лет с использованием обычного химического силикатного анализа. Параллельно проводилась обработка аналитических данных, позволившая определить средний состав кимберлитовых пород [47] и оценить поведение главных (показательных) элементов [75].

Первые данные о содержании микроэлементов в кимберлитах Сибири и Южной Африки появились только в начале 60-х годов и базировались главным образом на результатах полуколичественного спектрального анализа [67, 140]. Сводки по этим данным приведены в работах П. Г. Харриса и Е. Миддлмоста [161] и др. Одними из первых применили точные методы анализа элементов-примесей В. В. Бурков и Е. К. Подпорина, опубликовавшие в 1965—1970 гг. данные по содержанию редких элементов как в самих кимберлитовых породах, так и в слагающих их минералах [14, 15, 16]. Вслед за этими работами появилась серия статей, посвященных определениям тех или иных микроэлементов в кимберлитах [1, 74, 110 и др.]. Обобщение этих данных позволило произвести новую оценку содержаний макрокомпонентов в кимберлитовых породах [71].

Изучение поведения макрокомпонентов в кимберлитовых породах приобретает все большее значение для решения вопросов глубинного петрогенезиса. Поэтому

в двух зарубежных сборниках последних лет, посвященных основным вопросам кимберлитобразования [172, 192], много места уделено геохимическим проблемам.

Исследование микроэлементов в глубинных включениях из кимберлитовых трубок (ультрабазитах, эклогитах) велось более систематично. Это позволило оценить содержания микроэлементов в верхней маантии в целом, а также распределение их в отдельных районах по вертикали. Из работ в этой области наибольший интерес представляют исследования А. В. Уханова [111, 112, 113, 114, 115] и Б. Г. Лутца [68]. Видимо, большее внимание к включениям из кимберлитов, чем к самим кимберлитам, можно объяснить сомнениями исследователей в возможности использования данных по кимберлитам из-за их сильной вторичной измененности и зараженности ксеногенным материалом. Как будет показано ниже (гл. II), эти сомнения не имеют достаточных оснований.

Так или иначе, но к настоящему времени данные по геохимии кимберлитов весьма фрагментарны и систематизированные исследования в этой области отсутствуют как в нашей стране, так и за рубежом. Исключение составляет лишь недавно опубликованная работа Л. С. Бородина, А. В. Лапина и И. К. Пятенко [12], однако и в ней выводы по кимберлитам базируются на довольно ограниченном материале. Для восполнения существующего пробела авторами была предпринята попытка суммировать накопленные данные. Целью работы являлось сведение воедино всех материалов по геохимии кимберлитов и содержащихся в них глубинных включений.

Работа в области геохимии кимберлитовых пород была начата авторами более 10 лет назад. В течение всего этого периода производился сбор результатов силикатных анализов пород. К настоящему времени для кимберлитов Сибири выполнено более 1500 силикатных анализов; практически все они были собраны И. П. Илупиным и критически оценены. В итоге в данной книге обобщены результаты более 1300 силикатных химических анализов кимберлитовых пород, в том числе около 500 принадлежат авторам. Результаты большого количества силикатных анализов были любезно предоставлены В. А. Милашевым. Несколько десятков частичных

анализов (титан, алюминий и др.) выполнены В. А. Кудрявцевым.

Исследование микроэлементов в кимберлитах и слагающих их минералах первоначально проводилось авторами для отдельных элементов и отдельных районов кимберлитового вулканизма Сибирской платформы. В дальнейшем была создана эталонная коллекция из проб более чем 100 кимберлитовых трубок Сибири, а также из тел, сложенных родственными кимберлитам породами (пикритовыми порфиритами, ингилитами, карбонатитами). В коллекцию были также включены образцы щелочных базальтоидов Онежского полуострова на Русской платформе, слагающих здесь трубообразные тела. Для одних и тех же проб были выполнены силикатные анализы и определения большинства микроэлементов. По ряду элементов (щелочи, элементы группы железа, радиоактивные элементы) определения выполнялись из одних и тех же проб параллельно в двух или нескольких лабораториях. Методы анализа и аналитики, выполнявшие определения, указаны в соответствующих разделах работы. Геохимия ряда элементов (кадмий, индий, таллий, мышьяк, сурьма, теллур, бром, иод) осталась неосвещенной, так как сведения о них отсутствуют в литературе, поскольку содержания этих элементов в кимберлитах ниже предела чувствительности доступных нам аналитических методов.

Данные по кимберлитам Африки, Индии и Северной Америки, по слагающим их минералам и ультраосновным включениям заимствованы из опубликованных работ. По большинству микроэлементов данные о зарубежных кимберлитовых провинциях относительно мало численны. Более или менее детально исследованы африканские кимберлиты, в первую очередь кимберлиты ЮАР и Лесото; анализы кимберлитов Центральной, Западной и Восточной Африки единичны. Также отрывочны сведения по кимберлитам Индии и Северной Америки.

Работа состоит из четырех глав: в первой приводятся общие сведения о кимберлитах, необходимые для рассмотрения и обсуждения дальнейших вопросов; во второй — суммированы данные по петрогенным элементам кимберлитовых пород; в третьей — по микроэлементам; в четвертой — обобщены полученные данные и сделаны

некоторые петрологические выводы. Последняя глава написана совместно с Б. Г. Лутцем.

В процессе написания работы авторы пользовались помощью ряда исследователей. Часть образцов была получена от И. А. Галкина, Г. Ф. Дорганова, А. И. Крючкова, В. А. Милашева, В. А. Побережского, А. И. Пономаренко, Д. И. Саврасова, А. Д. Харькива и других. Многочисленные анализы выполнены химиками ЦНИГРИ (С. И. Кондратенко, В. М. Кулигин, Н. В. Маркова, Б. Л. Серебряный, О. Б. Фалькова, Н. В. Фишкова, В. П. Хвостова), ИМГРЭ (И. С. Разина, Л. И. Чижикова), ГЕОХИ СО АН СССР (А. Д. Глазунова, Д. И. Орлова, В. Д. Цыханский), ИГЕМ АН СССР (Г. Е. Каленчук, Р. В. Кортман, А. Ф. Копылова, В. И. Павлуцкая, Н. И. Степанова). Предварительные результаты исследований обсуждались с нашими коллегами В. А. Абрамовым, В. И. Виноградовым, Б. П. Золотаревым, В. В. Ивановым, А. Н. Комаровым, А. А. Лебедевым-Зиновьевым, Н. А. Озеровой, Д. И. Павловым, Э. И. Пополитовым, С. Ф. Соболевым, А. В. Ухановым и В. Г. Хитровым. Значительную помощь в организации работы авторам оказали П. Ф. Иванкин и Б. И. Прокопчук. Всем перечисленным исследователям авторы выражают глубокую признательность.

Отдавая себе отчет в том, что данная книга как первая сводка по геохимии кимберлитов не свободна от недостатков и неточностей, авторы будут благодарны всем исследователям за критические замечания, которые могут возникнуть при чтении предлагаемой их вниманию работы.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КИМБЕРЛИТАХ

ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Кимберлитом называется ультраосновная порода эффузивного облика с несколько повышенным содержанием щелочей, порфировой или порфиroidной структуры, существенно оливинового состава, содержащая в переменных количествах флогопит, ильменит, пироп, пироксен, апатит, перовскит и некоторые другие минералы, типоморфными из которых являются пироп и пикроильменит. Кимберлит характеризуется сильным изменением вторичными процессами.

Все породы, слагающие кимберлитовые тела, объединяются под общим названием «кимберлитовые породы», среди которых выделяются кимберлиты, кимберлитовые брекчии, кимберлитовые туфы и туфобрекчии. В составе трех последних разновидностей, помимо кимберлитового материала, принимают участие обломки иных пород.

Долгое время кимберлиты рассматривались изолированно от других типов пород, и их положение в схеме классификаций магматических пород трактуется по-разному. Ю. М. Шейнманн выделял кимберлитовый комплекс в качестве подтипа щелочной формации платформ, образуемого из похожего типа магмы. В. С. Соболев [101, 102] объединяет кимберлиты и интрузии Маймеча-Котуйского района в единый комплекс, в котором выделяется кимберлитовая формация. В. А. Милашев [75] считает их фацией ультраосновных образований платформы. Ю. А. Кузнецов [63] выделяет их в особую формацию в ряду формаций центральных интрузий и трубок взрыва устойчивых областей земной коры.

В результате изучения Сибирской платформы были значительно расширены сведения об ультраосновных и щелочно-ультраосновных породах, пространственно и генетически связанных с кимберлитами. Установлена пространственная и временная сопряженность кимберлитов с щелочными породами и щелочными базальтои-

дами (в пределах Чадобецкого поднятия), определена пространственная и генетическая связь между породами кимберлитового ряда и щелочно-ультраосновными интрузиями центрального типа (Маймеч-Котуйский район). По этим данным кимберлиты можно рассматривать в качестве фации щелочно-ультраосновной формации платформ [117].

Наиболее близкими по составу к кимберлитам являются пикритовые порфириды, слагающие дайки, жилы, реже трубки и, в меньшей степени, ингилиты, примыкающие по составу к щелочным базальтоидам.

Весьма актуальной является проблема взаимоотношения кимберлитов и карбонатитов, для которых характерна тесная пространственная, петрохимическая и, видимо, генетическая связь [116, 118, 72]. На Сибирской платформе эти породы находятся в тесной ассоциации в Нижне-Куонамском поле, где известно 73 трубки, выполненные карбонатитами, и 10 — кимберлитами, а также в Чомурдахском поле, в пределах которого кимберлиты пространственно сопряжены с жилами карбонатитов, располагающихся как в теле трубок (дайка Водораздельная), так и самостоятельно [72].

В целом же для разграничения кимберлитов и сходных с ними пород необходимо учитывать следующую сумму признаков: 1) пределы колебаний TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 , K_2O ; 2) существенно оливиновый состав и наличие пироба и пикроильменита; 3) порфировую структуру и брекчиевую или массивную текстуру; 4) залегание в земной коре в форме трубчатых тел, даек и редко силлов.

По текстурным признакам кимберлитовые породы подразделяются на кимберлиты («интрузивные кимберлиты», «массивные кимберлиты»), кимберлитовые брекчии, туфы и туфобрекчии (табл. 1).

Массивные кимберлиты состоят из оливина (обычно серпентинизированного), редких зерен пироба, пикроильменита, слюды и пироксенов, погруженных в апо-стекловатую или микроклитовую основную массу.

Кимберлитовые брекчии представляют собой сложную породу брекчиевой текстуры, состоящую из обломков, сцементированных кимберлитом. По составу обломочного материала выделяются гетеролитовые брекчии, состоящие в основном из обломков вмещающих пород, и автолитовые брекчии, обломки в которых в основном

Классификация кимберлитовых пород Якутии

Залегание	Текстура	Структура	Группа
Жилы, дайки, реже участки в трубчатых телах	Массивная, флюидальная	Порфировая с микролитовой, мелкозернистой или апостекловатой основной массой	Кимберлиты
Трубчатые тела, редко дайки и дайкообразные тела	Брекчиевая, флюидальная	Структура цементирующего кимберлита: порфировая, кристаллолитокластическая, литокристаллокластическая с мелкозернистой, микролитовой или апостекловатой основной массой	Кимберлитовая брекчия
Трубчатые тела или участки в них	Туфовая или брекчиевая	Кристаллолитокластическая, литокристаллокластическая, витрокристаллокластическая	Кимберлитовые туфы и туфобрекчии

представлены автолитами кимберлита и автоксенолитами кимберлитовой брекчии.

Кимберлитовые туфы и туфобрекчии состоят из обломков кимберлитов, минералов кимберлитов и вмещающих пород, сцементированных отложениями гидротермальных растворов.

Обломки пород в кимберлитовых брекчиях, туфах и туфобрекчиях кимберлитов представлены четырьмя генетическими группами: 1) ксенолитами осадочных пород; 2) обломками метаморфических пород фундамента; 3) включениями глубинных пород ультраосновного состава (пироповые перидотиты, эклогиты и т. п.); 4) автолитами кимберлита и автоксенолитами кимберлитовой брекчии. Весьма характерными для кимберлитовых пород являются включения ультраосновного состава, встречающиеся как в виде обломков самих пород, так и в виде отдельных минералов или их сростков. Они представлены пиропсодержащими и беспиropовыми разностями ряда оливинит (или дунит) — перидотит — пироксенит, причем наиболее распространены

среди них перидотиты, наименее — пироксениты. Среди ультраосновных включений встречаются также флогопитовые и ильменитовые разности: слюдиты, породы пироп-оливин-ильменитового, оливин-ильменитового, флогопит-пироксен-ильменитового и других более редких составов.

По минеральному составу кимберлитовые породы подразделяются на слюдяные (лампрофировые) и бедные слюдой (базальтоидные).

Классификация кимберлитовых пород по их химическим особенностям затруднительна, поскольку они сильно изменены вторичными процессами. Содержание кремнезема при этом сильно варьирует, и, в отличие от других пород, не может быть положено в основу классификации. По содержанию окиси титана и щелочей нами выделяется три типа кимберлитов (табл. 2): ультраосновной (близкий аналог катаклазированных пироповых перидотитов), ультраосновной — щелочной и щелочно-ультраосновной. По мере перехода от ультраосновных кимберлитов к щелочно-ультраосновным закономерно меняется химический состав этих пород — уменьшается содержание магния, никеля и хрома и растет содержание титана, глинозема, кальция, щелочей, железа, марганца, иттрия и скандия [117].

С петрохимическими особенностями кимберлитов взаимосвязаны их минеральный состав, особенности состава отдельных минералов, содержание родственных включений. При переходе от ультраосновных к щелочно-ультраосновным разностям закономерно меняется ряд признаков: уменьшается количество включений пироповых ультрабазитов, особенно оливинсодержащих разностей; уменьшается количество пироба и изменяется его состав.

ФОРМА И РАЗМЕРЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Среди тел, сложенных кимберлитовыми породами, по форме залегания различают три типа: 1) трубки, 2) дайки и жилы, 3) силлы.

Морфология кимберлитовых трубок довольно разнообразна. Чаще всего это округлые или овальные в плане тела. Встречаются трубки сложной восьмеркообразной (в плане), каплевидной и т. п. форм. Степень изометричности трубок в известной мере зависит от де-

Таблица 2

Компоненты	Тип кимберлита		
	Ультраосновной (TiO ₂ до 1%)	Щелочно-ультраосновной (TiO ₂ от 1 до 2,5%)	Примыкающий к щелочным базальтоидам (TiO ₂ больше 2,5%)
Слюда	Бесслюдяной (слюды меньше 5%)	Слюдяной (слюды больше 5%) Бесслюдяной (слюды меньше 5%)	Слюдяной (слюды больше 5%)
Пироп	Постоянно присутствует; преобладают хромсодержащие пиропы	Присутствует широкая гамма пиропов, количество их резко варьирует	Содержится в крайне незначительном количестве; резко преобладают красные и красно-оранжевые, обогащенные титаном разновидности
Включения пироповых гипербазитов	Присутствует вся гамма включений, обычно в большом количестве	Присутствует вся гамма включений, количество их резко варьирует	Присутствуют редко, представлены эклогитами
Ильменит, перовскит	Отсутствуют; ильменит может встречаться в незначительном количестве	Присутствуют в резко различном количестве, преобладает ильменит	Оба минерала присутствуют в большом количестве

нудации. На общем фоне сужающегося тела трубки иногда устанавливаются местные раздувы и пережимы, иногда с частичным или полным выклиниванием. Некоторые трубки имеют два (редко более) канала, каждый из которых выклинивается на разной глубине. Размеры кимберлитовых трубок (в диаметре) варьируют от первых метров до 1 км и более. Площади крупнейших африканских трубок достигают 31—35,5 га (Премьер, Талала), а самая большая из известных — Мвадуи (Танзания) — имеет площадь 162,3 га, в то время как небольшие трубки Африки и Сибири обладают площадью выхода на дневную поверхность всего 20—30 м², а трубки-малютки Западной Африки имеют диаметр около 1 м.

Обычно площадь трубок в современном срезе колеблется от 0,1 до 2,5 га.

Кимберлитовые дайки и жилы, как правило, располагаются группами. Морфология их разнообразна, падение обычно крутое, но изредка встречаются и наклонные жилы с углами падения 30—65°. Мощность даек и жил колеблется от первых сантиметров до 4—5 м и иногда резко изменяется на небольших отрезках. Некоторые жилы имеют раздувы, достигающие 15 и даже 50 м в поперечнике. Среди жил и даек выделяются две группы: самостоятельные и сопряженные с трубками. Внутри этих групп имеется ряд разновидностей. В Южно-Африканской Республике и Гренландии известны также силлы кимберлитов.

Особенностями кимберлитового вулканизма являются: 1) относительно малый объем кимберлитовых тел; 2) их групповое расположение с приуроченностью к определенным тектоническим структурам; 3) строго индивидуальное образование каждой трубки с явственной специализацией химизма, минералогии и другими особенностями состава, которые дают основание предполагать множественность кимберлитовых очагов и наличие особых локальных тектонических условий для их проявления.

РАЙОНИРОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ КИМБЕРЛИТОВОГО ВУЛКАНИЗМА

Все проявления кимберлитов и родственных им пород в пределах древних платформ объединяются в кимберлитовые провинции. В пределах земного шара известны Сибирская, Африканская, Индийская и Северо-Американская провинции (рис. 1). В последнее время появляется все больше сведений о существовании Восточно-Европейской, Китайской, Австралийской и Южно-Американской провинций.

Основным подразделением внутри кимберлитовых провинций является кимберлитовое поле, которое объединяет группу сближенных, по-видимому, одновозрастных кимберлитовых тел, формирующихся в пределах единой тектонической зоны и характеризующихся близостью термо-динамических условий формирования. Район кимберлитового вулканизма объединяет два или более территориально сближенных одно- или разновозрастных кимберлитовых поля и фиксирует участок в

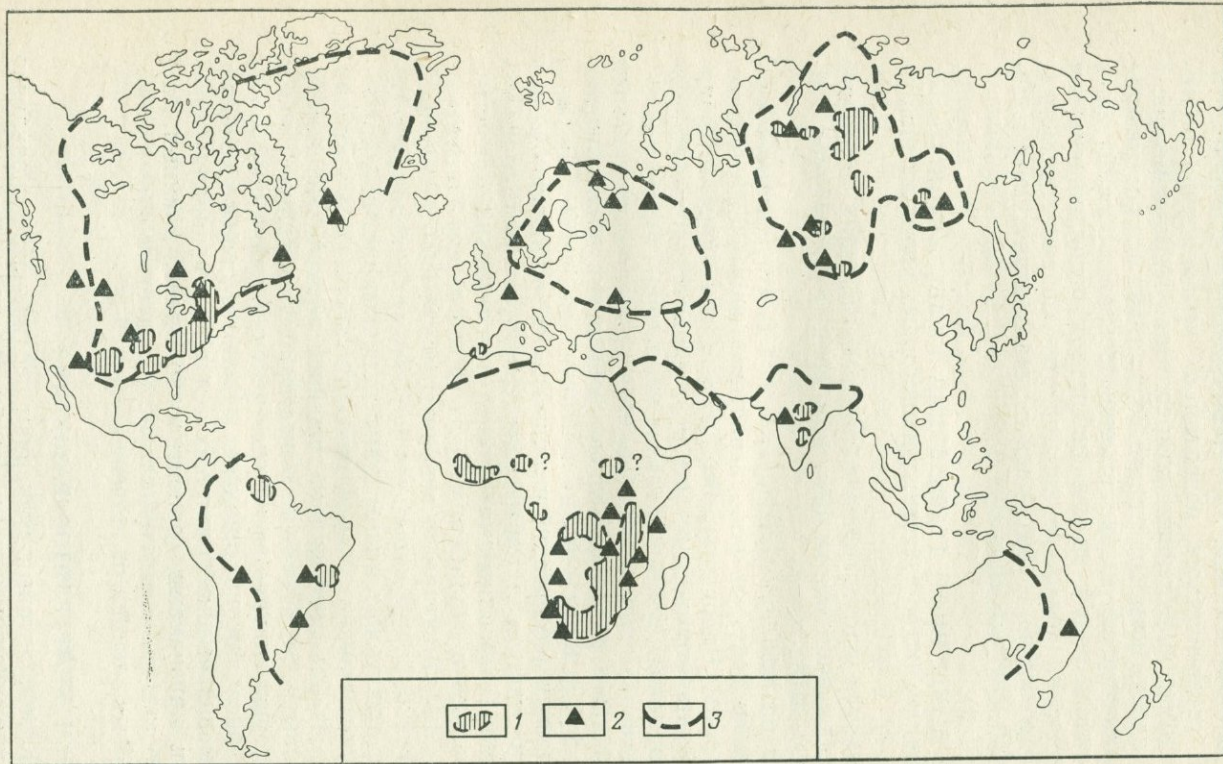


Рис. 1. Схема распространения кимберлитов, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов на древних платформах Земли [76].

пределах провинции, характеризующийся сложной историей геологического развития с неоднократно повторяющимся внедрением кимберлитов. Неравномерность проявления кимберлитового вулканизма в пространстве выражается не только в существовании обособленных районов и полей, но и в дискретном расположении тел в пределах поля, где наблюдается явная тенденция к расположению трубок, даек и жил в виде кустов и линейных групп (цепочек).

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Большинство известных в настоящее время кимберлитовых тел расположено в пределах древних платформ (исключением могут быть кимберлиты Восточного Теннесси, США).

В размещении районов и полей кимберлитового вулканизма ведущую роль играет глубинный структурный контроль. Районы кимберлитового вулканизма Сибирской платформы тяготеют к крупным сводовым поднятиям, локализуясь в пределах их склонов. Особо важная роль в размещении кимберлитов принадлежит скрытым глубинным разломам, проявляющимся в архейских толщах фундамента в форме линейных зон интенсивных пластических деформаций и лишь «просвечивающих» сквозь осадочный чехол платформы. Закономерности расположения кимберлитовых полей относительно структур фундамента и платформенного чехла определяются тем, что эти структурные элементы также контролируются долгоживущими скрытыми глубинными разломами.

Структурные планы кимберлитовых полей характеризуются значительным разнообразием, но в большинстве из них преобладает линейное размещение кимберлитовых тел. Кимберлитовые трубки и дайки в чехле образуют линейно вытянутые цепочки, значительно реже они расположены одиночно. Преобладающее линейное размещение кимберлитовых тел в чехле наряду с другими признаками (ориентировкой даек, длинных осей трубок и др.) свидетельствует о существовании кимберлитовмещающих ослабленных зон.

ЭПОХИ КИМБЕРЛИТООБРАЗОВАНИЯ

Кимберлитовый вулканизм неоднократно проявлялся на протяжении истории Земли; достоверно установлены

докембрийские, палеозойские и мезозойские кимберлиты.

В Южной Африке среди докембрийских эпох кимберлитообразования выделяются дораннепротерозойская, неустановленные первично-алмазоносные породы которой питали терригенную алмазоносную формацию Витватерсранд, средне- и позднепротерозойская эпохи [34]. Среднепротерозойский возраст трубки Премьер установлен по ее геологическим взаимоотношениям и данным абсолютной геохронологии, а эпоха в целом выделена также по алмазоносности терригенных формаций Тарквы (Западная Африка) и Рораима и Минас (Южная Америка). Достаточно определено в докембрии выделяется позднепротерозойская эпоха, представителями которой являются кимберлитовые дайки Берега Слоновой кости в Африке, трубка Маджгаван и кимберлитовые дайки штата Андра-Прадеш (Индия).

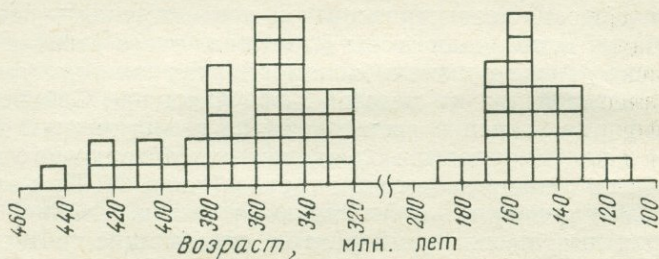
Палеозойские и мезозойские кимберлиты установлены в пределах Сибирской платформы, где выделяется три эпохи образования этих пород: ранне-среднекарбоновая, средне-позднетриасовая и позднеюрская — раннемеловая. В последние годы в пределах этого региона появились также признаки докембрийских кимберлитов.

Палеозойская и мезозойская эпохи на Сибирской платформе уверенно выделяются по геологическим данным и подтверждаются определениями абсолютного возраста по цирконам методом треков (табл. 3). При этом, методом треков четко фиксируются не три, а только две возрастные группы кимберлитов, отвечающие соответственно ранне-среднекарбоновой (320—380 млн. лет) и позднеюрской — раннемеловой (130—170 млн. лет) эпохе. Кимберлиты мезозойского возраста известны на Африканском и Северо-Американском континентах. Имеются также сведения об образовании кимберлитов в кайнозое. Так, кимберлиты плато Колорадо (во всяком случае часть из них) и родственные им щелочно-ультраосновные породы штата Монтана (США) по наличию в трубках ксенолитов пород позднемелового возраста и радиологическим данным датируются третичным периодом. Возраст кимберлитовой дайки Мозес-Рок оценивается в 10—60 млн. лет, а трубки Мул-Из в 28—30 млн. лет [176].

В настоящее время существует две альтернативные концепции относительно связи возраста и алмазоносности кимберлитов. Одна из них усматривает тесную связь

Возраст кимберлитовых полей Сибирской платформы

Поля	По геологическим данным	По трекам деления, млн. лет
Мало-Ботуобинское	C ₂	320—450
Алакитское, Далдынское, Моркокинское	C ₂	320—450
Верхне-Мунское	C ₂	320—450
Чомурдахское, Омонос-Кутугунское, Нижне-Укукитское, Огоньор-Моторчунское	C ₂ (?)	320—450
Мерчимденское, Толуонское	C ₂ (?)	320—450
Верхне-Молодинское, Куойское	J ₃ — K ₁	110—190
Лучаканское, Куранахское, Дюкенское, Средне-Куонамское, Нижне-Куонамское	J ₃ — K ₁	110—190

Рис. 2. Результаты определения возраста кимберлитов Якутии [88] в пересчете на константу $8,46 \times 10^{-17}$ лет⁻¹.

Один квадрат соответствует одному определению

между алмазонасностью и возрастом кимберлитов. Согласно другой, алмазонасность кимберлитов не зависит от их возраста, а определяется геолого-тектоническими условиями образования кимберлитов того или иного района. Обе концепции дискуссионны.

ГЛАВА II. ПЕТРОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ

К настоящему времени накоплен большой аналитический материал по кимберлитам Сибирской провинции. Многочисленные данные для отдельных кимберлитовых тел по состоянию на 1962 г. опубликованы в работах [54, 91]. Более поздние и более подробные сводки подготовлены В. А. Милашевым [75], В. А. Милашевым с соавторами [77], но в этих работах собраны только сведения об элементах, отнесенных В. А. Милашевым к числу «показательных» (железо, титан, алюминий, калий, фосфор, хром). Результаты многих сотен силикатных анализов, выполненных после 1962 г., не обобщены.

По зарубежным кимберлитам выполнено, по-видимому, значительно меньше силикатных химических анализов, чем по кимберлитам Сибирской провинции. Так, в одной из недавних публикаций приведены средние данные всего по 80 образцам южноафриканских кимберлитов [172, р. 283].

В настоящей работе приведены средние содержания петрогенных элементов более чем для 300 объектов Сибирской кимберлитовой провинции — отдельных трубок и даек, а также отдельных разновидностей, выявленных в телах сложного строения.

При подготовке к анализу большинства изученных образцов мы тщательно удаляли ксенолиты. В кимберлитах Якутии подавляющее большинство ксенолитов — это обломки терригенно-осадочных пород раннепалеозойского возраста. Ксенолиты эти оказывают некоторое «разбавляющее» влияние в отношении титана, магния, хрома, никеля и несколько повышают содержание кальция и углекислоты [42]. Автолиты, а также вкрапленники глубинных минералов (оливина, слюды, ильменита, пирропа, апатита и других) мы считаем закономерной составной частью кимберлитовых пород, и потому не удаляли их при подготовке проб к анализу.

В зарубежной литературе [172, pp. 144, 175, 184; 186, pp. 121, 129; 192, pp. 692, 694] имеются сведения о зараженности кимберлитовых трубок ксенолитами базальтов, гранитов, осадочных пород; при этом отмечается, что примесь этого материала повышает содержание кремнезема и алюминия в пробах.

В некоторых работах [149, 196] показано, что в кимберлитах Сьерра-Леоне при переходе от свежей разновидности (глубина 79—92 м) к сильно измененным приповерхностным образцам MgO снижается с 31% до 1,1—0,8%, а отношение SiO_2/MgO возрастает с 0,9—1,1 до 25—37. В кимберлитах трубки Финш (Южная Африка) от образцов с глубины 110—115 м к приповерхностным образцам (0—8,5 м, по скважине № 8) отношение кремнезема к окиси магния меняется от 1,9 до 6,8.

Основываясь на этих данных, мы выбрали из зарубежной литературы и приводим ниже только те результаты анализов, где установлено невысокое отношение кремния к магнию и умеренное содержание алюминия.

Аналитические ошибки вскрываются при повторных определениях в разных лабораториях. Например, в работе [91, табл. 7 на с. 46—47] для трубки Светлая Далдыно-Алакитского района показано 5,15% Al_2O_3 . Материал из этой трубки был позднее направлен в две другие лаборатории; в одной из них (НИИГА) было определено 1,66%; а в лаборатории Якутского ТГУ в другом образце по двум параллельным определениям 2,05% и 1,90% Al_2O_3 . В. И. Михеенко (1969 г.) установил, что в кимберлите из центра трубки Москвичка содержится 0,01% P_2O_5 , а по данным трех других лабораторий 0,39; 0,45 и 0,46% P_2O_5 .

Если результаты анализов какой-то лаборатории обнаруживали систематическое отклонение от среднего, то такие данные не использовались. Наибольшее количество достоверных данных, показавших хорошую сходимость при сопоставлении с результатами разных аналитиков, получено из двух химических лабораторий — Якутского ТГУ (г. Якутск) и НИИГА (г. Ленинград). В большинстве случаев отбрасывались анализы, сумма которых отклоняется от 100% более чем на 1%. Не использованы некоторые анализы, надежность которых вызывает сомнение по другим причинам — например, ана-

лизы, показывающие низкую концентрацию титана при высоком содержании пикроильменита в породе.

Средние данные по трубке (дайке) или по отдельному блоку вычислялись как среднее арифметическое из имеющихся результатов. Для объектов, по которым имелось большое количество анализов, применялась двухэтапная обработка: вначале вычислялось среднее арифметическое для данных каждой лаборатории (аналитика), а затем подсчитывалось среднее арифметическое из этих средних. В таблицах в строке «количество анализов» приводится сначала число лабораторий, затем (в скобках) число анализов.

Иногда при подсчете средних привлекались результаты частичных анализов (по титану, алюминию, щелочам). Во всех случаях сумму отдельных определений мы делили на фактическое число определений элемента, а не на общее число анализов. Для большинства компонентов среднее округлялось до 0,01%; для хрома и марганца — нередко до 0,001%. Суммы анализов не округлялись.

Наибольшая неопределенность возникала при попытках вычислить среднее содержание воды. В одних лабораториях принято включать гигроскопическую воду (H_2O^-) в сумму анализа; в других пробу предварительно просушивают при 105—110°С, удаляя гигроскопическую воду; в третьих анализ выполняется на «воздушно-сухое вещество», т. е. гигроскопическая вода вместе с конституционной входит в потери при прокаливании. Мы во всех случаях объединяли гигроскопическую и конституционную воду в строку «Потери при прокаливании» (п. п. п.).

Из других компонентов, показанных в сводных таблицах, могут оказаться неточными данные прежде всего для натрия и алюминия (особенно в случаях, где выполнены единичные анализы).

Среднее по кимберлитовому полю подсчитывалось как среднее арифметическое по отдельным объектам. Строго говоря, более правильным является подсчет средневзвешенного (по площади выхода трубок на дневную поверхность), но для большинства трубок северных полей Сибирской провинции применение этого громоздкого метода едва ли оправдано из-за малой достоверности определения их контуров. В качестве примера

напомним, что трубка Надежная Чомурдахского поля первоначально была охарактеризована как «группа тел».

СВОДКА РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В таблицах 4—27 приведены сведения о химическом составе кимберлитов и пикритовых порфиринов большинства полей, входящих в Сибирскую кимберлитовую провинцию. Не рассматриваются некоторые поля, охарактеризованные малочисленными анализами — Нижне-

Таблица 4

Химический состав кимберлитов из трубок Мало-Ботубинского поля (вес. %)

Компоненты	Амакинская		Интернациональная	Мир*	Тасжана	Им. XXIII съезда КПСС
	северная часть	южная часть				
Кол-во анализов	1 (2)	4 (6)	2 (33)	6 (198)	3 (4)	2 (9)
SiO ₂	26,91	10,17	38,50	33,55	35,86	21,92
TiO ₂	0,87	1,38	0,50	1,29	1,28	0,69
Al ₂ O ₃	2,42	2,73	3,54?	2,94	4,75?	2,44
Cr ₂ O ₃	0,16	0,06	0,068?	0,107?	0,131?	0,18
Fe ₂ O ₃	3,57	3,36	2,53	4,69	4,29	3,86
FeO	3,02	2,11	2,58	2,97	2,78	1,22
MnO	0,10	0,16	0,077	0,10	0,09	0,14
MgO	17,35	7,39	21,33	25,40	19,66?	18,97
CaO	22,12	38,00	11,10	9,18	10,96?	23,49
Na ₂ O	0,27	0,20	0,18	0,13	0,18	0,16
K ₂ O	0,30	0,39	0,93	0,47	0,54	0,52
P ₂ O ₅	0,88	0,52	0,31	0,29	0,50?	0,61
S	Н. о.	0,10	0,09	0,34	0,07	0,26
CO ₂	13,45	26,59	9,37	8,50	8,65	17,66
П.п.п.	8,60	6,58	8,86	9,68	10,04	7,48
Сумма	100,02	99,74	99,965	99,637	99,781	99,60
Σ FeO	6,23	5,13	4,86	7,19	6,64	4,69
SiO ₂ /MgO	1,55	1,38	1,80	1,32	1,82	1,16
MgO/Σ FeO	2,78	1,44	4,39	3,53	2,96	4,04

* Среднее для близповерхностных горизонтов.

Химический состав кимберлитов
из жил Мало-Ботубинского поля, вес. % [119]

Компоненты	Интернациональная		Мир, среднее из 4	Таежная, среднее из 2	А-21, среднее из 4
	жилы с низким SiO ₂ , среднее из 3	обр. Инж-1			
SiO ₂	4,66	17,30	4,28	5,52	12,40
TiO ₂	1,16	0,58	2,10	0,80	2,48
Al ₂ O ₃	1,69	1,33	1,82	1,99	2,25
Cr ₂ O ₃	0,29	0,26	He опр.	0,09	0,09
Fe ₂ O ₃	1,49	He опр.	4,87	1,51	3,66
FeO	1,85	1,86	0,89	2,08	2,36
MnO	0,103	0,13	0,15	0,31	0,13
MgO	3,04	1,81	5,80	3,18	10,24
CaO	46,25	41,44	38,60	44,72	34,12
Na ₂ O	0,12	0,09	0,14	0,25	0,26
K ₂ O	0,14	0,17	0,28	0,23	0,48
P ₂ O ₅	1,06	1,01	1,20	1,03	0,83
S	0,22	0,01	1,74	0,03	0,18
CO ₂	33,88	31,68	30,30	36,06	27,24
П.п.п.	3,40	1,88	4,32	1,85	2,72
Сумма	99,353	99,55	96,49*	99,65	99,44
Σ FeO	3,19	1,86	5,27	3,44	5,65
SiO ₂ /MgO	1,53	9,56	0,74	1,74	1,21
MgO/Σ FeO	0,95	0,97	1,10	0,92	1,81

* Низкая сумма связана с пересчетом сульфатной серы на сульфидную. В цитируемой работе дается 4,36% SO₃, сумма 99,11%.

Укукитское, Джюкенское. Во всех таблицах принят алфавитный порядок перечисления кимберлитовых тел; трубки и дайки, обозначенные номерами, приводятся в конце списка. Для многих тел, имеющих сложное строение, дается состав разновидностей. Не показан состав кимберлитов (трубок, блоков), содержащих обильный песчаный материал. Общее (суммарное) железо, выраженное в виде закисного, обозначено ΣFeO.

Кимберлитовые тела Алакитского и Далдынского полей, открытые за последние годы, в настоящее время изучаются и здесь не рассмотрены. Мерчимденское поле (см. табл. 15) — единственное из рассматриваемых

Химический состав кимберлитов Алакинского поля, вес. %

Компоненты	Айхал			Веселая	Восток	Дружба	Искорка (апофиза)	Кира	Коллективная	
	центральная часть	северо-восточная часть	юго-западная часть*						северо-восточная часть обн. 9	юго-западная часть, обн. 1
Кол-во анализов	4 (17)	4 (9)	(13)	2 (3)	2 (3)	2 (5)	4 (4)	3 (22)	2 (2)	2 (2)
SiO ₂	26,41	17,02	22,94	25,11	30,53	33,00	19,94	28,62	24,76	22,84
TiO ₂	0,40	0,34	0,32	1,13	1,45	1,88	3,91	2,08	0,42	0,09
Al ₂ O ₃	2,20	2,68?	3,35	3,03	2,30	2,86	2,46?	3,24	1,26	1,06
Cr ₂ O ₃	0,181	0,094?	0,07	0,105	0,15	0,204	0,07?	0,16	0,115	0,131
Fe ₂ O ₃	3,32	2,68	3,43	5,01	7,26	8,21	9,66	6,84	4,13	2,74
FeO	1,10	1,24	0,98	1,13	2,61	1,55	3,01	2,08	1,39	0,84
MnO	0,07	0,074?	0,06	0,117	0,12	0,142?	0,175?	0,193?	0,08	0,08
MgO	25,05	17,00	17,39	26,50	28,58	31,95	20,51	28,15	21,05	21,49
CaO	16,92	24,45	21,60	14,57	7,61	3,84	17,12	8,57	20,70	23,22
Na ₂ O	0,13	0,23?	0,23	0,13	0,11?	0,06	0,10?	0,13	0,08	0,08?
K ₂ O	0,32	1,16	0,68	0,25	0,27	0,54	0,09?	0,70?	0,12	0,20
P ₂ O ₅	0,50?	0,43?	0,31	0,57	0,28?	0,46	0,77	0,58	0,25	0,52
S	0,046	0,064	0,49	0,025	Сл.	0,30?	0,03?	0,04	0,53	0,08
CO ₂	13,72	27,40	20,21	11,49	8,19	2,88	13,00	6,60	16,05	17,79
П.п.п.	9,24	5,07	7,93	10,55	10,58	12,25	8,87	11,82	9,04	8,92
Сумма	99,607	99,932	99,99	99,717	100,04	100,126	99,715	99,803	99,985	100,081
Σ FeO	4,09	3,65	4,07	5,64	9,14	8,94	11,70	8,24	5,11	3,31
SiO ₂ /MgO	1,05	1,00	1,32	0,95	1,07	1,03	0,97	1,02	1,18	1,06
MgO/Σ FeO	6,12	4,66	4,27	4,70	3,13	3,57	1,75	3,42	4,12	6,49

* По данным [119]; число лабораторий в работе не указано.

Продолжение табл. 6

Компоненты	Липа		Магистральная	Мархинская	Маршрутная		Москвичка	Начальная	Нева	НИИГА, центральная часть	Октябрьская
	темный кимберлит	светлый кимберлит			брекчия	порфировый кимберлит					
Кол-во анализов	2 (2)	2 (2)	2 (4)	2 (3)	2 (2)	2 (2)	4 (4)	3 (3)	2 (7)	4 (4)	3 (4)
SiO ₂	29,18	8,50	31,10	24,32	28,21	28,77	24,96	26,45	26,52	29,32	27,32
TiO ₂	3,08	1,64	1,09	1,24	2,42	2,55	1,81	1,27	2,02	2,26?	1,21
Al ₂ O ₃	1,78	1,64?	3,36	2,71	2,50	2,36	2,52	2,28?	2,40	2,43	3,02
Cr ₂ O ₃	0,09	0,12	0,136	0,109	0,172	0,20	0,167	0,20	0,19	0,14	0,17
Fe ₂ O ₃	13,07	5,34	4,59	6,36	6,92	8,44	7,52	2,43	6,47	5,00	4,84
FeO	3,18	1,67	1,53	1,60	2,28	2,04	1,86	1,21	1,00	2,14	2,03
MnO	0,26	0,15	0,05	0,13	0,13?	0,15	0,108	0,03	0,195?	0,082	0,072
MgO	26,31	5,66	27,58	25,57	27,96	30,72	25,93	21,32	21,56	28,73	23,80
CaO	4,96	38,29	10,37	14,28	9,66	5,68	11,85	19,69	15,71	10,42	14,58
Na ₂ O	0,06	0,22?	0,12	0,15	0,16	0,20	0,10	0,16?	0,15	0,09	0,08?
K ₂ O	0,10	0,12	0,70	0,13	0,21	0,28?	0,26	0,81	0,31	0,14?	0,27?
P ₂ O ₅	0,46	0,90	0,50	0,42	0,43	0,45	0,43	0,75	0,58	0,37	0,41
S	0,08	0,07	0,012	0,02	Сл.	0,015	Сл.	0,66?	0,01	Н. о.	0,07?
CO ₂	6,34	29,34	7,97	12,73	7,62	5,00	12,98	14,88	11,76	8,25	11,58
П.п.п.	11,07	5,87	10,73	9,77	11,15	12,73	9,56	7,60	10,84	10,45	10,62
Сумма	100,02	99,53	99,838	99,539	99,822	99,585	100,055	99,74	99,715	99,822	100,072
Σ FeO	14,94	6,48	5,66	7,32	8,51	9,64	8,63	3,40	6,82	6,64	6,39
SiO ₂ /MgO	1,11	1,50	1,13	0,95	1,01	0,94	0,96	1,24	1,23	1,02	1,15
MgO/Σ FeO	1,76	0,87	4,87	3,49	3,29	3,19	3,00	6,27	3,16	4,33	3,72

Компоненты	Победа	Светлая	Смежная	Снежинка			Сувенир	Сытыканская			Талисман, порфиновый кимберлит	Юность
				западная часть	центральная часть	восточная часть		северо-восточная часть	центральная часть	юго-западная часть		
Кол-во анализов	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	1 (2)	3 (8)	1 (34)	1 (58)	1 (14)	2 (8)	2 (12)
SiO ₂	28,46	22,86	22,85	31,92	31,25	28,02	31,92	29,40	29,57	23,08	29,74	25,81
TiO ₂	0,98	0,74	1,58	1,20	1,02	0,98	2,01	1,85	1,65	1,14	1,70	1,28
Al ₂ O ₃	2,72	1,82	2,63	2,10	2,14	2,94	3,06	2,19	1,65	2,44	2,05	2,15
Cr ₂ O ₃	0,117	0,085	0,22	0,13	0,115	0,102	0,148	0,139	0,18	0,094	0,178	0,205?
Fe ₂ O ₃	2,14	2,68	3,78	6,92	4,36	2,87	7,33	5,85	6,17	4,02	6,70	6,22
FeO	3,55	1,82	1,22	1,80	1,95	1,98	2,27	1,66	2,12	1,98	1,70	1,44
MnO	0,095	0,08	0,03	0,10	0,065	0,055	0,23?	0,11	0,118	0,068	0,132?	0,098
MgO	21,38	20,18	18,95	36,63	30,69	23,50	30,60	28,71	28,37	17,48	29,14	18,46
CaO	16,20	22,24	22,52	1,01	8,91	16,07	5,48?	9,98	10,68	22,35	8,38	18,96
Na ₂ O	0,15	0,12?	0,14	0,07	0,10	0,14	0,08	0,10	0,09	0,20	0,07	0,12
K ₂ O	0,92	0,35?	0,57	0,26	0,18	0,64	0,13?	0,23	0,11	0,41	0,15?	0,37
P ₂ O ₅	0,32	0,41	1,04	0,40	0,32	0,30	0,49?	0,30	0,21	0,9	0,41?	0,50
S	0,12	0,13?	Не опр.	0,055	Сл.	Сл.	Сл.	0,037	0,047	0,68?	Сл.	0,025
CO ₂	13,00	18,06	16,78	1,34	7,77	12,39	4,14	8,27	8,48	17,66	6,68	15,96
П.п.п.	9,36	7,81	7,45	15,78	10,74	9,53	11,93	11,02	10,39	7,70	12,81	8,48
Сумма	99,512	99,385	99,76	99,715	99,61	99,517	99,818	99,846	99,835	99,592	99,84	100,78
Σ FeO	5,48	4,23	4,62	8,03	5,87	4,56	8,87	6,92	7,67	5,60	7,73	7,04
SiO ₂ /MgO	1,33	1,13	1,21	0,87	1,02	1,19	1,04	1,02	1,04	1,32	1,02	1,40
MgO/Σ FeO	3,90	4,77	4,10	4,56	5,23	5,15	3,45	4,15	3,70	3,12	3,77	2,62

Таблица 7

Химический состав кимберлитов из жил, сопряженных с трубкой Айхал Алакитского поля, вес. % [119]

Компоненты	Жилы с низким содержанием кремнезема		Жилы с содержанием кремнезема 14—19%		Обр. А-40
	среднее из 2	пределы колебаний	среднее из 4	пределы колебаний	
SiO ₂	5,45	5,26—5,64	16,85	14,70—18,66	23,89
TiO ₂	0,63	0,55—0,71	0,56	0,35—0,69	0,44
Al ₂ O ₃	1,91	1,77—2,05	2,46	1,62—3,39	8,67
Cr ₂ O ₃	0,27	0,24—0,30	0,17	0,06—0,24	0,23
Fe ₂ O ₃	3,14	1,63—4,66	4,03	1,57—5,48	3,72
FeO	0,38	0,32—0,43	2,06	0,50—5,78	4,36
MnO	0,075	0,06—0,09	0,075	0,05—0,09	0,06
MgO	3,54	3,38—3,70	13,50	10,10—17,04	13,24
CaO	45,12	44,25—45,99	26,99	19,05—33,00	21,35
Na ₂ O	0,29	0,28—0,30	0,28	0,25—0,32	0,50
K ₂ O	0,22	0,21—0,22	0,61	0,36—0,76	0,52
P ₂ O ₅	0,36	0,24—0,48	0,58	0,10—1,02	0,18
S	Сл.	Сл.	1,76	0,04—4,30	2,83
CO ₂	32,25	27,10—37,40	22,66	21,12—26,00	14,36
П.п.п.	6,12	2,06—10,17	6,05	4,82—7,28	4,97
Сумма	99,755		98,635*		99,32
Σ FeO	3,21		5,69		7,71
SiO ₂ /MgO	1,54		1,25		1,80
MgO/Σ FeO	1,10		2,37		1,72

* Низкая сумма — в связи с пересчетом сульфатной серы на сульфидную.

Химический состав кимберлитов Далдынского поля, вес. %

Компоненты	Академи- ческая	Аэромагнит- ная, прочный, кимберлит	Аэросье- мочная	Геофизическая		Дайковая		Дальняя		Долго- жданная
				брекчия	порфи- ровый кимберлит	трубка	дайка	брекчия	порфи- ровый кимберлит	
Кол-во анализов	1 (2)	1 (3)	2 (2)	2 (5)	2 (2)	3 (3)	2 (2)	3 (7)	3 (14)	2 (4)
SiO ₂	28,95	27,99	30,15	26,04	31,98	22,31	31,25	28,58	29,42	27,58
TiO ₂	1,83	2,52	2,50	1,47	1,99	1,15	1,58?	2,32	2,86	1,54?
Al ₂ O ₃	3,01	3,23	3,50	2,80	4,14?	2,19?	2,13?	2,87	2,59	2,49
Cr ₂ O ₃	0,12	0,18	0,173	0,116	0,114	0,14	0,26	0,157	0,18?	0,14
Fe ₂ O ₃	5,44	7,49	6,98	4,57	8,78	4,55	5,54	5,82	9,01	4,66
FeO	1,66	1,69	1,58	2,04	1,98	1,85	2,18	2,32	1,30	1,86
MnO	0,10?	0,22?	0,11	0,106	0,15	0,085?	0,09?	0,14	0,17	0,05
MgO	26,64	25,94	27,90	25,22	31,46	23,30	29,07	26,83	31,55	26,10
CaO	11,34	9,82	8,24	15,32	2,57	16,06	9,23	11,34	4,73	14,62
Na ₂ O	0,10	0,19?	0,07	0,16	0,08?	0,10?	0,07	0,09?	0,27	0,08
K ₂ O	0,27	0,42	0,06	0,48?	0,05	0,23	0,10	1,12	0,26	0,37
P ₂ O ₅	0,34	0,55	0,38	0,30	0,55?	0,37	0,27	0,33	0,46	0,26
S	0,05	He опр.	0,015	0,07	0,08?	0,095	0,03	0,013	0,01	0,04?
CO ₂	9,01	7,58	6,42	13,32	2,24	17,96	6,65	8,83	3,80	11,02
П.п.п.	10,65	11,81	11,06	7,74	13,65	9,56	10,69	9,11	13,08	9,32
Сумма	99,51	99,63	99,138	99,752	99,814	99,95	99,17	99,87	99,69	100,13
Σ FeO	6,56	8,43	7,86	6,15	9,88	5,94	7,17	7,56	9,41	6,05
SiO ₂ /MgO	1,09	1,08	1,08	1,03	1,02	0,96	1,07	1,06	0,93	1,05
MgO/Σ FeO	4,06	3,08	3,55	4,10	3,18	3,92	4,05	3,55	3,35	4,31

Продолжение табл. 8

Компоненты	Загадочная			Зимняя	Ленинградская			Малют- ка	Молодеж- ная, брекчия	Невидимка	Осенняя	Полярная, порфи- ровый кимберлит
	туф*	«слюдистый» кимберлит	Зарни- ца		централь- ная часть	запад- ная часть	восточ- ная часть					
Кол-во анализов	1 (1)	1 (1)	2 (10)	1 (2)	3 (4)	1 (1)	1 (1)	2 (4)	2 (5)	2 (3)	3 (5)	3 (3)
SiO ₂	26,50	29,90	27,57	28,90	26,82	26,66	23,54	26,44	25,69	27,18	26,26	28,97
TiO ₂	1,19	0,87	1,90	1,00	2,05	1,69	2,15	2,08?	1,85?	1,82?	1,12	2,09
Al ₂ O ₃	3,15	5,49	3,04	3,30?	2,56	3,82	1,89	1,92?	2,93	2,72	2,40	3,87
Cr ₂ O ₃	0,16	0,20	0,12	0,27?	0,168	0,06	0,08	0,20	0,125	0,14	0,127	0,178
Fe ₂ O ₃	2,32	3,64	5,96	4,76	5,18	4,58	4,97	5,98	4,68	4,95	4,96	8,36
FeO	1,44	1,47	2,12	1,06	1,52	1,36	1,08	0,99	1,51	2,74	1,30	2,23
MnO	0,09	0,10	0,13	0,10?	0,13	0,05	0,04	0,12	0,06	0,08	0,12	0,17
MgO	21,97	20,86	25,38	26,79	24,96	20,78	18,98	26,16	22,35	26,23	25,83	27,40
CaO	18,81	15,16	13,31	13,56	14,48	16,80	20,86	14,40	17,46	13,80	15,90	8,65
Na ₂ O	0,28	0,43	0,08	0,06	0,05?	0,16	0,19	0,0?	0,09?	0,07?	0,07?	0,10
K ₂ O	1,44	2,49	0,28	0,52	0,27?	1,49	0,32	0,25?	0,33?	0,27?	0,40?	0,62?
P ₂ O ₅	1,52	1,93	0,30	0,33	0,39	0,67	0,54	0,47?	0,42	0,26?	0,45	0,51?
S	0,025	0,04	0,04?	0,12	0,02	Сл.	Сл.	0,03	0,05?	0,07	0,04?	0,09?
CO ₂	12,98	9,46	10,22	11,06	11,30	12,76	16,06	10,75	13,06	10,78	12,06	6,56
П.п.п.	7,33	7,09	9,39	8,80	9,97	8,66	9,00	10,07	9,28	9,11	9,10	10,53
Сумма	99,205	99,13	99,84	100,63	99,868	99,54	99,70	99,92	99,895	100,22	100,137	100,328
Σ FeO	3,53	4,75	7,48	5,34	6,18	5,48	5,55	6,37	5,72	7,20	5,76	9,75
SiO ₂ /MgO	1,21	1,43	1,09	1,08	1,07	1,28	1,24	1,01	1,15	1,04	1,02	1,06
MgO/Σ FeO	6,22	4,39	3,39	5,02	4,04	3,79	3,42	4,11	3,91	3,64	4,48	2,81

Компоненты	Сибирская		Сосед- няя	Угадка		Удачная		Украин- ская	Фестиваль- ная	Якутская		
	ш. 12	ш. 5		брек- чия	порфиро- вый кимберлит	Западная	Восточная			западная часть	центральной часть	восточ- ная часть
Кол-во анализов	3 (3)	2 (2)	2 (2)	2 (5)	1 (3)	3 (62)	3 (59)	3 (3)	2 (4)	1 (2)	1 (3)	1 (2)
SiO ₂	23,77	27,02	23,52	23,24?	28,21	25,41	26,67	23,37	25,10	26,24	30,46	32,31
TiO ₂	1,81	2,91	1,30	2,72	3,16	0,73	1,10	2,28?	2,07?	2,02	1,72	1,76
Al ₂ O ₃	3,05	3,32	2,78	2,85	2,90	2,33	2,29	2,47	2,79	3,35	3,00	2,61
Cr ₂ O ₃	0,11	0,185	0,10	0,13	0,14	0,115	0,109	0,18	0,128	0,07	0,097	0,12
Fe ₂ O ₃	4,74	9,26	4,94	4,00	8,73	3,20	4,55	4,78	6,95	4,68	5,48	7,48
FeO	1,85	0,97	2,26	2,44	1,65	2,42	2,90	2,01	1,51	1,94	1,61	1,88
MnO	0,07	0,265?	0,08	0,07	0,11	0,09	0,12	0,11?	0,17?	0,055	0,11	0,16
MgO	20,72	24,12	22,26	20,60	26,40	25,50	28,50	24,91	22,99	21,22	28,25	32,14
CaO	19,00	10,71	16,93	18,55	8,44	15,44	12,88	14,74	15,60	16,76	9,94	4,72
Na ₂ O	0,08?	0,10	0,09?	0,09	0,11	0,16	0,12	0,08?	0,13	0,11	0,08	0,13
K ₂ O	0,88	0,55	0,33	0,25?	0,11?	0,55	0,38	0,28?	0,12	0,45?	0,18?	0,06
P ₂ O ₅	0,42	0,66	0,41	0,28	0,47	0,30	0,30	0,35	0,36?	0,30	0,35	0,30
S	Сл.	0,03	0,04	0,03	0,02	0,31?	0,33?	0,02	0,06?	0,01	0,04	0,07
CO ₂	14,70	8,16	16,44	15,94	6,33	12,22	9,96	11,60	11,64	13,26	7,12	3,74
П.п.п.	8,98	11,67	8,00	8,63	12,99	9,73	9,12	9,64	10,76	9,08	11,23	12,16
Сумма	100,18	99,93	99,48	99,84	99,77	99,505	99,339	99,83	100,378	99,565	99,667	99,64
Σ FeO	6,12	9,30	6,71	6,04	9,51	5,30	7,00	6,31	7,76	6,15	6,54	8,61
SiO ₂ /MgO	1,15	1,12	1,06	1,13	1,07	1,04	0,94	1,06	1,09	1,24	1,08	1,01
MgO/Σ FeO	3,39	2,59	3,32	3,41	2,78	4,81	4,07	3,95	2,96	3,45	4,32	3,73

Химический состав кимберлитов Верхне-Мунского поля, вес. %

Компоненты	Верхняя	Заполярная	Зимняя	Комсомольская-Магнитная		Легкая	Малая, брекчия	Новинка	Поисковая, туфоподобная разновидность	325 лет Якутин, линия 3, шурф 4
				основная часть	Магнитная ш. 4					
Кол-во анализов	1 (1)	1 (10)	3 (5)	2 (3)	3 (3)	2 (7)	1 (1)	1 (23)	4 (4)	2 (2)
SiO ₂	27,00	33,13	29,99	30,59	28,55	29,70	20,50	30,74	31,46	25,81
TiO ₂	1,36	1,17	1,79	1,28	1,69	1,62	1,07	1,38	2,10	1,09
Al ₂ O ₃	1,70	2,12	2,75	2,21?	2,48	2,64	4,46	2,44	2,08	1,90
Cr ₂ O ₃	0,05	0,19	0,18	0,21	0,094	0,17	0,06	0,206	0,14	0,105?
Fe ₂ O ₃	6,14	5,75	7,02	5,28	6,84	4,92	3,43	5,54	5,74	5,02
FeO	0,78	1,78	2,28	3,28	1,76	1,12	1,40	2,26	2,27	1,08
MnO	0,08	0,13	0,165	0,14?	0,17?	0,09	0,06	0,173	0,093	0,135
MgO	25,88	33,55	32,40	32,52	29,73	32,71	15,54	32,62	31,12	27,78
CaO	15,24	4,38	6,49	7,60	8,77	8,40	25,96	6,51	6,76	13,98
Na ₂ O	0,15	0,06	0,34?	0,12?	0,14	0,11?	0,08	0,14	0,05?	0,04?
K ₂ O	0,22	0,22	0,74?	0,71	0,81	0,07	2,66	0,66	0,25	0,33
P ₂ O ₅	0,43	0,31	0,52	0,54?	0,72	0,99	0,99	0,55	0,42	1,09
S	Н. о.	0,025	0,14	0,095	0,04	0,73	0,09	0,015	0,14	0,02
CO ₂	10,65	4,23	4,34	4,91	6,60	6,83	} 23,96	4,65	4,12	12,28
П.п.п.	9,74	12,90	10,41	10,66	11,55	9,99		11,79	12,82	9,45
Сумма	99,42	99,945	99,555	100,145	99,944	100,09	100,26	99,674	99,563	100,11
Σ FeO	6,31	6,96	8,60	8,03	7,92	5,55	4,49	7,25	7,44	5,60
SiO ₂ /MgO	1,04	0,99	0,93	0,94	0,96	0,91	1,32	0,94	1,01	0,93
MgO/Σ FeO	4,10	4,82	3,77	4,05	3,75	5,89	3,46	4,50	4,18	4,96

Химический состав кимберлитов Чомурдахского поля (вес. %)

Таблица 10

Компоненты	Артык	Бортовая, ш. 4	Водораздель- ная	Дробленая	Дружба		Ильмени- товая	Каменная	Надежная	Рассвет
					разность, богатая слюдой	разность, бедная слюдой				
Кол-во анализов	3 (9)	3 (3)	2 (2)	2 (6)	2 (2)	2 (2)	1 (1)	2 (2)	3 (5)	3 (9)
SiO ₂	24,40	6,30	20,89	3,32	28,65	30,62	25,31	25,91	26,51	27,19
TiO ₂	3,18	1,67	0,47?	1,47?	1,51	3,30	2,24	0,96?	0,81	2,55?
Al ₂ O ₃	3,18?	0,97?	1,25	2,05?	2,96	4,30?	4,07	2,04	1,56	4,11
Cr ₂ O ₃	0,035	0,045	0,109?	0,095	0,12	0,12	0,071	0,13	0,123	0,14
Fe ₂ O ₃	4,89	5,94	3,88	3,18?	6,28	8,34	6,40	6,56	2,54	5,07
FeO	4,36	2,43	0,88	2,38?	2,16	3,06	3,41	1,10	2,37	4,91
MnO	0,17	0,12	0,122	0,228	0,135	0,12	0,14	0,15?	0,076?	0,117?
MgO	19,85	10,64	22,80	13,00	28,61	29,68	24,83	29,85	29,75	23,62
CaO	17,60	34,72	21,34	30,44	10,78	5,00	11,72	11,65?	12,66	12,22
Na ₂ O	0,22	0,20?	0,06	0,22?	(0,38)*	0,15	(0,35)*	0,08	0,165	0,09
K ₂ O	1,30	0,07?	0,25	0,46?	0,45	0,26	1,20	0,21	0,45	1,52
P ₂ O ₅	0,88	3,56	0,92?	0,90?	0,34	0,42	0,34	0,35?	0,50	0,76
S	0,24	Сл.	0,07	1,15	0,04	0,04	0,07	0,045	0,13?	0,06?
CO ₂	12,24	29,78	19,8	35,58	7,92	3,41	11,80	11,24	14,56	8,92
П.п.п.	7,20	2,90	7,38	5,19	9,12	11,40	8,60	9,91	7,71	8,65
Сумма	99,745	99,345	100,221	99,663	99,455	100,22	100,551	100,185	99,914	99,927
Σ FeO	8,76	7,78	4,37	5,24	7,81	10,57	9,17	7,00	4,66	9,47
SiO ₂ /MgO	1,23	0,59	0,92	0,26	1,00	1,03	1,02	0,87	0,89	1,15
MgO/Σ FeO	2,27	1,37	5,22	2,48	3,66	2,81	2,71	4,26	6,38	2,49

* В скобках показаны содержания натрия по анализам, выполненным в 1956—1959 гг. В этот период содержание натрия в анализах кимберлитов нередко заметно завышалось.

Продолжение табл. 10

Компоненты	Светлая					Снежинка		Уральская	Чомур	
	собственно трубка	ш. 71	ш. 73 брекчия	ш. 73, порфи- ровый кимберлит	ш. 76, апофиза	трубка	лайка		ш. 7	ш. 2
Кол-во анализов	1 (1)	2 (2)	1 (3)	2 (5)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	2 (4)	3 (5)	3 (3)
SiO ₂	31,90	32,52	27,97	28,00	22,20	24,10	14,28	26,13	32,33	31,63
TiO ₂	1,42	2,76	1,44	2,50	4,00	2,52	0,37	3,92	1,95	2,09
Al ₂ O ₃	4,74?	2,87	2,86	2,63	4,00	3,61	1,02	3,23	3,24?	3,62
Cr ₂ O ₃	0,16	0,10?	0,08	0,116?	0,05	0,075	0,13	0,063	0,10	0,08
Fe ₂ O ₃	4,94	7,88	4,97	6,46	2,66	6,01	4,74	9,30	5,99	5,38
FeO	3,36	3,80	3,67	4,26	3,37	3,81	1,67	2,82	3,48	3,29
MnO	0,11	0,143	0,07	0,16?	0,15	0,14	0,21	0,143?	0,13	0,14
MgO	26,22	33,20	27,27	26,60	14,04	17,74	18,76	26,08	30,05	27,74
CaO	10,45	1,38	11,74	10,28	23,79	18,35	26,07	10,08	6,47	9,71
Na ₂ O	0,22?	0,17?	(0,42)*	0,10	0,20	0,12	0,13	0,14	0,13	0,16
K ₂ O	0,18?	0,72?	0,61	0,84	2,24	1,90	0,05	1,27	1,32	2,00
P ₂ O ₅	0,50	0,36?	0,58	0,73	1,71	0,43?	1,80	0,89	0,70	0,68
S	0,12	0,11	0,12	0,10	0,38	0,04	0,02	0,73?	Сл.	0,06
CO ₂	9,1	1,49	8,40	7,85	17,07	14,12	25,00	7,14	3,65	5,19
П.п.п.	5,89	11,67	10,12	9,27	4,26	6,56	5,62	8,24	10,16	8,18
Сумма	99,31	99,173	100,32	99,896	100,12	99,525	99,87	100,176	99,70	99,95
Σ FeO	7,81	10,89	8,14	10,07	5,76	9,22	5,94	11,19	8,87	8,13
SiO ₂ /MgO	1,22	0,98	1,03	1,05	1,58	1,36	0,76	1,00	1,08	1,14
MgO/Σ FeO	3,36	3,05	3,35	2,64	2,44	1,92	3,16	2,33	3,39	3,41

* В скобках показаны содержания натрия по анализам, выполненным в 1956—1959 гг. В этот период содержание натрия в анализах кимберлитов нередко заметно завышалось.

Химический состав пикритовых порфиритов
Чомурдахского поля, вес. %

Компоненты	Сопка	Славная	Горняк
Кол-во анализов	3 (3)	1 (1)	3 (4)
SiO ₂	29,09	28,38	26,71
TiO ₂	3,51	4,25	4,31
Al ₂ O ₃	5,58	3,15	5,02
Cr ₂ O ₃	0,097	0,095	0,073
Fe ₂ O ₃	7,47	7,07	7,68
FeO	5,11	4,00	6,42
MnO	0,24	0,21	0,22
MgO	20,36	23,78	21,88
CaO	10,67	11,24	10,58
Na ₂ O	0,21	0,12	0,16
K ₂ O	2,36	2,21	1,02
P ₂ O ₅	0,78	0,92	0,60
S	0,42	Не опр.	0,20
CO ₂	7,73	11,60	8,29
П.п.п.	6,15	2,99	6,20
Сумма	99,777	100,015	99,363
Σ FeO	11,83	10,36	13,33
SiO ₂ /MgO	1,43	1,19	1,22
MgO/Σ FeO	1,72	2,30	1,64

Химический состав кимберлитов Омонос-Кутугунского поля, вес. %

Компоненты	Кэмпс	Ленинград	Омонос	Русловая	Северная	Эгиэнтэй (трубка)	Южная	Аномалия 11, ш. 207	Аномалия 15, ш. 47, 49, 50	Аномалия 18а, ш. 45
Кол-во анализов	1 (1)	2 (4)	2 (2)	1 (2)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	1 (3)	1 (2)
SiO ₂	25,95	30,94	18,90	28,77	25,94	22,04	32,24	30,66	31,34	19,31
TiO ₂	2,04	0,65	0,98	1,04	3,00	2,56	3,30	3,14	5,41	2,28
Al ₂ O ₃	2,92	2,26	4,17	10,58?	4,74	3,50?	5,40	2,86	4,55	3,34
Cr ₂ O ₃	0,09	0,146?	0,15	He опр.	0,12	0,05	0,06	0,15	0,123	0,075
Fe ₂ O ₃	6,88	3,75	4,04	3,04	5,10	6,23	5,34	8,33	7,81	5,69
FeO	1,42	2,35	1,82	3,02	3,11	3,38	4,80	2,86	7,00	2,92
MnO	0,32?	0,09	0,04?	0,04?	0,12	0,135?	0,115	0,095?	0,167	0,125
MgO	27,29	26,13	18,24	19,50	18,24	19,78	19,54	24,78	26,61	16,92
CaO	13,26	12,75	25,84	14,65	18,55	19,90	11,94	8,89	3,11	23,39
Na ₂ O	0,63?	0,14	0,10?	0,28	0,25	0,10?	0,20	0,06?	0,07	Сл.
K ₂ O	0,13	1,70	0,48	2,21	3,08	1,74?	2,00	0,38	1,28	0,40
P ₂ O ₅	0,44	0,62	0,98	0,55	1,56	0,62	0,36	0,54?	0,59	1,50
S	0,02	0,02	Сл.	0,10	0,06	He обн.	0,12	Сл.	He опр.	He опр.
CO ₂	9,67	9,79	19,63	12,32	12,00	14,33	9,45	5,90	2,08	16,89
П.п.п.	9,00	8,44	4,33	4,25	4,00	5,84	5,37	10,76	9,89	7,01
Сумма	100,06	99,776	99,70	100,35	99,87	100,205	100,235	99,405	100,03	99,85
Σ FeO	7,61	5,72	5,46	5,76	7,70	8,99	9,61	10,36	14,03	8,04
SiO ₂ /MgO	0,95	1,18	1,04	1,48	1,42	1,11	1,65	1,24	1,18	1,14
MgO/Σ FeO	3,59	4,57	3,34	3,38	2,37	2,20	2,03	2,39	1,90	2,10

Компоненты	Аномалия 19, ш. 56	Аномалия 22, ш. 51	Аномалия 22, ш. 52	Аномалия 23			Аномалия 45, ш. 6	Аномалия 46, ш. 75	Аномалия 46а	
				ш. 58	ш. 59	ш. 60			ш. 76	ш. 77
Кол-во анализов	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	3 (3)	1 (1)
SiO ₂	24,55	29,38	32,33	32,50	31,23	27,58	23,34	23,44	28,13	31,65
TiO ₂	5,40	5,90	7,13	4,66	5,62	4,66	3,29	2,60	4,07	4,10
Al ₂ O ₃	3,34	3,66	2,90	5,10	4,68	3,89	3,15	3,28	3,14	3,83
Cr ₂ O ₃	0,12	0,12	0,08	0,11	0,104?	0,08	0,10	0,02?	0,052?	0,05
Fe ₂ O ₃	8,32	6,92	11,93	6,23	7,90	5,73	8,22	5,56	7,55	9,82
FeO	3,20	6,66	3,87	5,18	5,65	3,92	4,10	3,26	4,52	5,31
MnO	0,24	0,20	0,08?	0,20	0,21	0,19	0,24	0,15	0,173	0,25?
MgO	18,37	20,25	27,95	21,69	23,54	22,36	20,49	17,78	22,53	26,01
CaO	14,18	8,84	1,77	9,27	8,05	11,97	15,20	20,12	10,68	4,11
Na ₂ O	0,05	0,08	0,10	0,16	0,12	Сл.	0,03	0,52?	0,13	0,43?
K ₂ O	0,31	2,18	0,45	3,28	3,10	1,80	0,61	2,14	2,51	1,66
P ₂ O ₅	0,54	0,62	0,28	0,75	0,68	0,56	0,96	0,79	0,89	0,71
S	He опр.	He опр.	Сл.	He опр.	0,09	He опр.	He опр.	0,23	0,135	0,05
CO ₂	11,34	6,64	1,09	3,61	2,29	8,94	12,06	12,78	7,76	2,52
П.п.п.	10,13	8,54	9,97	6,98	7,00	8,15	7,95	6,54	7,75	9,26
Сумма	100,09	99,99	99,93	99,72	100,264	99,83	99,74	99,21	100,02	99,76
Σ FeO	10,69	12,89	14,61	10,79	12,76	9,08	11,50	8,26	11,32	14,15
SiO ₂ /MgO	1,34	1,45	1,16	1,50	1,33	1,23	1,14	1,32	1,25	1,22
MgO/Σ FeO	1,72	1,57	1,91	2,01	1,84	2,46	1,78	2,15	1,99	1,84

Компоненты	Аномалия 48		Аномалия 52, ш. 1	Аномалия 55, ш. 268	Аномалия 62, ш. 252	Аномалия 62н, ш. 251	Аномалия 65		Аномалия 66, ш. 283	Аномалия 71, ш. 203 и 204
	ш. 22	ш. 23					ш. 275	ш. 276		
Кол-во анализов	1 (1)	3 (3)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	2 (2)	1 (2)	2 (2)	1 (1)	1 (2)
SiO ₂	24,94	22,46	25,39	12,71	26,86	29,91	21,85	25,86	25,40	20,81
TiO ₂	3,32	3,28	2,97	1,62	3,96	4,75	2,82	3,78	2,65	1,85
Al ₂ O ₃	4,28	3,34	2,82	2,63	4,27	5,08	4,08	3,36	3,91	4,26
Cr ₂ O ₃	0,05	0,04?	0,10	0,02?	0,10	0,09	0,05	0,02?	0,13	0,07
Fe ₂ O ₃	7,26	7,78	9,30	5,95	5,57	8,40	7,84	15,14	9,17	7,26
FeO	2,22	3,43	3,49	3,03	4,06	3,78	3,16	1,82	2,62	2,97
MnO	0,12	0,15	0,26	0,18?	0,14	0,17	0,17	0,34?	0,16	0,22
MgO	17,77	18,44	23,65	12,16	18,66	26,37	15,40	28,92	23,00	16,95
CaO	17,19	18,34	11,77	31,16	14,96	5,27	19,80	5,18	12,82	21,13
Na ₂ O	Сл.	0,10?	0,05	0,04	0,11	0,11	0,04	0,32?	Сл.	0,16?
K ₂ O	1,95	2,15	0,52	0,58?	2,65	1,65	2,41	0,05?	1,32	1,34
P ₂ O ₅	0,84	1,43	0,68	1,56	0,80	0,74	1,60	1,02	0,61	1,60
S	He опр.	0,06?	He опр.	0,12?	0,02	0,03	He опр.	0,12?	He опр.	He опр.
CO ₂	12,88	12,80	9,52	23,36	11,33	3,74	14,43	3,12	10,00	14,51
П.п.п.	6,95	5,86	9,70	4,65	6,02	9,84	6,14	11,06	7,85	6,52
Сумма	99,77	99,66	100,22	99,77	99,51	99,93	99,79	100,11	99,64	99,65
Σ FeO	8,75	10,43	11,86	8,38	9,07	11,34	10,22	15,45	10,87	9,50
SiO ₂ /MgO	1,40	1,22	1,07	1,05	1,44	1,13	1,42	0,89	1,10	1,23
MgO/Σ FeO	2,03	1,77	1,99	1,45	2,06	2,32	1,51	1,87	2,12	1,78

Химический состав пикритовых порфиров Укуитского (Омонос-Кутугунского) поля, вес. %

Таблица 13

Компоненты	Аномалия 12, ш. 53	Аномалия 24н, ш. 44	Аномалия 36, ш. 70	Аномалия 42, ш. 266 и 267	Аномалия 44, ш. 33	Аномалия 45а, ш. 16	Аномалия 46, ш. 72	Аномалия 53, ш. 81
	Кол-во анализов	1 (1)	1 (1)	3 (3)	1 (2)	1 (1)	1 (1)	2 (2)
SiO ₂	25,68	30,06	27,95	27,35	21,94	30,08	26,13	21,48
TiO ₂	1,94	4,44	4,27	6,26	5,44	3,94	3,66	4,28
Al ₂ O ₃	4,05	5,18	2,99	3,28	4,08	4,96	4,92	3,45
Cr ₂ O ₃	0,13	0,15	0,089?	0,081	0,06	0,10	0,035	0,08
Fe ₂ O ₃	7,11	10,71	6,95	7,14	9,54	8,66	8,65	9,43
FeO	2,09	1,99	5,57	5,55	3,62	3,07	2,57	2,11
MnO	0,15	0,22	0,20?	0,22?	0,24	0,16	0,28	0,24
MgO	22,47	22,21	22,83	21,14	15,96	20,33	19,95	20,70
CaO	14,55	6,31	10,47	10,91	17,24	8,98	15,93	16,93
Na ₂ O	0,04	0,11	0,10?	0,16	0,16*	0,07	0,09	0,08
K ₂ O	0,49	0,30	2,24	2,65	1,40*	1,68	1,93	1,23
P ₂ O ₅	2,62	1,45	0,20?	0,55	1,91	0,75	1,66	2,28
S	He опр.	He опр.	0,50?	0,065	0,12	He опр.	0,12	He опр.
CO ₂	8,99	3,83	7,95	8,75	14,05	6,85	6,48	10,33
П.п.п.	9,40	13,09	7,55	6,14	4,10	10,49	7,10	7,03
Сумма	99,71	100,05	99,859	100,246	99,86	100,12	99,505	99,65
Σ FeO	8,49	11,63	11,82	11,98	12,21	10,86	10,36	10,60
SiO ₂ /MgO	1,14	1,35	1,22	1,29	1,37	1,48	1,31	1,04
MgO/Σ FeO	2,65	1,91	1,93	1,76	1,31	1,87	1,93	1,95

* Щелочи дополнительно определены в другой лаборатории; приведено среднее арифметическое из двух определений.

Продолжение табл. 13

Компоненты	Аномалия 54		Аномалия 57, ш. 272	Аномалия 61, ш. 67	Аномалия 64		Аномалия 68, ш. 284 и 285	Аномалия 72, ш. 202
	ш. 84	ш. 85			ш. 279	ш. 280 и 281		
Кол-во анализов	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	3 (4)	3 (3)
SiO ₂	37,92	32,32	20,70	29,20	22,27	23,82	28,68	29,31
TiO ₂	5,02	3,71	4,16	4,19	3,26	3,45	4,02	6,37?
Al ₂ O ₃	6,36	5,33	4,13	3,16	3,00	4,54	3,28	4,02
Cr ₂ O ₃	0,10	0,10	0,13	0,13	0,05	0,07?	0,085?	0,055?
Fe ₂ O ₃	7,77	4,09	5,87	8,79	9,86	7,63	12,31	8,76
FeO	6,99	5,75	2,56	3,05	1,39	3,16	4,21	6,29
MnO	0,28	0,12	0,15	0,14	0,30	0,20	0,18?	0,23
MgO	20,00	26,25	12,17	22,44	19,80	21,36	27,84	23,90
CaO	4,68	5,81	23,35	9,24	17,66	15,18	4,47	8,54
Na ₂ O	1,03*	0,08	0,22*	0,04	0,16	0,12?	0,11	0,12?
K ₂ O	2,38*	1,36	1,94*	0,08	1,59	1,58	1,26	2,28
P ₂ O ₅	1,09	0,71	1,34	0,43	1,24	1,04	0,76?	0,54
S	0,39	He опр.	0,22	He опр.	0,016	0,12	0,05?	0,13?
CO ₂	0,61	4,17	15,60	7,02	13,14	11,24	2,97?	2,01
П.п.п.	5,24	10,05	6,56	12,00	6,00	6,31	9,32	7,45
Сумма	99,86	99,85	99,10	99,91	99,736	99,82	99,545	100,005
Σ FeO	13,98	9,43	7,84	10,96	10,26	10,03	15,29	14,17
SiO ₂ /MgO	1,90	1,23	1,70	1,30	1,12	1,12	1,03	1,23
MgO/Σ FeO	1,43	2,78	1,55	2,05	1,93	2,13	1,82	1,69

* Щелочи дополнительно определены в другой лаборатории; приведено среднее арифметическое из двух определений.

**Химический состав кимберлитов
Огоньор-Моторчунского поля, вес. %**

Компоненты	Аэрогеологическая			Сёстры		
	раздвиг трубки	с.-з. при- контакт. часть раздвиг	апофи- за	Аномалия „А“		Аномалия „Б“
				прочный кимберлит	рыхлый кимберлит	
Кол-во анализов	3 (5)	1 (4)	2 (2)	3 (4)	1 (1)	1 (1)
SiO ₂	30,78	31,07	26,24	29,71	23,08	23,35
TiO ₂	3,53	1,43	1,03	3,38	1,00	4,44
Al ₂ O ₃	4,42?	4,64	5,86?	2,89	2,21	4,49
Cr ₂ O ₃	0,15	0,125	0,12	0,073	0,05	0,078
Fe ₂ O ₃	8,00	6,36	4,18	8,07	3,77	5,26
FeO	2,58	2,77	4,20	2,84	1,79	4,79
MnO	0,15	0,15	0,15	0,137	0,11	0,22
MgO	26,32	26,44	16,12	27,56	19,98	17,89
CaO	10,71	11,58	19,64	7,98	22,41	17,18
Na ₂ O	0,10?	0,10?	0,15?	0,08?	0,19	0,19?
K ₂ O	0,20?	0,61	1,75	0,43?	0,09	2,44
P ₂ O ₅	0,37	0,30	0,38	0,17?	0,06?	1,00
S	0,03	0,06	0,14	0,025	He обн.	He опр.
CO ₂	4,58	4,86	15,5	5,11?	5,68	13,86
П.п.п.	8,35	9,50	4,38	11,27	19,68	4,30
Сумма	100,27	99,995	99,84	99,725	100,10	99,488
Σ FeO	9,78	8,49	7,96	10,10	5,18	9,52
SiO ₂ /MgO	1,17	1,18	1,63	1,08	1,16	1,30
MgO/Σ FeO	2,69	3,11	2,02	2,73	3,86	1,88

Химический состав кимберлитов и пикритовых порфиритов (п. п.) Мерчимденского поля, вес. %

Компоненты	Безымянная				Бура-тино (п.п.)	Восток-5	Вос-ток-6	Крошка		Львиная лапа		Надеж-да
	ш. 1504 и 1505, темный кимберлит	ш. 1505, голубой кимберлит	ш. 1506, темный кимберлит	ш. 1507, брекчия				ш. 234 и 235	ш. 237	ш. 222	ш. 271	
Кол-во анализов	3 (5)	2 (2)	1 (1)	1 (1)	3 (6)	1 (1)	2 (2)	1 (4)	1 (2)	1 (5)	2 (3)	1 (2)
SiO ₂	33,03	26,86	31,17	28,40	27,32	28,10	30,53	27,85	8,38	11,10	25,77	27,33
TiO ₂	4,23	2,60	3,50	3,52	4,05	3,76	0,44?	1,12	0,76	0,93	0,98	4,22
Al ₂ O ₃	4,02	4,48	4,85	3,97	3,98	3,09	3,56?	3,10	2,38	2,77	2,35	4,78
Cr ₂ O ₃	0,12	0,04	He опр.	0,075	0,049	0,116	0,132	0,12?	0,18	0,07	0,24	0,035
Fe ₂ O ₃	8,97	5,14	5,97	3,51	8,19	4,33	5,04	5,87	1,82	3,66	6,28	8,05
FeO	3,78	3,71	2,98	3,00	3,93	4,80	2,49	1,98	1,60	0,52	2,71	3,76
MnO	0,18	0,075	0,11	0,04	0,205	0,09	0,10?	0,135	0,15	0,09	0,12	0,215
MgO	28,15	21,90	22,29	16,17	22,44	22,59	27,17	26,31	16,26	11,84	26,59	23,66
CaO	3,22	14,25	9,60	18,20	12,36	12,86	9,86	13,18	28,52	34,80	13,30	10,33
Na ₂ O	0,17	0,10	0,22	0,35	0,10?	0,23	0,16	0,06	0,07	0,02	0,09?	0,10
K ₂ O	2,03	0,90	2,72	2,40	1,57	2,30	1,87	0,90	0,83	0,44	0,41	1,44
P ₂ O ₅	0,53?	0,43?	1,05	0,93	0,60	0,86	0,52?	0,99	0,80	0,41	0,93	0,70
S	0,075	0,26	0,09	He опр.	0,07	He опр.	0,01	0,06	0,22	1,93	0,08	0,10
CO ₂	1,70	9,76	6,81	13,73	7,39	8,58	10,28	}17,54	}37,70	}32,05	}20,05	}13,86
П.п.п.	10,08	9,57	8,36	4,95	7,67	7,82	7,28					
Сумма	100,285	100,075	99,72	99,245	99,924	99,526	99,442	99,215	99,67	100,63	99,90	98,58
Σ FeO	11,85	8,34	8,35	6,16	11,30	8,70	7,03	7,26	3,24	3,81	8,36	11,01
SiO ₂ /MgO	1,17	1,23	1,40	1,76	1,22	1,24	1,12	1,06	0,52	0,94	0,97	1,16
MgO/Σ FeO	2,38	2,63	2,67	2,62	1,99	2,60	3,86	3,62	5,02	3,11	3,18	2,15

Компоненты	Немагнитная		Неуловимая (п.п.?)	Операторская		Подснежная		Солнечная (тело № 7)		Флогопитовая		Тело № 5	Тело № 6
	ш. 269 и 270	ш. 232		южная ш. 1 и 2	северная ш. 4	ш. 238	ш. 263	ш. 1	ш. 2	порфи- ровый ким- берлит	брекчия		
Кол-во анализов	1 (2)	1 (4)	2 (3)	3 (3)	2 (2)	1 (2)	1 (3)	1 (1)	2 (2)	3 (6)	1 (1)	1 (1)	3 (4)
SiO ₂	19,75	24,08	27,24	32,88	33,44	27,73	23,65	5,79	13,24	28,00	8,44	22,88	16,89
TiO ₂	0,86	0,72	3,58	2,35	5,02	0,60	0,69	2,23	2,29	3,72	2,34	0,41	3,79
Al ₂ O ₃	3,64	3,30	4,72	2,85	3,93	3,83	2,12	2,23	2,79	3,39	2,57	1,04	3,77
Cr ₂ O ₃	0,09	0,20?	0,08	0,095	0,085	0,08	0,15	He опр.	0,042	0,16	He опр.	He опр.	0,103
Fe ₂ O ₃	4,08	2,88	9,18	5,78	8,80	5,94	6,84	6,52	5,90	5,80	1,69	2,39	2,88
FeO	0,95	1,70	2,60	2,98	3,40	2,10	2,64	0,65	2,62	4,94	5,53	1,44	1,97
MnO	0,13	0,16	0,16	0,125	0,14	0,14	0,19	0,09	0,24	0,14	0,13	0,15	0,115
MgO	19,85	12,68	14,56	27,88	28,58	24,81	28,80	5,43	20,52	22,63	16,00	7,93	6,11
CaO	19,98	21,07	17,35	7,21	3,12	11,50	11,45	36,03	19,48	12,56	24,14	28,73	32,14
Na ₂ O	0,13	0,12	0,21?	0,16	0,24	0,15	0,10	0,15	0,12	0,20	0,24	0,10	0,20?
K ₂ O	1,52	2,18	3,00	1,21	2,54	1,36	0,50	Сл.	0,38	1,76	1,80	0,30	1,90
P ₂ O ₅	0,80	0,56	1,40	0,70	0,28	0,60	1,35	0,95	0,64?	0,64	0,72	0,65	1,08
S	0,80	0,10	0,07	0,05	0,07	0,09	0,06	5,22	0,14?	0,08	0,72	1,48	1,66
CO ₂	}26,48	}29,88	12,51	5,04	0,50	}20,33	}21,00	24,92	24,53	8,71	33,33	30,28	22,68?
П.п.п.			3,29	10,12	9,34			3,66	6,42	6,35	1,04	1,16	3,37
Сумма	99,06	99,73	99,95	99,43	99,485	99,26	99,55	93,90	99,352	99,11	98,69	98,94	98,658
Σ FeO	4,62	4,29	10,86	8,18	11,32	7,45	8,80	6,52	7,93	10,16	7,05	3,59	4,56
SiO ₂ /MgO	1,00	1,90	1,87	1,18	1,17	1,12	0,82	1,07	0,64	1,24	0,53	2,88	2,76
MgO/Σ FeO	4,30	2,96	1,34	3,41	2,52	3,33	3,27	0,83	2,59	2,23	2,27	2,21	1,34

Примечание. Отклонение некоторых сумм от 100% связано с пересчетом SO₃ на S, а также с тем что в ряде случаев определялись (но не показаны в таблице) барий и никель.

Химический состав кимберлитов Верхне-Молодинского поля, вес. % (без песчаного материала)

Компоненты	Алды- кан	Апатито- вая	Гранатовая			Молодо		Унга		Хмурая	Хризо- литовая	Чамайа
			каверноз- ный кимберлит	черный кимбер- лит	серый кимберлит	центрально- ное тело, ш. 5	юго-запад- ное тело, ш. 7	с мин- далини- ми	без мин- далини			
Кол-во анализов	2 (2)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	1 (1)	3 (3)	4 (4)	3 (3)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	3 (4)
SiO ₂	32,98	7,70	32,87	28,43	23,76	11,22	22,16	12,05	9,40	26,00	27,93	18,96?
TiO ₂	2,34	0,96	4,37	4,03	4,12	2,25	3,27	2,30	1,80	1,92	0,57	1,06
Al ₂ O ₃	2,80	1,79	4,88	3,90	2,59	3,21	3,15	1,86?	1,40	2,28	2,48	1,23?
Cr ₂ O ₃	0,136	0,214	0,128	0,096	0,05	0,062	0,078	0,115	0,098	0,08?	0,098	0,104
Fe ₂ O ₃	6,60	2,75	9,75	7,28	6,40	4,28	4,58	4,95	2,44	4,82	4,54	4,36
FeO	1,62	3,76	4,51	5,43	4,92	3,18	5,45	2,80	1,45	5,83	3,40	2,42
MnO	0,045	0,53	0,26	0,24	0,21	0,26	0,20	0,27?	0,30	0,195	0,19	0,175?
MgO	28,58	4,37	25,94	26,86	14,10	4,39	17,16	10,06	6,27	19,22	20,18	16,77?
CaO	4,11	40,78	3,72	8,16	20,68	36,96	21,57	33,04	39,80	18,74	16,86	25,73?
Na ₂ O	0,05?	0,35	0,18	0,20	0,27	0,28	0,25	0,22?	0,22	0,22	0,20	0,15?
K ₂ O	0,85	0,22	2,02?	0,78	1,69	1,15	1,58	0,20?	0,13	1,15	1,52	0,45?
P ₂ O ₅	0,63	1,66	0,90	0,73	0,66	0,65	0,91	1,89	2,42	1,10	1,49	0,44
S	0,69?	He опр.	0,025	0,035	He опр.	0,06	0,08	0,13	0,95	0,02	0,04	0,04
CO ₂	3,05	31,02	0,94?	4,07	15,18	29,43	15,53	27,63	30,36	14,35	13,04	21,44
П.п.п.	14,74	3,33	9,96?	9,86	4,99	2,49	3,98	2,42	3,12	3,63	6,82	6,73
Сумма	99,221	99,434	100,453	100,101	99,62	99,872	99,948	99,935	100,158	99,555	99,358	100,059
Σ FeO	7,56	6,24	13,28	11,98	10,68	7,03	9,57	7,26	3,65	10,17	7,49	6,34
SiO ₂ /MgO	1,15	1,76	1,27	1,06	1,68	2,56	1,29	1,20	1,50	1,35	1,38	1,13
MgO/Σ FeO	3,78	0,70	1,95	2,24	1,32	0,62	1,79	1,39	1,72	1,89	2,69	2,64

Примечание. В кимберлите центрального тела группы «Молодо» (ш. 5) песчаный материал присутствует в незначительном количестве.

Таблица 17

Химический состав кимберлитов Толуопского поля, вес. %

Компоненты	Закат	Находка	Приленская	Ява	Ясная
Кол-во анализов	3 (3)	1 (2)	1 (1)	4 (4)	2 (2)
SiO ₂	31,35	5,42	18,04	7,28	10,32
TiO ₂	1,92	1,48	2,36	1,02	4,20
Al ₂ O ₃	4,27	2,66	1,88	2,06	2,90
Cr ₂ O ₃	0,062	0,05	0,07	0,032	0,097
Fe ₂ O ₃	4,62	3,63	2,59	1,74	9,06
FeO	3,73	37,98	3,22	0,78	2,16
MnO	0,123	0,83?	0,20	0,064	0,046
MgO	21,44	5,76	11,74	8,92	7,32
CaO	11,89	9,06	22,48	30,84	27,68
Na ₂ O	0,50?	0,20	0,23	0,10?	0,28
K ₂ O	1,90	0,30	2,85	1,05	0,68
P ₂ O ₅	0,42	0,05?	0,06?	0,18	0,60
S	0,12	0,18	0,13	5,77	6,21
CO ₂	8,74	31,35	24,55	25,73	13,88
П.п.п.	8,77	1,18	9,87	6,87	6,51
Сумма	99,855	100,13	100,27	92,436*	91,943*
Σ FeO	7,89	41,25	5,55	2,35	10,31
SiO ₂ /MgO	1,46	0,94	1,54	0,82	1,41
MgO/Σ FeO	2,72	0,14	2,12	3,80	0,71

* Низкие значения суммы обусловлены тем, что значительная часть серы присутствует в сульфатной форме (в виде гипса).

Таблица 18

Химический состав кимберлитов Куойского поля, вес. %

Компоненты	Второ-годница	Муза	Обна-женная	Оливиновая	Пятница	Русло-вая	Слюдянка
Кол-во анализов	4 (8)	3 (4)	6 (13)	3 (7)	4 (4)	5 (14)	4 (4)
SiO ₂	25,86	32,32	32,07	28,13	31,35	36,57	33,89
TiO ₂	0,94	0,11	0,45	1,11	1,53?	0,12?	1,29?
Al ₂ O ₃	2,28	0,92	1,90	2,66	2,22?	1,55	2,31?
Cr ₂ O ₃	0,114	0,10	0,17	0,158	0,114?	0,069	0,114
Fe ₂ O ₃	3,24	1,71	3,08	3,85	5,65	2,93	5,07
FeO	4,07	6,23	4,25	4,27	4,15	3,94	5,59
MnO	0,17	0,10	0,14	0,185?	0,16	0,15	0,155
MgO	27,58	36,50	33,00	29,37	22,46?	39,60	32,65

Компоненты	Второ- годница	Муза	Обна- женная	Оливиновая	Пятница	Русло- вая	Слюдя- ка
Кол-во анализов	4 (8)	3 (4)	6 (13)	3 (7)	4 (4)	5 (14)	4 (4)
CaO	15,21	5,16?	9,03	13,25	11,93?	2,13	4,93
Na ₂ O	0,14	0,14?	0,13?	0,10	0,23	0,08	0,16
K ₂ O	0,45?	0,30?	0,43?	0,76	0,40?	0,12	0,56
P ₂ O ₅	0,82	0,20?	0,34?	0,92	0,29?	0,23	0,10
S	0,05	0,23?	0,60	0,06	0,18?	0,22	0,32?
CO ₂	12,31	10,40	7,83	10,15	10,54	3,02	5,28
П.п.п.	5,97	5,06	6,24	4,57	9,38	9,23	7,96
Сумма	99,204	99,48	99,66	99,543	100,584	99,959	100,379
Σ FeO	6,99	7,77	7,02	7,74	9,24	6,58	10,15
SiO ₂ /MgO	0,94	0,88	0,97	0,96	1,40	0,92	1,04
MgO/Σ FeO	3,95	4,70	4,70	3,79	2,43	6,02	3,22

Таблица 19

Химический состав пикритовых
порфиров Куойского поля, вес. %

Компоненты	Великан I	Великан II	Монтчеллитовая
Кол-во анализов	3 (7)	2 (3)	2 (6)
SiO ₂	22,76	20,22	29,62
TiO ₂	3,28	3,68	3,73
Al ₂ O ₃	4,39	3,97	3,84
Cr ₂ O ₃	0,05	0,06	0,062
Fe ₂ O ₃	7,64	8,25	7,78
FeO	3,74	4,81	7,30
MnO	0,193	0,213	0,235
MgO	22,23	21,64	26,14
CaO	15,90	16,74	13,74
Na ₂ O	0,28	0,34	0,26
K ₂ O	0,86	0,44	0,62
P ₂ O ₅	0,89	1,10	0,34
S	0,27	0,09	0,18
CO ₂	11,80	11,19	1,45
П.п.п.	5,44	6,71	4,27
Сумма	99,723	99,453	99,567
Σ FeO	10,62	12,24	14,30
SiO ₂ /MgO	1,02	0,93	1,13
MgO/Σ FeO	2,09	1,77	1,83

Примечание. Образцы из дайки Великан отнесены к участкам «Великан I» и «Великан II» по данным К. Н. Никишова.

Химический состав кимберлитов и пикритовых порфиритов (п. п.) Мало-Куонамского (Куранахского) поля, вес. %

Компоненты	Вымпел	Им. Комарова	Куранахская, основная часть	Лось		Малокуонамская		
				ш. 28	ш. 29	северо-западная часть	юго-западная часть	юго-восточная часть
Кол-во анализов	1 (4)	1 (2)	1 (4)	1 (3)	1 (1)	1 (3)	1 (2)	1 (3)
SiO ₂	28,04	31,51	28,02	30,51	27,86	29,07	31,52	32,08
TiO ₂	2,56	2,29	1,88	1,87	3,46	1,40	1,86	1,48
Al ₂ O ₃	3,03	3,55	3,56	3,02	2,73	4,62 [?]	4,69	4,79
Cr ₂ O ₃	0,20	0,20	0,20	0,18	0,14	0,11	0,20	0,15
Fe ₂ O ₃	7,22	4,60	6,26	5,12	5,61	4,90	5,46	6,71
FeO	3,07	4,52	3,55	5,94	6,81	3,95	4,16	2,27
MnO	0,20	0,16	0,17	0,22	0,22	0,18	0,24	0,15
MgO	24,69	24,74	23,50	28,03	23,47	21,98	25,44	22,91
CaO	10,89	9,44	12,07	8,18	10,96	13,39	9,74	14,29
Na ₂ O	0,16 [?]	0,10	0,10	0,10	0,09	0,06	0,08	0,06
K ₂ O	1,51 [?]	2,22	1,15	1,48	1,64	2,15	0,93 [?]	0,12
P ₂ O ₅	1,36	0,94	0,77	1,49	0,70	1,05	0,84	0,67
S	0,05	Сл.	0,06	0,05	He опр.	0,06	0,22	0,12
CO ₂	7,06	6,36	9,16	5,92	8,40	8,26	3,94	3,97
П.п.п.	9,42	9,07	9,38	7,41	7,84	8,65	10,80	10,33
Сумма	99,46	99,70	99,83	99,52	99,93	99,83	100,12	100,10
Σ FeO	9,57	8,66	9,18	10,55	11,86	8,36	9,07	8,31
SiO ₂ /MgO	1,14	1,27	1,19	1,09	1,19	1,32	1,24	1,40
MgO/Σ FeO	2,58	2,86	2,56	2,66	1,98	2,63	2,80	2,76

Продолжение табл. 20

Компоненты	Сенкю-Северная		Сенкю-Южная		Университетская			Харьковчанка, (п.п.)	Чита (п.п.)
	ш. 42 и 43	северо-западная часть, ш. 44	ш. 37, 38, 39	северная часть, ш. 40	северная часть	центральная часть	южная часть		
Кол-во анализов	1 (2)	1 (1)	1 (3)	1 (2)	1 (2)	1 (3)	1 (4)	2 (2)	1 (1)
SiO ₂	27,15	29,54	30,64	27,00	29,50	32,50	30,03	32,89	26,32
TiO ₂	2,10	2,84	1,59	1,97	1,27	0,82	1,50	4,14	3,01
Al ₂ O ₃	3,60	3,41	3,49	3,52	3,02	2,84	2,66	4,90	3,45
Cr ₂ O ₃	0,18	0,20	0,19	0,20	0,19	0,14	0,21	0,19	0,15
Fe ₂ O ₃	6,12	6,64	5,49	5,38	4,66	5,14	4,46	8,61	5,97
FeO	2,76	4,54	3,18	3,92	4,62	3,29	5,03	4,88	5,49
MnO	0,18	0,19	0,14	0,12	0,19	0,15	0,19	0,20	0,22
MgO	23,80	24,14	28,04	23,30	24,72	28,15	26,75	23,46	17,13
CaO	12,50	8,42	8,07	13,02	11,00	8,23	9,77	4,42	14,71
Na ₂ O	0,14	0,16	0,12	0,07	0,10	0,14	0,14	0,11	0,10
K ₂ O	1,80	1,90	1,29	0,96	1,30	1,63	1,44	1,98	1,87
P ₂ O ₅	1,12	0,47	0,76	0,98	1,08	0,76	1,07	1,18	0,98
S	0,24	He опр.	0,01	0,31	0,02	Сл.	0,05	0,02	0,22
CO ₂	8,64	5,92	5,51	8,82	8,86	5,98	6,75	3,40	12,14
П.п.п.	9,57	11,44	11,15	10,27	9,05	10,02	9,43	9,50	8,13
Сумма	99,90	99,81	99,67	99,84	99,58	99,79	99,48	99,88	99,89
Σ FeO	8,27	10,52	8,12	8,76	8,81	7,92	9,04	12,63	10,86
SiO ₂ /MgO	1,14	1,22	1,09	1,16	1,19	1,15	1,12	1,40	1,54
MgO/Σ FeO	2,88	2,30	3,45	2,66	2,81	3,55	2,96	1,86	1,58

Химический состав кимберлитов Лучаканского поля, вес. %

Компоненты	Дама		Двой- ная	Краси- вая	Лыхчан			Отрицательная		Поздняя ш. 14001	Флажок, ш. 14084	Анома- лия 107
	вост. часть	западн. часть			восточ- ная часть	западная часть		ш. 14060	ш. 14062			
						брекчия	порфиров. кимберлит					
Кол-во анализов	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (3)	2 (2)	2 (2)	3 (3)	1 (1)	3 (3)	1 (1)	2 (2)
SiO ₂	33,02	30,03	36,22	27,35	31,96	28,70	30,28	30,45	40,36	33,77	36,68	31,93
TiO ₂	1,62	1,51	2,72	3,76	3,07	4,46	5,44	2,28	1,75	3,46	2,14	1,22
Al ₂ O ₃	4,24	3,00	5,84	4,94	5,58	4,36	4,56	1,92?	3,59	4,17	2,95	4,59
Cr ₂ O ₃	0,18	0,18	0,18	0,05	0,09	0,105	0,19	0,15?	0,07	0,09	0,26	0,155
Fe ₂ O ₃	4,85	4,92	5,54	4,94	6,25	6,31	7,15	4,88	4,01	8,39	8,78	4,36
FeO	3,70	4,30	4,56	4,23	3,68	4,84	5,50	5,30	2,66	2,30	1,40	3,06
MnO	0,14	0,14	0,22	0,12	0,17	0,16	0,20	0,14	0,13	0,15	0,08	0,135
MgO	24,27	25,84	20,82	17,39	17,68	19,80	20,52	28,93	23,38	23,16?	31,09	22,90
CaO	9,76	11,37	10,32	16,60	13,12	13,52	10,13	8,34	6,33	12,54	2,29	10,97
Na ₂ O	0,06	0,04?	0,32	0,11	0,30	0,16?	0,22?	0,07?	1,22	0,23	Сл.	0,06?
K ₂ O	1,74	1,50	2,00	1,58	1,59	2,28	2,26	0,90	2,42	2,47	1,05	1,76
P ₂ O ₅	0,70	0,75	0,67	0,48	0,64	0,67	0,94	0,45	0,45	0,77	0,54	0,51
S	0,05	0,03	0,08	0,05	0,08	0,04	0,04	0,10	0,04	0,08	0,15	0,56
CO ₂	6,01?	8,28	3,11	10,89	7,85	7,99	5,15	7,55	9,08	1,62	0,79	7,84
П.п.п.	9,34	8,31	7,13	7,39	7,42	6,58	7,00	8,51	4,05	6,51	11,75	9,43
Сумма	99,68	100,20	99,73	99,88	99,48	99,975	99,58	99,97	99,54	99,71	99,95	99,48
Σ FeO	8,06	8,73	9,55	8,68	9,30	10,52	11,94	9,69	6,27	9,85	9,30	6,98
SiO ₂ /MgO	1,36	1,16	1,74	1,57	1,81	1,45	1,48	1,05	1,73	1,46	1,18	1,39
MgO/Σ FeO	3,01	2,96	2,18	2,00	1,90	1,88	1,72	2,99	3,73	2,35	3,34	3,28

Химический состав пикритовых порфиров Луцаканского поля, вес. %

Компоненты	Каппа, ш. 14038	Круглая, ш. 14043	Оригинальная	Тройное, ш. 14066	Улахан-Луцакан		Юлегир-Чарас	Дайка № 8, ш. 14045
					трубка	дайка		
Кол-во анализов	2 (2)	2 (2)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
SiO ₂	30,38	16,67	26,94	29,69	21,82	26,23	31,42	17,56
TiO ₂	4,34	2,26	2,73	2,91	2,48	2,35	0,85	1,77
Al ₂ O ₃	3,10?	3,56	4,38	3,53	3,27	5,98	4,24	2,90
Cr ₂ O ₃	0,09	0,055	He опр.	0,11	He опр.	0,26	0,22	0,05
Fe ₂ O ₃	8,26	5,21	4,62	8,54	8,61	7,54	5,05	5,81
FeO	6,42	2,73	6,75	4,25	3,36	5,53	3,15	2,10
MnO	0,22	0,20	0,20	0,22	0,20	0,16	0,14	0,16
MgO	20,48	17,11	22,55	22,89	23,56	20,97	27,47	13,93
CaO	10,67	22,22	20,42	9,78	17,10	13,20	8,70	26,40
Na ₂ O	0,35?	0,12	0,13	0,10	0,14	0,14	0,12	0,13
K ₂ O	2,18	1,21?	0,35	0,76	0,43	0,75	1,43	0,65
P ₂ O ₅	1,24	1,34	0,73	1,36?	0,34	0,38	0,36	1,39
S	0,18	0,07	He опр.	0,05	He опр.	0,025	0,01	0,10
CO ₂	4,32	22,52	6,46	6,52	12,50	11,00	10,10	21,74
П.п.п.	7,38	4,65	3,80	9,38	6,40	5,54	6,64	5,59
Сумма	99,61	99,925	100,06	100,09	100,21	100,055	99,90	100,28
Σ FeO	13,85	7,42	10,91	11,94	11,11	12,32	7,70	7,33
SiO ₂ /MgO	1,48	0,97	1,19	1,30	0,93	1,25	1,14	1,26
MgO/Σ FeO	1,48	2,31	2,07	1,92	2,12	1,70	3,57	1,90

Компоненты	Аномалия 75, ш. 14007	Аномалия 75а, ш. 14003	Аномалия 79, ш. 14028	Аномалия 79а, ш. 14036	Аномалия 80, ш. 14015	Аномалия 84	Аномалия 89	
							ш. 14093	ш. 14097
Кол-во анализов	2 (2)	2 (2)	1 (1)	2 (2)	2 (2)	2 (3)	1 (1)	1 (1)
SiO ₂	40,52	26,61	21,66	18,96	29,55	34,81	29,54	31,62
TiO ₂	2,89?	1,86	3,03	2,64	3,57	2,24	3,64	3,56
Al ₂ O ₃	3,80	2,64	1,76	2,83?	3,58?	5,06?	5,19	4,12
Cr ₂ O ₃	0,08	0,08?	0,06	0,05	0,125	0,10	0,13	0,19
Fe ₂ O ₃	5,96	9,94	6,73	7,53	8,32	6,33	6,12	5,85
FeO	6,38	3,92	5,75	5,78	5,59	5,57	8,28	6,45
MnO	0,15	0,24	0,20	0,20	0,23	0,17	0,28	0,23
MgO	21,49	24,53	13,43	15,04	22,92	20,61	19,61	22,60
CaO	9,76	11,19	22,98	22,77	10,20	11,51	20,55	17,38
Na ₂ O	0,22	0,51	0,28	0,16?	0,30	0,10?	0,24	0,16
K ₂ O	2,48	0,30?	0,85	0,27	1,10	2,45?	0,34	1,68
P ₂ O ₅	0,16	0,18?	1,97	2,09	2,72?	0,52	0,67	0,25
S	0,08	0,12	0,26	0,06	0,11	0,11	Сл.	0,05
CO ₂	0,92	8,64	16,95	15,40	1,62	3,33	1,00	0,76
П.п.п.	4,89	9,38	3,74	5,84	9,86	7,15	4,64	4,96
Сумма	99,78	100,14	99,65	99,62	99,795	100,06	100,23	99,86
Σ FeO	11,74	12,87	11,81	12,56	13,08	11,27	13,79	11,72
SiO ₂ /MgO	1,89	1,08	1,61	1,26	1,29	1,69	1,51	1,40
MgO/Σ FeO	1,83	1,91	1,14	1,20	1,75	1,83	1,42	1,93

Химический состав кимберлитов Средне-Куонамского поля, вес. %

Компоненты	Арктика (Аномалия 1н)	Баргыдамалах-Южная (Аномалия 154н)		Близнецы (Аномалия 188)	Вечерняя (Аномалия 83)	Космическая (Аномалия 194б)	Курунгнаах (Аномалия 141)
		старые анализы	новые анализы				
Кол-во анализов	3 (3)	2 (5)	2 (3)	1 (1)	1 (3)	1 (1)	2 (2)
SiO ₂	33,58	24,36	31,40	24,26	19,11	20,40	37,41
TiO ₂	3,95	2,57	4,07	2,76	3,09	4,95	3,50
Al ₂ O ₃	3,48	3,77	4,97	4,84	3,44	4,42	3,67
Cr ₂ O ₃	0,11?	0,12	0,075	0,05	0,092	0,047	0,18
Fe ₂ O ₃	6,12	5,24	6,59	6,73	9,61	9,00	10,45
FeO	5,98	3,75	5,51	1,22	1,60	2,16	1,96
MnO	0,14?	0,134	0,17	0,15	0,26	0,18	0,205
MgO	24,73	20,56	20,15	8,82	18,11	15,03	23,16
CaO	8,92	16,85	12,48	23,64	18,70	20,36	5,54
Na ₂ O	0,15	0,12	0,24?	0,05	0,02	0,08?	0,20
K ₂ O	1,39	1,44	2,04	0,97	0,23	0,52	0,39
P ₂ O ₅	0,44	0,51	0,63	0,73	0,53	0,55	0,90
S	0,065	0,11	0,05	He опр.	0,01	He опр.	He опр.
CO ₂	4,37?	12,49	5,04	16,94	17,39	15,52	0,17?
П.п.п.	6,44	7,79	6,30	8,55	7,66	7,00	12,02
Сумма	99,865	99,814	99,715	99,71	99,852	100,217	99,755
Σ FeO	11,49	8,47	11,44	7,28	10,25	10,26	11,36
SiO ₂ /MgO	1,36	1,18	1,56	2,75	1,06	1,36	1,62
MgO/Σ FeO	2,15	2,43	1,76	1,21	1,77	1,46	2,04

Компоненты	Мукунская (Аномалия 77)	Невская (Аномалия 72)	Незабудка (Аномалия 1)	Полярная (Аномалия 113н)	Рудный двор (Аномалия 19н)	Туманность (Аномалия 194а)	Харахтах (Аномалия 327н)	Чолбон (Аномалия 155н)
Кол-во анализов	1 (1)	3 (3)	2 (2)	3 (3)	1 (1)	2 (2)	2 (11)	1 (3)
SiO ₂	22,98	10,01	23,82	21,50	33,06	32,72	32,79	20,71
TiO ₂	1,94	3,13	2,98	2,09	5,14	4,80	2,52	2,52
Al ₂ O ₃	3,84	3,16?	3,55	4,85	4,86	6,64	4,13	2,70
Cr ₂ O ₃	0,08	0,058	0,05	0,052	0,16	0,095	0,10	0,16
Fe ₂ O ₃	6,95	6,98	9,00	6,35	5,11	7,30	7,19	7,79
FeO	1,80	1,83	2,24	5,45	10,13	3,94	4,66	2,20
MnO	0,18	0,22?	0,175	0,22	0,24	0,185	0,16	0,17
MgO	15,26	7,23	21,60	13,23	21,52	16,71	18,91	17,30
CaO	23,85	35,17	14,53	20,51	10,24	11,54	13,56	20,84
Na ₂ O	Н. о.	0,11?	0,155	0,28	0,59	0,38	0,29?	0,02
K ₂ O	1,10	0,30	0,195	1,93	2,71	1,72	1,16	0,19
P ₂ O ₅	0,79	1,51	1,06	1,93	0,95	0,52	0,48	0,56
S	Не опр.	Сл.	Не обн.	0,13	Не опр.	0,02	0,07	Не опр.
CO ₂	14,64	24,94	9,99	16,69	1,11	5,10	5,72	16,18
П.п.п.	6,36	5,22	10,45	4,50	3,94	8,33	7,93	8,56
Сумма	99,77	99,868	99,795	99,712	99,76	100,00	99,67	99,90
Σ FeO	8,06	8,11	10,34	11,16	14,73	10,51	11,13	9,21
SiO ₂ /MgO	1,50	1,40	1,10	1,62	1,54	1,96	1,73	1,20
MgO/Σ FeO	1,89	0,89	2,08	1,18	1,46	1,59	1,70	1,88

Таблица 24

Химический состав пикритовых порфиритов Средне-Куонамского поля, вес. %

Компоненты	Альфа (Аномалия 185)	Арамилская (Аномалия 79)	Архейская (Аномалия 190н)	Баргыдамалах			Бета (Аномалия 186/1)	Геофизическая (Аномалия 192)
				Северная	Южная			
					обр. 36/664	обр. 27/664		
Кол-во анализов	3 (3)	2 (3)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)	2 (2)
SiO ₂	28,33	28,09	27,68	26,62	33,48	34,02	17,40	23,95
TiO ₂	4,82	3,18	2,88	2,60	4,82	5,52	1,40?	2,34
Al ₂ O ₃	4,83	2,84	4,38	4,62	4,98	5,98	4,02	4,05
Cr ₂ O ₃	0,147	0,14	0,13	0,14	He опр.	He опр.	0,051	0,059?
Fe ₂ O ₃	11,84	10,49	8,64	6,48	4,85	5,27	7,40	7,36
FeO	2,17	1,69	2,69	4,62	8,65	8,48	0,93	3,10
MnO	0,21?	0,24	0,16	0,22	0,24	0,23	0,135	0,155
MgO	20,57	26,02	20,44	16,93	21,62	20,15	7,26	17,14
CaO	9,80	9,99	13,42	16,27	14,94	12,82	29,61	19,79
Na ₂ O	0,11?	0,12	Сл.	0,10	0,37	1,00	0,05?	0,11
K ₂ O	1,26	1,08	1,25	2,20	1,69	3,08	0,65	1,71
P ₂ O ₅	0,69?	0,60	0,68	0,93	0,76	0,66	0,82	0,78
S	0,01	0,06	He опр.	He опр.	He опр.	He опр.	0,04	Сл.
CO ₂	5,40?	4,30	6,33	10,64	0,51	0,63	20,35	13,22
П.п.п.	10,12	11,33	10,97	7,55	3,49	1,91	9,24	6,52
Сумма	100,307	100,17	99,65	99,92	100,40	99,75	99,356	100,284
Σ FeO	12,83	11,13	10,47	10,45	13,02	13,22	7,59	9,72
SiO ₂ /MgO	1,38	1,08	1,35	1,57	1,55	1,69	2,40	1,40
MgO/Σ FeO	1,60	2,34	1,95	1,62	1,66	1,52	0,96	1,76

Компоненты	Летняя (Аномалия 82)	Небайбыт	Орион (Аномалия 11н)	Пермь (Аномалия 137)	Последняя (Аномалия 142)	Аномалия 6	Аномалия 9	Аномалия 78
Кол-во анализов	1 (1)	4 (13)	1 (1)	3 (4)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
SiO ₂	37,80	25,48	29,28	19,33	21,24	31,64	25,58	22,92
TiO ₂	1,32	4,21	4,98	1,64	1,92	3,37	2,31	3,34
Al ₂ O ₃	3,71	4,10	4,90	2,90	3,63	4,92	2,75	2,22
Cr ₂ O ₃	0,18	0,09	0,17	0,07?	0,14	0,08	0,14	0,016
Fe ₂ O ₃	6,44	8,04	9,16	7,73	6,96	9,61	7,42	9,55
FeO	2,02	4,20	8,47	3,93	2,00	2,94	2,26	1,20
MnO	0,24	0,22	0,32	0,20?	0,19	0,22	0,19	0,18
MgO	25,46	23,12	20,91	15,71	18,14	22,44	21,34	18,59
CaO	11,07	11,78	4,90	23,76	19,92	7,49	15,48	18,76
Na ₂ O	0,21	0,12?	0,10	0,27?	0,05	0,11	0,06	0,06
K ₂ O	0,12	1,03?	1,87	0,62	0,45	0,98	0,16	0,28
P ₂ O ₅	0,45	0,66	0,96	1,56?	1,09	1,45	0,45	0,53
S	Сл.	0,02	0,10	0,10?	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
CO ₂	1,85	8,20	4,14	16,03	14,45	2,98	11,31	12,82
П.п.п.	9,27	8,78	9,96	5,71	9,47	11,59	10,70	9,40
Сумма	100,14	100,05	100,22	99,56	99,65	99,82	100,15	99,866
Σ FeO	7,82	11,44	16,71	10,89	8,26	11,59	8,94	9,80
SiO ₂ /MgO	1,48	1,10	1,40	1,23	1,17	1,41	1,20	1,23
MgO/Σ FeO	3,26	2,02	1,25	1,44	2,20	1,94	2,39	1,90

Примечание. Обр. 36/664 — монтichelлитовый пикрит; обр. 27/664 — нефелин-монтichelлит-мелилитовый пикрит.

Химический состав кимберлитов Нижне-Куонамского поля, вес. %

Компоненты	Арбайбыт	Армейская (Аномалия 91)	Июльская (Аномалия 4)	Майская (Аномалия 173)	Мачала	Салбахтах (Аномалия 147)	Ухтинская (Аномалия 180)	Аномалия 14
Кол-во анализов	1 (1)	1 (2)	1 (1)	3 (6)	2 (4)	1 (1)	3 (4)	1 (2)
SiO ₂	31,99	28,69	23,28	27,02	28,13	24,78	12,69	23,55
TiO ₂	2,05	3,04	2,28	2,79	2,85	1,88	1,41	2,82
Al ₂ O ₃	7,00	6,72	4,32	3,29	3,28	4,91	2,42	6,18
Cr ₂ O ₃	He опр.	0,02	0,12	0,22	0,095?	0,14	0,113	He опр.
Fe ₂ O ₃	4,93	12,22	7,46	5,94	7,47	6,13	5,20	10,00
FeO	5,53	2,90	3,35	4,68	4,00	2,21	3,06	2,79
MnO	0,10	0,24	0,18	0,13	0,18	0,20	0,192	0,22
MgO	21,38	14,32	16,39	23,79	23,38	15,42	8,48	14,38
CaO	10,56	11,28	18,49	11,25	11,18	19,21	33,59	15,70
Na ₂ O	0,12	0,13	0,11	0,07?	0,22	Сл.	0,13	Сл.
K ₂ O	2,76	0,08	1,46	1,03	1,32	0,98	0,63	0,40
P ₂ O ₅	0,41	0,83	0,21	0,65	0,62	0,67	0,59?	0,85
S	He опр.	0,05	0,06	0,05	0,18	He опр.	0,08	0,02
CO ₂	6,86	6,71	12,78	9,39	8,94	14,25	27,73	11,46
П.п.п.	6,33	12,12	9,09	9,55	8,16	9,07	3,81	11,18
Сумма	100,02	99,41	99,58	99,85	100,005	99,85	100,125	99,55
Σ FeO	9,97	13,96	10,06	10,03	10,72	7,73	7,74	11,79
SiO ₂ /MgO	1,50	2,00	1,42	1,14	1,20	1,61	1,50	1,64
MgO/Σ FeO	2,14	1,02	1,63	2,37	2,18	1,99	1,10	1,22

Химический состав «палеотипных» пикритовых порфиров Нижне-Куонамского поля, вес. %

Таблица 26

Компоненты	Виктория-Южная (Аномалия 6)	Гамма (Аномалия 21)	Дельта (Аномалия 22)	Лесная (Аномалия 8)	Липси (Аномалия 25)	Надежда (Аномалия 9н)	Предмайская	Привет (Аномалия 138)
Кол-во анализов	1 (2)	2 (2)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	1 (1)	2 (4)	4 (5)
SiO ₂	14,74	28,06	22,88	25,65	29,60	30,18	21,86	27,16
TiO ₂	1,26	2,52	1,98	1,98	4,85	2,11	1,56	2,33
Al ₂ O ₃	3,14	4,99	4,51	4,65	5,20	6,38	4,17	3,52
Cr ₂ O ₃	0,085	0,134?	0,12	0,08?	0,056	0,06	0,11?	0,13?
Fe ₂ O ₃	3,32	7,59	7,12	6,75	10,12	8,12	4,24	4,81
FeO	2,87	2,76	2,21	2,50	3,67	3,34	3,38	4,33
MnO	0,125	0,165	0,19	0,165	0,20	0,09	0,16	0,14
MgO	9,64	17,62	15,53	18,04	19,51	15,90	13,38	23,03
CaO	32,66	16,06	20,86	19,54	12,20	12,55	23,36	14,30
Na ₂ O	0,09?	0,25	0,19	0,13	0,18	0,21	0,14	0,14?
K ₂ O	1,33	2,06	1,00	1,70	0,86	1,57	1,63	1,10?
P ₂ O ₅	0,47	0,67	0,67	0,55?	0,78	0,55	0,52	0,57?
S	0,07	He обн.	Сл.	Сл.	0,04	0,01	0,01	0,06
CO ₂	25,82	9,20?	14,60	11,28	4,40	9,46	17,29	9,23?
П.п.п.	4,34	7,80	8,09	6,90	8,66	10,10	8,06	9,06
Сумма	99,96	99,879	99,95	99,915	100,326	100,63	99,87	99,91
Σ FeO	5,86	9,59	8,62	8,58	12,78	10,65	7,20	8,66
SiO ₂ /MgO	1,53	1,59	1,47	1,42	1,52	1,90	1,63	1,18
MgO/Σ FeO	1,64	1,84	1,80	2,10	1,53	1,49	1,86	2,66

Продолжение табл. 26

Компоненты	Сентябрьская (Аномалия 7)	Спортивная (Аномалия 3)	Спутник (Аномалия 20н)	Тылкача	Улыбка (Аномалия 90н) ш. 2229	Аномалия 141н	Аномалия 142н	Аномалия 143
Кол-во анализов	2 (2)	1 (1)	2 (3)	3 (4)	1 (2)	4 (4)	2 (2)	2 (2)
SiO ₂	18,46	27,52	30,39	26,43	21,65	24,68	40,17	27,81
TiO ₂	1,96	3,00	3,85	2,50	1,74	4,42	2,41	3,28
Al ₂ O ₃	2,86	1,92	5,08	5,05?	4,68	3,54?	5,84	3,20
Cr ₂ O ₃	0,06	0,14	0,153	0,09	0,06	0,08?	0,06?	0,105
Fe ₂ O ₃	4,68	8,47	8,56	7,30	7,18	7,28	5,66	10,25
FeO	2,20	3,38	4,79	4,06	1,54	6,20	3,58	3,90
MnO	0,16	0,25	0,28	0,215	0,125	0,24?	0,145	0,255
MgO	12,98	25,75	25,14	19,37	14,64	28,50	13,90	20,90
CaO	28,20	9,19	7,47	14,32	24,66	7,06	9,42	12,48
Na ₂ O	0,18?	0,11	0,12	0,20	0,28?	0,16	0,82	0,14?
K ₂ O	1,00	1,26	1,18	1,09	1,06	0,80?	3,03	0,44
P ₂ O ₅	0,57?	0,57	0,77	0,58	0,34	0,77	0,47	0,52
S	0,10	He опр.	0,30	0,18	0,015	0,08	0,01	0,04
CO ₂	19,86	5,50	2,43?	7,89?	13,64	6,00?	7,80	6,83
П.п.п.	7,08	13,00	9,55	10,70	8,74	9,83	6,40	9,74
Сумма	100,35	100,06	100,063	99,975	100,35	99,64	99,715	99,89
Σ FeO	6,41	11,00	12,49	10,63	8,00	12,75	8,67	13,12
SiO ₂ /MgO	1,42	1,07	1,21	1,36	1,48	0,87	2,89	1,33
MgO/Σ FeO	2,02	2,34	2,01	1,82	1,83	2,24	1,60	1,59

Химический состав «кайнотипных» пикритовых порфиров
Нижне-Куонамского поля, вес. %

Компоненты	Виктория	Северная	Улыбка (Аномалия 90н) ш. 2227	Аномалия 22а	Аномалия 22б
Кол-во анализов	1 (1)	2 (4)	4 (4)	3 (3)	2 (2)
SiO ₂	31,88	30,98	31,97	31,69	30,99
TiO ₂	3,84	2,81	3,12	3,19	2,66
Al ₂ O ₃	7,10?	6,00	6,34	6,43	6,02
Cr ₂ O ₃	0,15	0,17	0,145?	0,16?	0,095?
Fe ₂ O ₃	4,81	5,70	5,45	5,73	6,52
FeO	8,62	8,09	8,56	7,86	7,25
MnO	0,25	0,18?	0,28?	0,26	0,235
MgO	20,61	18,23	19,31	20,07	17,91
CaO	17,22	18,21	18,40	15,60	13,29
Na ₂ O	1,20	0,28?	1,07?	0,51?	0,80?
K ₂ O	1,35	0,67	1,10?	1,28	1,60
P ₂ O ₅	0,73?	0,94	0,77	0,77	0,78
S	He опр.	0,02	0,08	0,02	0,06
CO ₂	0,71	1,48	0,46?	1,19	5,55?
П.п.п.	1,62	5,96	2,56	4,75	6,34
Сумма	100,09	99,72	99,615	99,51	100,10
Σ FeO	12,95	13,22	13,46	13,02	13,12
SiO ₂ /MgO	1,55	1,70	1,66	1,58	1,73
MgO/Σ FeO	1,59	1,38	1,44	1,54	1,36

Примечание. Данные по телу Виктория не использованы при подсчете средних и при построении гистограмм, поскольку вызывают сомнения цифры по нескольким компонентам.

кимберлитовых полей Сибири, где для многих объектов не выполнено определение углекислоты; не удалось получить удовлетворительное значение для CO₂ и при вычислении среднего по всему полю. В Верхне-Молодинском поле (см. табл. 16) находится единственная в Сибири трубка (Унга), в одном из участков которой достоверно установлены обильные минералы, выполненные кальцитом, иногда совместно с кварцем. Уникальна по особенностям минерального состава малочисленная группа трубок, входящих в Толуопское поле (см. табл. 17): здесь установлен сидерит в трубке Находка, доломит (иногда с кварцем) в трубке Приленская, обильный гипс в трубках Ява и Ясная. В большинстве

тел Средне-Куонамского и Нижне-Куонамского полей (см. табл. 23—27) не выделены разновидности; скорее всего, это говорит не о простом строении трубок, а о слабой их изученности. Для трубки Баргыдамалах-Южная заметно различаются результаты анализов, выполненных в 1966 г. («старые анализы» — см. табл. 23) и в последние годы («новые анализы»); по всей вероятности, в первом и втором случаях образцы для анализа отбирались из разных участков (разновидностей), поэтому «старые» и «новые» данные мы рассматриваем как цифры, характеризующие два самостоятельных объекта. Средние по «кайнотипным» пикритовым порфирирам Нижне-Куонамского поля вынесены в отдельную таблицу (см. табл. 27), так как здесь довольно хорошо изучены и оказались близкими по составу породы четырех тел; не исключено, что некоторые черты их химического состава (высокое содержание глинозема) отражают специфику данного кимберлитового поля.

Средние данные по кимберлитовым полям Сибири, подсчитанные как средние арифметические из значений по отдельным объектам, приведены в табл. 28. Для большинства полей при подсчетах учтены только те трубки (дайки, разновидности), для каждой из которых выполнено не менее двух анализов. Порядковые номера в табл. 28 отвечают номерам на гистограммах и других рисунках, приведенных ниже. Среднее для Толуопского поля не подсчитано. В Мерчимденском и Мало-Куонамском полях единичные данные по пикритовым порфирирам объединены при вычислении средних с цифрами по кимберлитам.

Данные о химическом составе кимберлитов зарубежных провинций приведены в таблицах 29—34.

При первом же знакомстве с литературными данными по кимберлитам Африки создается впечатление, что эти породы резко отличаются от кимберлитов Якутии по соотношению кремния и магния. Так, например, среднее по 80 образцам Южной Африки: SiO_2 36,36%; MgO 17,43%; $\text{SiO}_2/\text{MgO}=2,09$ [172, p. 283]. Однако более внимательное изучение материала по Африке не оставляет сомнений в том, что «аномальное» кремний-магниевое отношение объясняется двумя причинами — примесью ксеногенного материала и глубоко зашедшими процессами выветривания, о чем упоминалось в предыдущем разделе.

Химический состав кимберлитов Якутии — средние данные по отдельным кимберлитовым полям, вес. %
(кимб. — кимберлиты, п. п. — пикритовые порфиристы; кайн. — «кайнотипные»)

Компоненты	Мало-Ботуобинское	Алакитское	Далдынское	Верхне-Мунское	Чомурлахское		Укукитское		Верхне-Моторчунское	Мерчимденское
					кимб.	п. п.	кимб.	п. п.		
№ п. п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во объектов	6*	29*	33	8*	16*	3	30	16	6	19*
SiO ₂	27,82	27,03	27,03	30,00	24,78	28,06	26,21	27,18	27,37	24,48
TiO ₂	1,00	1,47	1,88	1,52	2,07	4,02	3,43	4,28	2,47	2,26
Al ₂ O ₃	3,14	2,46	2,94	2,33	2,78	4,58	3,98	4,17	4,08	3,46
Cr ₂ O ₃	0,118	0,15	0,134	0,162	0,096	0,088	0,085	0,09	0,099	0,108
Fe ₂ O ₃	3,72	5,53	5,69	5,76	5,79	7,41	7,27	8,33	5,94	5,85
FeO	2,45	1,71	1,78	1,98	3,05	5,18	3,63	3,75	3,16	2,65
MnO	0,111	0,105	0,114	0,137	0,135	0,22	0,167	0,207	0,153	0,148
MgO	18,35	25,53	24,99	31,55	24,78	22,01	21,31	21,21	22,38	21,61
CaO	19,14	13,56	13,46	7,86	14,03	10,83	13,80	11,89	14,92	15,56
Na ₂ O	0,19	0,12	0,11	0,13	0,14	0,16	0,10	0,17	0,14	0,13
K ₂ O	0,52	0,34	0,45	0,47	0,85	1,86	1,53	1,52	0,92	1,41
P ₂ O ₅	0,52	0,46	0,44	0,64	0,81	0,77	0,85	1,16	0,38	0,74
S	0,14	0,09	0,06	0,15	0,18	0,31	0,065	0,17	0,05	0,31
CO ₂	14,04	11,12	10,77	6,00	11,96	9,21	9,89	7,75	8,26	} 20,81
П.п.п.	8,54	10,15	9,94	11,20	8,36	5,34	7,49	7,99	9,58	
Сумма	99,799	99,825	99,788	99,889	99,811	100,048	99,807	99,867	99,902	99,526
Σ FeO	5,80	6,69	6,90	7,16	8,26	11,85	10,17	11,25	8,51	7,92
SiO ₂ /MgO	1,52	1,06	1,08	0,95	1,00	1,27	1,23	1,28	1,22	1,13
MgO/Σ FeO	3,16	3,82	3,62	4,41	3,00	1,86	2,10	1,89	2,63	2,73

* При подсчете учтены только те объекты, для каждого из которых выполнено два и более анализов. Порядковые номера в таблице соответствуют номерам на рисунках.

Компоненты	Верхне-Молодинское	Куойское		Мало-Куонамское	Лучаканское		Средне-Куонамское		Нижне-Куонамское		
		кимб.	п.п.		кимб.	п.п.	кимб.	п.п.	кимб.	п.п.	кайн. п.п.
№ п.п.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Кол-во объектов	9*	7*	3*	14*	10*	8*	11*	6*	5*	12*	4*
SiO ₂	23,62	31,46	24,20	30,09	31,37	28,40	26,13	23,76	24,02	25,59	31,41
TiO ₂	2,46	0,79	3,56	1,93	2,95	2,84	3,20	2,93	2,58	2,48	2,94
Al ₂ O ₃	2,86	1,98	4,07	3,66	4,32	3,51	4,03	3,79	4,38	4,23	6,20
Cr ₂ O ₃	0,10	0,12	0,057	0,182	0,137	0,086	0,10	0,093	0,112	0,096	0,162
Fe ₂ O ₃	5,68	3,65	7,89	5,74	5,76	7,51	7,51	8,81	8,17	6,47	5,85
FeO	3,85	4,64	5,28	3,98	4,15	5,08	3,56	2,67	3,50	3,51	7,94
MnO	0,204	0,151	0,214	0,178	0,158	0,204	0,185	0,193	0,192	0,181	0,26
MgO	18,80	31,59	23,34	24,97	22,13	20,63	18,34	18,30	16,87	18,10	18,88
CaO	18,77	8,81	15,46	10,26	11,67	13,51	16,24	17,46	16,60	17,46	16,38
Na ₂ O	0,195	0,14	0,29	0,11	0,16	0,23	0,18	0,13	0,11	0,22	0,66
K ₂ O	1,08	0,43	0,64	1,43	1,81	1,34	1,00	1,06	0,69	1,37	1,16
P ₂ O ₅	0,97	0,41	0,78	0,99	0,66	1,20	0,82	0,85	0,71	0,57	0,82
S	0,12	0,24	0,18	0,085	0,11	0,10	0,05	0,04	0,075	0,07	0,045
CO ₂	14,39	8,50	8,15	6,55	6,63	7,91	10,73	11,25	12,85	11,44	2,17
П.п.п.	6,82	7,03	5,65	9,62	7,77	7,55	7,74	8,62	8,96	8,18	4,91
Сумма	99,919	99,941	99,761	99,775	99,785	100,10	99,815	99,956	99,819	99,967	99,787
Σ FeO	8,96	7,92	12,38	9,15	9,33	11,84	10,32	10,60	10,85	9,33	13,20
SiO ₂ /MgO	1,26	1,00	1,04	1,20	1,42	1,38	1,42	1,30	1,42	1,41	1,66
MgO/Σ FeO	2,10	3,99	1,88	2,73	2,37	1,74	1,78	1,73	1,55	1,94	1,43

* При подсчете учтены только те объекты, для каждого из которых выполнено два и более анализов. Порядковые номера в таблице соответствуют номерам на рисунках.

Химический состав кимберлитов Южной Африки, вес. % [76, с. 85; 142; 143]

Компоненты	Бенфонтейн (силл)	Булфонтейн	Весселтон	Де-Бирс	Дютойтспен	Калкфонтейн	Клипфонтейн	Копьесфонтейн	Лайон Хилл	Нью-Иландс	Св. Августин	Френк Смит	Ягерсфонтейн (дайка)
Кол-во анализов	1*	5	2**	6	16	1	1	2	2	1	2	2	1
SiO ₂	25,19	37,80	27,72	35,35	39,00	25,12	36,00	30,34	33,65	36,12	28,56	30,45	12,24
TiO ₂	1,89	1,02	2,19	0,94	0,95	3,40	0,58	2,00	1,53	1,45	0,98	2,40	1,60
Al ₂ O ₃	2,27	5,79	3,64	3,57	5,52	6,37	0,69	3,05	3,42	4,38	3,05	2,81	2,08
Cr ₂ O ₃	Не опр.	Не опр.	0,34	Не опр.	Не опр.	0,19	Не опр.	0,18	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Fe ₂ O ₃	3,72	5,28	6,60	5,36	5,51	9,02	4,44	7,86	5,78	6,80	4,66	9,25	3,28
FeO	6,72	4,13	3,08	3,72	4,35	3,45	2,90	1,74	3,22	2,68	4,44	2,47	1,73
MnO	0,22	0,04	0,20	Не опр.	0,05	0,20	Не опр.	0,27	Не опр.	0,22	Не опр.	0,05	0,14
MgO	29,69	26,35	27,13	29,50	22,65	22,32	39,70	26,67	27,84	22,82	35,29	28,38	7,20
CaO	13,59	5,68	12,54	6,16	6,30	14,42	3,58	10,92	7,58	8,33	8,06	9,10	39,20
Na ₂ O	0,01	0,43	0,66	0,30	1,59	Сл.	0,11	Сл.	0,24	0,29	0,22	0,14	0,28
K ₂ O	0,15	1,72	1,33	0,78	1,22	1,74	0,26	0,50	3,46	5,04	0,33	0,47	1,34
P ₂ O ₅	2,20	0,61	1,12	1,14	0,45	1,58	0,64	1,20	1,06	1,46	0,43	0,88	2,92
S	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,02	Не опр.	0,65	Не опр.
CO ₂	12,83	1,03	5,78	2,34	2,04	7,26	2,74	6,52	5,34	3,80	4,86	4,30	26,67
П.п.п.	1,15	9,62	7,78	8,66	9,72	5,05	8,65	9,06	6,69	6,17	8,60	9,02	1,52
Сумма	99,63	99,50	100,11	99,42***	99,35	100,12	100,29	100,31	99,81	99,58	99,48	100,37	100,20
Σ FeO	10,07	8,88	9,02	8,54	9,31	11,57	6,90	8,81	8,42	8,80	8,63	10,80	4,68
SiO ₂ /MgO	0,85	1,43	1,02	1,20	1,72	1,12	0,91	1,14	1,21	1,58	0,81	1,07	1,70
MgO/Σ FeO	2,95	2,97	3,01	3,45	2,43	1,93	5,75	3,03	3,31	2,59	4,09	2,63	1,54

* Составная проба.

** Расслоенный кимберлит, среднее по порфировой и афанитовой зонам; уровень ≈ 770 м.

*** В сумму входит 1,60% неопределенного вещества.

Химический состав кимберлитов Лесото и трубки Монастери [172]

Компоненты	Као	Лем-фане м.к.*	Ликобонг м.к.	Монастери	Нкечаче м.к.	Дайка Роберт	Хабос м.к.	Хололо м.к.	Хубелу (дайка) м.к.	Дайка 9а м.к.	Дайка 71с м.к.	Трубка 200 м.к.	Дайка 202
№ таблицы	36**	47	44	60	58	9	58	58	9	47	54	51	51
SiO ₂	31,60	32,23	30,72	27,98	39,19	27,93	28,71	31,99	32,34	25,65	28,52	30,42	32,53
TiO ₂	2,02	1,48	1,81	4,22	0,17	2,73	1,70	1,43	2,66	2,94	2,68	2,95	1,38
Al ₂ O ₃	3,21	1,58	4,04	2,64	0,14	4,47	2,58	2,41	3,04	2,75	5,95	3,09	2,12
Cr ₂ O ₃	He опр.	0,23	He опр.	0,14	0,33	0,08	0,17	0,22	0,19	0,18	0,15	0,15	0,23
Fe ₂ O ₃	6,33	5,49	6,65	8,15	7,20	7,04	5,79	6,13	6,72	6,14	7,40	5,03	5,10
FeO	3,37	3,42	4,57	4,25	1,05	5,12	5,25	2,43	4,72	4,90	4,02	6,28	3,18
MnO	0,30	0,15	0,16	0,18	0,09	0,23	0,28	0,15	0,18	0,22	0,22	0,18	0,15
MgO	29,45	31,88	32,40	26,17	36,46	25,42	24,99	29,25	26,80	27,13	20,36	25,14	31,35
CaO	8,07	6,14	6,30	9,16	0,21	10,01	10,14	8,43	9,37	10,80	14,72	9,72	7,59
Na ₂ O	0,16	0,04	0,17	0,64	0,05	0,21	0,14	0,05	0,13	He опр.	0,06	0,08	0,05
K ₂ O	0,34	0,97	1,00	1,78	0,01	1,18	1,49	1,22	1,73	0,12	1,90	2,15	1,63
P ₂ O ₅	0,94	0,29	0,77	0,94	0,14	1,07	0,81	0,93	0,70	1,04	1,21	1,17	0,54
S	He опр.	0,12	He опр.	0,09	1,95	He опр.	0,18	0,07	0,33	0,83	0,88	0,28	0,32
CO ₂	1,96	5,11	2,01	5,83	2,67	5,61	9,17	5,11	2,49	6,64	3,74	5,30	4,46
П.п.п.	12,24	9,71	9,47	7,73	10,04	8,57	7,93	9,88	7,72	10,51	7,91	6,89	8,00
Сумма	99,99	98,84	100,07	99,90	99,70	99,67	99,33	99,70	99,12	99,85	99,72	98,83	98,63
Σ FeO	9,07	8,36	10,56	11,58	7,53	11,46	10,46	7,95	10,77	10,43	10,68	10,81	7,77
SiO ₂ /MgO	1,07	1,01	0,95	1,07	1,07	1,10	1,15	1,09	1,21	0,94	1,40	1,21	1,04
MgO/Σ FeO	3,25	3,81	3,07	2,26	4,84	2,22	2,39	3,68	2,49	2,60	1,91	2,33	4,04

* м. к. — монолитный кимберлит («хардбенк»).

** Указаны номера таблиц в цитируемой книге.

Химический состав кимберлитов Западной Африки, вес. % [25, с. 190—194; 76, с. 139—140; 149]

Компоненты	Антошка	Дружба	Трубка № 3	Трубка № 5	Трубка № 8		Трубка № 12	Трубка № 14а	Трубка № 15	Сьерра-Леоне	
					бесслюдяной кимберлит	слюдяной кимберлит				глуб. 92 м	глуб. 80 м
Кол-во анализов	5	3	3	2	4	3	1	2	2	1	1
SiO ₂	35,82	29,70	30,58	32,20	36,04	35,51	31,04	30,54	29,50	28,3	33,25
TiO ₂	0,80	3,07	2,20	3,62	0,82	0,77	3,66	2,12	2,50	1,65	2,09
Al ₂ O ₃	3,51	2,51	1,21	2,44	3,24	3,49	2,63	1,90	1,93	2,0	1,75
Cr ₂ O ₃	He опр.	He опр.	0,28	0,12	He опр.	0,34	He опр.	0,22	He опр.	0,18	0,23
Fe ₂ O ₃	5,53	7,68	10,57	11,32	6,20	4,07	8,95	5,20	8,27	4,40	7,99
FeO	3,23	4,31	4,89	4,93	2,35	4,89	4,89	5,36	3,52	5,68	2,95
MnO	0,14	0,16	0,19	0,23	0,18	0,15	0,17	0,18	0,20	0,17	0,16
MgO	32,64	26,60	31,81	30,23	30,84	35,28	30,56	32,54	27,08	31,0	31,40
CaO	4,86	8,61	5,19	2,76	5,88	4,48	4,74	6,58	10,03	10,50	5,22
Na ₂ O	0,34	0,15	0,15	0,84	0,25	0,31	0,10	0,10	0,12	0,02	0,10
K ₂ O	1,06	1,34	0,48	0,84	0,43	1,70	1,15	0,78	0,88	1,85	0,88
P ₂ O ₅	0,35	0,61	1,31	0,16	0,33	0,37	0,54	0,44	0,74	1,40	0,53
S	0,12	He опр.	He опр.	He опр.	0,06	0,17	He опр.	He опр.	He опр.	0,10	0,13
CO ₂	2,76	6,80	} 11,17	} 10,43	} 13,37	} 8,78	3,38	} 13,76	6,72	8,67	2,82
П.п.п.	9,01	7,58					8,12		3,36	10,29	
Сумма	100,17	99,12	100,03	100,12	99,99	100,31	101,23	99,72	99,61	99,28	99,79
Σ FeO	8,21	11,22	14,40	15,12	7,93	8,55	12,94	10,04	10,96	9,64	10,14
SiO ₂ /MgO	1,10	1,12	0,96	1,06	1,17	1,01	1,02	0,94	1,09	0,91	1,06
MgO/Σ FeO	3,98	2,37	2,21	2,00	3,89	4,13	2,36	3,24	2,47	3,22	3,10

Химический состав кимберлитов Индии, вес. % [90]

Компоненты	Маджгаван		Инога. образцы из скважин*	Вайракарур	3,2 км к востоку от Вайракарур	1 км к востоку от Латтаварам	1,6 км к востоку от Латтаварам
	образцы с поверхности	образцы из подземных выработок					
Кол-во образцов	12	7	7	2	4	4	5
SiO ₂	35,83	36,09	36,32	37,32	33,72	32,25	39,04
TiO ₂	4,89	5,10	7,48	1,68	2,45	1,62	1,25
Al ₂ O ₃	3,27	3,81	4,38	6,35	6,53	3,80	4,32
Fe ₂ O ₃	4,82	4,77	4,14	4,97	6,83	6,54	3,28
FeO	3,39	4,45	6,94	3,20	4,49	1,84	4,91
MnO	0,14	0,15	0,11	0,18	0,19	0,15	0,15
MgO	27,48	24,71	16,85	15,14	20,22	28,71	28,83
CaO	3,20	3,50	6,29	20,70	15,75	8,61	7,92
Na ₂ O	0,06	0,20	0,13	0,17	0,43	0,07	0,34
K ₂ O	0,63	1,14	1,55	0,11	2,04	0,71	1,10
P ₂ O ₅	2,15	2,31	2,79	1,05	0,72	0,55	0,52
CO ₂	0,16	0,72	3,01	2,89	0,21	3,41	1,30
H ₂ O _{общ}	13,98	13,05	10,01	6,24	6,42	11,74	7,04
Сумма**	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Σ FeO	7,73	8,74	10,67	7,67	10,64	7,73	7,86
SiO ₂ /MgO	1,30	1,46	2,16	2,46	1,67	1,12	1,35
MgO/Σ FeO	3,56	2,83	1,58	1,97	1,90	3,71	3,67

* От поверхности до глубины 92 м.

** Все средние пересчитаны на 100%.

Химический состав кимберлитов США, вес. % [132, 133, 173, 174, 176]

Компоненты	Бала	Булл-Парк	Леонард-вилл	Мозес-Рок (среднее из 2)	Норрис-Лейк	Рандольф № 1	Рандольф № 2	Слоан		Округ Эллиот	
								брекчия	массивный кимберлит		
SiO ₂	22,23	47,50	24,15	39,62	29,96	22,91	21,13	31,42	32,24	27,30	29,81
TiO ₂	2,20	0,08	1,50	0,10	3,68	1,72	1,80	0,85	1,08	1,31	2,20
Al ₂ O ₃	3,59	1,38	2,03	2,16	3,66	4,63	4,28	2,20	3,05	3,44	2,01
Cr ₂ O ₃	0,18	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,12	0,15	0,15	0,16	Не опр.	0,43
Fe ₂ O ₃	7,19	4,34	6,51	3,26	6,08	6,80	9,54	5,58	7,41	3,92	5,16
FeO	2,89	2,37	1,85	3,49	3,32	2,94	1,79	1,58	1,09	5,10	4,35
MnO	0,21	0,12	Не опр.	0,10	Не опр.	0,14	0,22	0,13	0,15	Не опр.	0,23
MgO	25,47	31,26	24,45	35,51	26,38	20,36	20,04	27,94	27,13	30,30	32,41
CaO	13,07	0,65	15,87	1,62	8,66	16,68	18,62	9,92	8,63	12,70	7,69
Na ₂ O	0,04	0,11	Не опр.	0,06	0,06	0,51	0,27	0,10	0,06	0,20	0,11
K ₂ O	0,02	0,37	0,30	0,07	0,19	0,15	0,16	1,27	0,84	0,26	0,20
P ₂ O ₅	1,56	0,02	0,62	0,04	0,68	1,19	1,39	0,42	0,54	0,65	0,35
S	0,10	Не опр.	0,08	Не опр.	0,07	0,12	0,17	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,11
CO ₂	9,38	Н. о.	12,04	1,24	}17,34	10,69	11,72	5,84	5,20	9,23	6,66
П.п.п.	11,52	12,03	8,90	12,29		10,55	9,96	12,65	12,39	5,11	8,92
Сумма	99,65	100,23	98,30*	99,56	100,08	99,51	101,24	100,05	99,97	99,52	100,64
Σ FeO	9,36	6,28	7,71	6,42	8,79	9,06	10,38	6,60	7,76	8,63	8,99
SiO ₂ /MgO	0,87	1,52	0,99	1,12	1,14	1,12	1,05	1,12	1,19	0,90	0,92
MgO/Σ FeO	2,72	4,98	3,17	5,53	3,00	2,25	1,93	4,23	3,50	3,51	3,60

* Низкая сумма, вероятно, связана с тем, что натрий, марганец и хром не определялись.

Химический состав кимберлитов Канады и Гренландии, вес. %
[132, 148, 154, 171]

Компоненты	Канада			Гренландия	
	Бечелор-Лейк	Рудник Верхняя Канада	Долина р. Сагуеней	Найгерлик-касик	Пирамиде-фьелд
Кол-во анализов	1	2	1	2	6
SiO ₂	22,86	32,95	29,1	26,45	29,5
TiO ₂	2,98	2,1	3,7	1,88	1,81
Al ₂ O ₃	3,78	3,2	4,1	2,02	2,7
Cr ₂ O ₃	0,06	0,45	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Fe ₂ O ₃	4,79	4,0	8,9	4,00	5,6
FeO	5,32	5,8	7,2	5,31	7,9
MnO	0,17	0,2	0,4	0,42	0,21
MgO	14,58	31,55	16,3	28,00	27,1
CaO ₂	22,24	8,2	13,5	12,33	10,7
Na ₂ O	0,33	0,45	1,6	0,23	0,47
K ₂ O	1,52	2,0	1,3	1,60	1,76
P ₂ O ₅	1,32	0,4	1,3	0,66	0,54
S	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,16
CO ₂	14,84	5,05	7,6	12,6	7,8
П.п.п.	5,07	3,55	4,7	3,98	3,63
Сумма	99,85	99,90	99,70	99,48	99,88
Σ FeO	9,63	9,40	15,21	8,91	12,94
SiO ₂ /MgO	1,57	1,04	1,78	0,94	1,09
MgO/Σ FeO	1,51	3,36	1,07	3,14	2,09

Анализ «кимберлитовой породы» р. Сагуеней включен в табл. 34 условно (пироп в этой породе не найден); от всех северо-американских кимберлитов данный образец отличается повышенными содержаниями натрия и общего железа.

По данным таблиц 29—34 построены гистограммы*, показывающие вариации титана и алюминия (важнейших показательных компонентов) в кимберлитах (рис. 3 и 4). Пределы колебаний этих элементов в зарубежных кимберлитах и в кимберлитах Сибири примерно одинаковые.

* На всех гистограммах (рис. 3 и ему подобные) — один прямоугольник соответствует одному объекту.

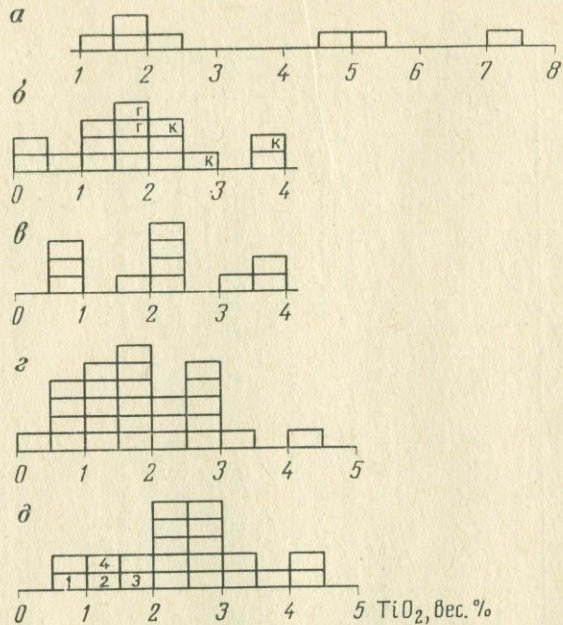


Рис. 3. Содержания титана в кимберлитах зарубежных стран в сравнении со средними по отдельным полям Сибирской провинции.

а — Индия; б — Северная Америка (К — Канада, Г — Гренландия), в — Западная Африка [25]; г — южная Африка; д — Сибирская провинция (1 — Мало-Ботуобинское поле; 2 — Алакитское поле; 3 — Далдынское поле; 4 — Верхне-Муинское поле)

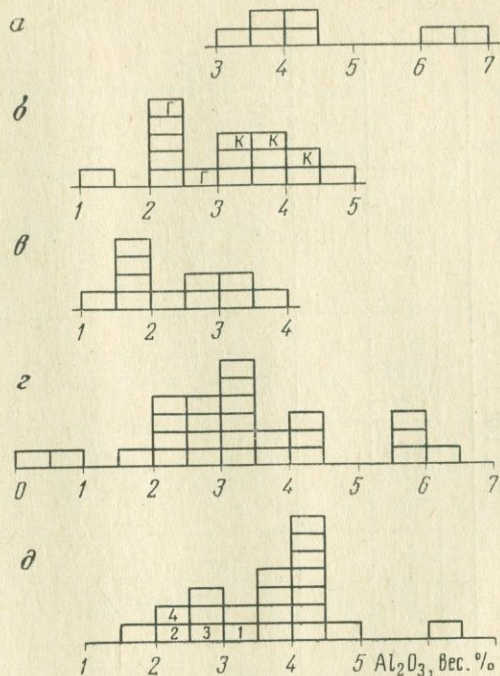


Рис. 4. Содержания алюминия в кимберлитах зарубежных стран — в сравнении со средними по отдельным полям Сибирской провинции.

О ВЛИЯНИИ ВТОРИЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СОСТАВ КИМБЕРЛИТОВ.

ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ

Одной из характерных особенностей кимберлитов является интенсивное развитие серпентина. Вопрос о влиянии процессов серпентинизации на состав кимберлитов (и присутствующих в них ультраосновных включений) рассмотрен в ряде работ; остановимся на некоторых из них.

Вторичные изменения кимберлитов Якутии детально рассмотрены В. А. Милашевым [75, с. 41—60]. Сделан вывод, что содержания некоторых элементов при вторичных преобразованиях существенно не меняются. Такие элементы В. А. Милашев предложил назвать показательными; к ним относятся железо, титан, алюминий, хром, цирконий, отчасти — щелочи. Позднее к числу показательных компонентов был добавлен фосфор.

Ю. И. Томановская [110] графически показала отсутствие зависимости между содержанием ряда элементов (ванадия, циркония, кобальта, никеля, хрома) в кимберлитах Якутии и содержанием потерь при прокаливании (эта величина отражает степень серпентинизации).

А. М. Стьюбер и Г. Г. Гоулс [200] рассмотрели результаты определения натрия, марганца, хрома, скандия и кобальта в ультраосновных породах, в том числе — в перидотитовых включениях из кимберлитов и базальтов. Сопоставляя данные по этим элементам в свежих ультраосновных породах и в серпентинитах, авторы пришли к выводу, что процесс серпентинизации, вероятно, не оказывает влияния на содержания изученных элементов.

Р. Хатчинсон с соавторами [134, р. 166] рассмотрели особенности химического состава ультраосновных включений из трубки Булфонтейн (Южная Африка) и показали, что кремнезем, общее железо и магний не коррелируются с содержанием воды и что, следовательно, серпентинизация не влияет на состав главных компонентов.

Все эти данные свидетельствуют о небольшой подвижности как макро-, так и микрокомпонентов в процессе серпентинизации кимберлитов. Но ряд фактов

не позволяет говорить о полностью изохимическом характере этого процесса. Так, кимберлиты Сибири с максимальными содержаниями неизмененного оливина (Куйское поле, Верхне-Мунское поле, трубка Удачная-Восточная) отличаются от полностью серпентинизированных кимберлитов пониженным отношением кремнезема к окиси магния.

В редких случаях концентрации титана и железа заметно снижаются в ходе вторичных изменений. Такая картина выявлена нами при изучении участков некоторых кимберлитовых тел, где ильменит интенсивно замещается агрегатом анатаза и кальцита. В. А. Кудрявцевым был выполнен количественный спектральный анализ для серий образцов из пяти кимберлитовых тел; в каждую серию входили образцы с интенсивным развитием анатаза и образцы, в которых анатаз не обнаружен. Во всех пяти случаях проявилась одинаковая тенденция: в участках развития анатаза снижается содержание титана и железа. Так, в трубке Уральская Чомурдахского поля TiO_2 снизился с 4,9% до 2,7% (весовых), а общее железо (ΣFeO) — с 11,6% до 3,1%.

В итоге можно считать, что содержания отдельных компонентов в ходе серпентинизации изменяются незначительно (за редкими исключениями), и поэтому результаты определения отдельных компонентов в кимберлитах вполне могут использоваться в петрохимических и геохимических построениях. Изменения содержаний компонентов при переходе от одного кимберлитового тела к другому как правило заметно превосходят изменения, обусловленные серпентинизацией.

Ближеповерхностные изменения (развитие кор выветривания) могут существенно изменить химический состав кимберлитов. Характер этих изменений детально изучен Э. А. Шамшиной. О проявлении этих процессов в Африке упоминалось в первом разделе главы. В Сибирской провинции гипергенные преобразования развиты относительно слабо и заметно проявились только в Мало-Ботубинском поле.

Гипергенные процессы влияют на отношение закисного и окисного железа в кимберлитах. Этот вопрос был специально рассмотрен ранее [42]. Показано, что 1) в вертикальном разрезе трубки Мир отношение Fe_2O_3/FeO растёт с уменьшением содержания сульфидной серы; 2) в Далдынском и Алакитском полях пирит-

тизированные кимберлиты обнаруживают пониженное, а ржаво-бурые и коричневые (лимонитизированные) кимберлиты — повышенное значение Fe_2O_3/FeO — по сравнению со средним для данного поля; 3) в Чомурдахском поле степень окисления железа в кимберлитах с глубиной уменьшается; 4) в редких случаях (трубка Зимняя Верхне-Мунского поля) высокое значение Fe_2O_3/FeO (без признаков лимонитизации) связано с присутствием маггемита. Таким образом, соотношение закисного и окисного железа в кимберлитах практически не несет информации, важной для петрохимических или геохимических построений (кроме геохимии низкотемпературных преобразований). Поэтому в настоящей работе рассматривается общее железо (ΣFeO).

Выделенные В. А. Милашевым показательные компоненты составляют группу наиболее интересных породообразующих и малых элементов кимберлитов. Сведения о концентрации этих элементов позволяют четко обрисовать петрохимические особенности разновидностей кимберлитов.

Вместе с тем, не менее важными, на наш взгляд, являются некоторые межэлементные отношения, которые мы также считаем возможным назвать показательными. Это прежде всего SiO_2/MgO и $MgO/\Sigma FeO$. По этим величинам кимберлиты полностью аналогичны дунитам и перидотитам и четко отличаются от базальтов и более кислых пород.

Остановимся на правомерности использования отношения «подвижного» магния к «показательному» железу. Одним из доводов в пользу применимости этого отношения можно считать тот факт, что величина $MgO/\Sigma FeO$ для кимберлитов варьирует в пределах, обычных для гипербазитов. Кроме того, отношение магния к железу в кимберлитах связано прямой зависимостью с содержанием хрома в ильмените и с содержанием хрома в оранжево-красном пиропе [41]; корреляция в обоих случаях значима при 1%-ном уровне. Корреляция железистости порфириновых выделений оливина с отношением магния к железу в кимберлитах — более сильная, чем связь железистости оливина с абсолютным содержанием железа в кимберлитах (материалы И. П. Илупина, Г. А. Пономаренко, В. П. Серенко).

Отношение SiO_2/MgO у кимберлитов варьирует в более узких пределах (обычно от 0,9 до 1,5), чем вели-

чина $MgO/\Sigma FeO$ (2,0—6,0). По величине отношения кремния к магнезию кимберлиты, как правило, надежно отличаются от щелочных базальтоидов. Поэтому особый интерес представляют те случаи, когда это отношение выходит за обычные границы. Это может быть связано с ксеногенным материалом, а также с некоторыми процессами вторичных преобразований. Рассмотрим подробнее эти явления.

Влияние ксеногенного материала. Некоторые кимберлитовые тела (или отдельные блоки в пределах тел) содержат обильный ксеногенный материал песчаной размерности, захваченный кимберлитовым флюидом при прорыве слабосцементированных терригенных осадочных толщ. Песчинки — это в основном кварц и полевые шпаты, содержание их может достигать 20% (объемных) и более, поэтому они заметно влияют на валовый состав породы. Наиболее обильны находки кимберлитов с песчаным материалом в Верхне-Молодинском поле. В Мало-Ботуобинском поле мелкие ксеногенные частицы содержит трубка Спутник, в Алакитском поле — трубки Кисмет и Лира. Средние данные по кремнезему и окиси магнезия для некоторых трубок показаны в табл. 35.

Таблица 35

Кремний и магний в некоторых кимберлитовых телах
Сибирской провинции, содержащих песчаный материал, вес. %

Название трубки	SiO ₂	MgO	SiO ₂ /MgO
Спутник (среднее из 13)	36,60	15,32	2,39
Кисмет (среднее из 19)	22,28	10,79	2,06
Лира (среднее из 8)	18,91	3,37	5,61
Молодо, ш. 4, исходные данные	47,40	11,02	4,30
То же, после пересчета	40,19	14,42	2,79
Хризолитовая, ш. 9404, исходные данные	42,48	12,22	3,48
То же, после пересчета	38,24	15,12	2,53

Для трубок Молодо и Хризолитовая был выполнен пересчет результатов анализа на «чистый» кимберлит, с привлечением данных о содержании песчаных частиц в породе (подсчет выполнила Г. А. Пономаренко с помощью ИСА). Полученные при пересчете содержания кремнезема, отношение кремния к магнезию (а также не показанные в таблице содержания алюминия и щелочей) остаются заметно более высокими, чем те же величины в кимберлитовых трубках Верхне-Молодинского

поля, лишенных песка. Скорее всего, объясняется это присутствием в кимберлитах, наряду с песчаниками, глинистых частиц, захваченных из тех же терригенных отложений.

Влияние окремнения. Не останавливаясь на дискуссионном вопросе о причинах окремнения кимберлитов, подчеркнем, что с развитием в некоторых кимберлитовых телах халцедона и кварца связано резкое повышение отношения кремния к магнезию (В. И. Михеенко, 1969 г.).

Влияние монтмориллонитизации. При изучении кимберлитов Мало-Ботуобинского поля мы обратили внимание на своеобразии химического состава кимберлита из приповерхностных горизонтов трубки Таежная. По сравнению с образцом с глубины 62 м той же трубки и по сравнению с кимберлитом трубки Мир здесь заметно повышено содержание алюминия, H_2O^- , отношение SiO_2/MgO (табл. 36). Термический и рентгеномет-

Таблица 36

Содержание некоторых окислов в кимберлитах трубки Таежная (1 — из приповерхностных горизонтов; 2 — с глубины 62 м) и трубки Мир, вес. %

Компоненты	Таежная		Мир
	1	2	
SiO_2	37,70	30,34	33,55
TiO_2	1,37	1,03	1,29
Al_2O_3	4,26	1,71	2,94
ΣFeO	6,89	5,98	7,19
MgO	18,70	22,54	25,40
CaO	9,45	15,50	9,18
CO_2	7,79	11,22	8,50
H_2O^-	4,88	1,64	3,21
SiO_2/MgO	2,02	1,35	1,32

рический анализы показали, что существенной составной частью кимберлита из верхних горизонтов трубки является монтмориллонит; в образце с глубины 62 м количество этого минерала невелико. По-видимому, развитие монтмориллонита в зоне гипергенеза характерно для большинства кимберлитовых тел Мало-Ботуобинского поля, чем и объясняется, в частности, заметное преобладание кремнезема над окисью магния и повы-

шенное содержание гигроскопической воды в верхних горизонтах трубки Мир.

Влияние амфиболизации. И. П. Илупин и А. Д. Харьков в 1972 г. установили развитие в кимберлите амфибола тремолит — актинолитового ряда в одном участке северо-восточного блока трубки Сытыканская. В табл. 37 приведены новые данные. При амфиболизации заметно растет отношение кремнезема к окиси магния, отношение СаО к углекислоте, уменьшается отношение магния к железу.

Влияние доломита и магнийсодержащего кальцита. Из числа явлений, вызывающих относительное обогащение кимберлитов магнием, наиболее распространена вторичная доломитизация [91, с. 150—151]. Интенсивная доломитизация зафиксирована в трубках Моркока, 325 лет Якутии, Кубанская, Подснежная и некоторых других. Надежным способом для диагностики доломита является рентгенометрический анализ; этим методом И. П. Илупин и П. П. Левшов, в 1970 г. также обнаружили магнийсодержащий кальцит — в трубке Малая.

Влияние брусита и гидромагнезита. Брусит в кимберлитах Якутии редок, участки интенсивного его развития ограничиваются обычно первыми метрами. А. Д. Харьков в 1961 г. обнаружил брусит в трубках Новинка и Заполярная; позднее минерал был встречен в трубке Удачная-Восточная (табл. 38). Брусит во всех изученных проявлениях сопровождается жилками гидромагнезита; с присутствием последнего связано, в частности, понижение отношения СаО/СО₂ в образце 39-63. В некоторых кимберлитовых трубках (например, Сытыканская и Снежинка Алакитского поля) гидромагнезит отмечался независимо от брусита — в виде тонких (от десятых долей миллиметра до 2—4 мм) белых жилок.

Влияние пироаурита. В кимберлите трубки Удачная-Восточная при попытках пересчитать химический состав на минеральный получается заметный избыток магния, причем, судя по отношению окиси кальция и углекислоты (СаО/СО₂=1,36), трудно ожидать присутствия сколько-нибудь значительных количеств доломита или других карбонатов магния. В данном случае «избыточный» магний обусловлен, по-видимому, широким развитием в связующей массе пироаурита, придающего породе зеленоватый оттенок. Макроскопические выделения пироаурита в этой трубке описали В. С. Ровша и

Таблица 37

Содержание некоторых окислов в амфиболизованном (1) и в «обычном» (2) кимберлите северо-восточной части трубки Сытыканская, по скв. 26, вес. %

Компоненты	1	2
	гл. 24 м	гл. 56—264 м, ср. из 8
SiO ₂	55,48	31,72
TiO ₂	1,26	1,79
Al ₂ O ₃	2,28	2,25
Σ FeO	8,85	7,81
MgO	18,48	32,21
CaO	5,70	5,49
CO ₂	1,41	4,84
SiO ₂ /MgO	3,00	0,98
MgO/Σ FeO	2,09	4,12
CaO/CO ₂	4,04	1,13

Таблица 38

Содержание некоторых окислов в бруситизированном (1) и в «обычном» (2) кимберлите трубки Удачная-Восточная, вес. %

Компоненты	1	2
	обр. № 39—63	среднее из 23
SiO ₂	9,17	26,58
TiO ₂	0,57	1,01
Al ₂ O ₃	0,70	2,39
Σ FeO	2,81	7,06
MgO	55,57	27,34
CaO	3,25	13,87
CO ₂	3,58	10,20
SiO ₂ /MgO	0,165	0,97
CaO/CO ₂	0,91	1,36

С. И. Футергендлер (1963 г.). В. П. Иванова и В. Н. Москалева (1970 г.) подтвердили термическими исследованиями присутствие пиронаурита в основной массе кимберлитов.

Все перечисленные особенности кимберлитов, приводящие к изменению отношения SiO₂/MgO, легко могут быть обнаружены обычными петрографо-минералогическими методами. Как правило, соответствующие процессы проявлены локально, не захватывая трубку целиком, и для изучения в большинстве случаев можно отобрать «нормальный» кимберлит.

ВАРИАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В ПРЕДЕЛАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК, ПОЛЕЙ, ПРОВИНЦИЙ

Многие (вероятно, большинство) кимберлитовые трубки Сибирской провинции имеют сложное строение. Чем более детально изучается кимберлитовая трубка, тем больше разновидностей кимберлитовых пород удастся выделить в ее пределах. Для сложных кимберлитовых тел можно прежде всего наметить две основные разновидности, отвечающие двум главным этапам внедрения: брекчию (1-й этап) и «крупнопорфировый» («базальтоидный», «магматический») кимберлит (2-й этап).

В брекчиях, как правило, больше кальция, меньше титана и железа, чем в «крупнопорфировых» кимберлитах тех же трубок. В таблицах ради краткости кимберлит второго этапа внедрения назван «порфировым».

Неоднородность кимберлитовых тел также выявляется при сопоставлении кимберлитов из эндоконтактов трубок с образцами из центральных частей тех же тел. Чаще всего оказывается, что кимберлит вблизи контактов заметно обогащен кальцием и углекислотой и обеднен остальными породообразующими окислами [91, с. 54]. Мощность зон, где проявились приконтактные изменения, по данным Г. В. Зольникова, может варьировать от 10 см до десятков метров.

Кроме того, к периферическим частям кимберлитовых трубок иногда приурочено окремнение — например, в трубке Москвичка или в некоторых участках трубки Удачная-Западная; А. П. Акимов и Г. С. Семенов [1] отметили накопление калия, урана и тория в эндоконтактах трубок Удачная и Зарница. Таким образом, в приконтактных частях кимберлитовых тел могут развиваться измененные зоны, связанные либо с перераспределением материала в пределах трубки, либо с привнесением его из вмещающих пород.

Однако в ряде случаев зоны периферических изменений практически не проявились, что можно видеть прежде всего по содержанию в кимберлите окиси кальция. Так, в «крупнопорфировой» разновидности трубки Дальняя Далдынского поля содержание CaO в образце из шурфа № 3 (менее 5 м от контакта) составляет 1,5—2,1% (два определения), а в кимберлитах из шурфов № 10, 11 и 20, расположенных в 35—100 м от контакта, 5—6% CaO . В Омонос-Кутугунском поле кимберлит из дайки «аномалия 22» (мощность ее, по геофизическим данным, около 3 м) содержит 8,8% CaO (шурф 51) и 1,8% CaO (ш. 52).

Большой интерес вызывает изучение вертикальной зональности (неоднородности) кимберлитовых трубок, поскольку некоторые исследователи [13; 107, с. 7—8] развивают представление о тесной связи между вертикальной зональностью кимберлитовых тел и горизонтальной зональностью состава кимберлитов в пределах Сибирской провинции. Рост содержания железа, титана, фосфора и некоторых других элементов от центральных (южных) полей провинции к северным полям эти ис-

следователи объясняют увеличением в том же направлении глубины эрозионного среза. В. К. Маршинцев и А. В. Лапин [73] на примере трубки Удачная-Западная показали уменьшение с глубиной содержаний никеля и хрома (и их отношений к ванадию) и отметили, что эти изменения сходны с теми горизонтальными вариациями, которые наблюдаются при переходе от кимберлитов внутренних частей Сибирской платформы к окраинным (северным) ее частям.

Выявление вертикальной зональности кимберлитовых трубок представляет несомненный интерес и заслуживает дальнейшего изучения. Уменьшение содержаний никеля и хрома с глубиной в трубке Удачная-Западная подтверждено нашими данными. Вместе с тем, определенные вариации должны, очевидно, улавливаться не только для хрома и никеля, но и для компонентов, содержащихся в больших количествах.

По нашим данным, в кимберлитах трубок Мир, Удачная-Западная и Удачная-Восточная титан, алюминий и железо (суммарное) не только не возрастают с глубиной, но даже обнаруживают тенденцию к убыванию. При этом только для трубки Удачная-Западная снижение содержаний названных компонентов можно объяснить разбавляющим влиянием карбоната.

По мнению цитируемых авторов [107, с. 8], величина эрозионного среза для Алакитского поля составляет 650, для Далдынского 900, для Верхне-Мунского 1300, для Чомурдахского, Западно-Укукитского и Лучаканского 1800 м. Очевидно, что скважины, пройденные на трубке Удачная до глубин 900—1000 м, должны выявить примерно такое же изменение химизма кимберлитов, какое прослеживается при переходе от Далдынского к Чомурдахскому, Западно-Укукитскому (Омонос-Кутугунскому) и Лучаканскому полям. В частности, от Далдына к северным полям закономерно растут концентрации в кимберлитах железа и фосфора. Средние данные для кимберлитовых полей и средние по интервалам для западного и восточного тел трубки Удачная (рис. 5 и 6) показывают, что изменения с глубиной не соответствуют изменениям по горизонтали.

Гипотеза о связи вертикальной зональности трубок с горизонтальной зональностью провинции не согласуется также с геохимическими особенностями Куойского поля, расположенного на крайнем северо-востоке Си-

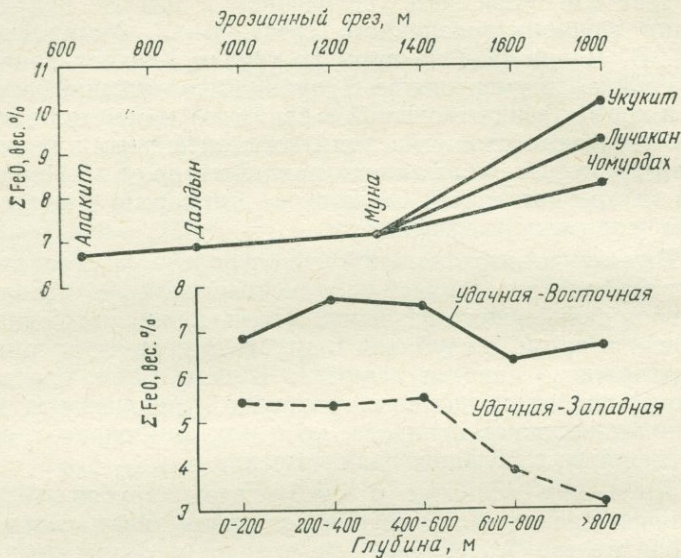


Рис. 5. Вариации содержаний общего железа — по кимберлитовым полям и в разрезе трубки Удачная.

Пояснения в тексте

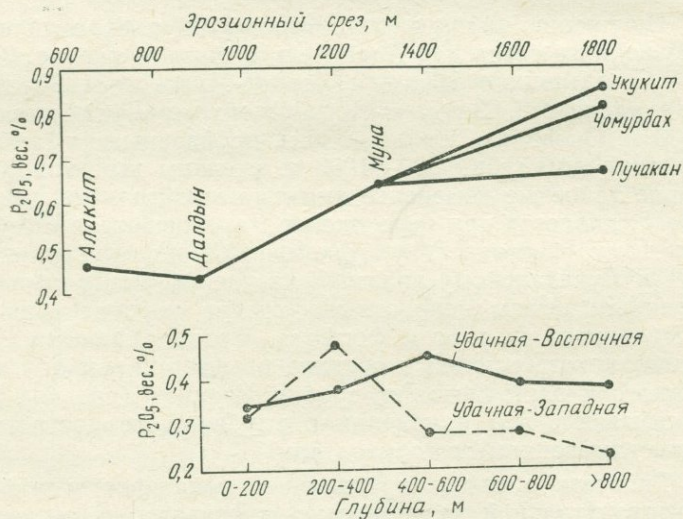


Рис. 6. Вариации содержания фосфора — по кимберлитовым полям и в разрезе трубки Удачная.

Пояснения в тексте

бирской провинции. Кимберлиты Куойского поля во многих отношениях напоминают кимберлиты «слабо эродированных» Алакитского и Далдынского полей [49] и резко отличаются от кимберлитов из полей, соседних с Куойским — Мерчимденского и Верхне-Молодинского.

Перейдем к вариациям химизма в пределах полей. Сопоставляя между собой отдельные трубки, мы, как правило, обнаруживаем более существенные различия в химическом составе — по сравнению с теми вариациями, которые выявлялись внутри трубки. Так, в Далдынском поле содержание TiO_2 в брекчии и в порфировом кимберлите трубки Дальняя — соответственно 2,32 и 2,86%; для трубки Геофизическая 1,47 и 1,99%; для трубки Удачная 0,73 и 1,10%.

Вариации содержаний титана и алюминия показаны на гистограммах (рис. 7, 8). Большинство гистограмм демонстрируют распределение компонентов, явно отличающееся от нормального; нередко бимодальная и более сложные конфигурации. Сложный характер гистограмм отчасти объясняется небольшим числом объектов. Не исключено, однако, что в ряде случаев трубки и дайки данного поля, рассматриваемые как единая геологическая совокупность, на самом деле составляют две (или более) самостоятельные группы, внутри каждой из которых распределение компонентов более упорядочено.

Накопление большого числа аналитических данных позволило обнаружить зональность (близкую к концентрической) для Далдынского поля, предположить геологическую самостоятельность группы кимберлитовых тел в северной части Алакитского поля, подтвердить целесообразность выделения в качестве самостоятельных единиц Верхне-Молодинского и Толуопского полей [66]. Важнейшими критериями при этом явились калий-рубидиевое отношение и содержание лития.

Неоднородность полей выражена в особенностях состава кимберлитовых трубок и даек, содержащих порфировые выделения апатита. Все без исключения тела, где найден такой апатит, отличаются от соседних кимберлитовых тел пониженным содержанием титана и алюминия. Это — трубки Коллективная и Светлая в Алакитском поле; дайки Снежинка и Водораздельная в Чомурдахском поле; трубка Восток-6 в Мерчимденском поле; трубка Хризолитовая и некоторые другие тела в

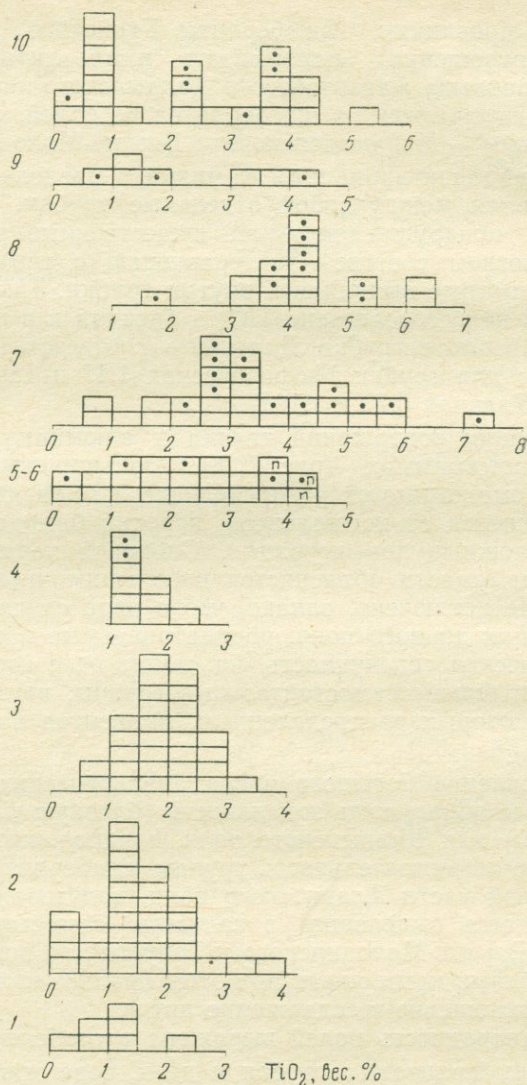
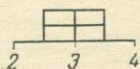


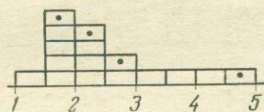
Рис. 7. Содержания титана в кимберлитах и пикритовых порфиритах отдельных полей Сибирской провинции. Точками отмечены данные единичных анализов:

1 — Мало-Ботуобинское; 2 — Алакитское; 3 — Далдынское; 4 — Верхне-Мунское; 5—6 — Чомурдахское (п — пикритовые порфириты); 7 — Омонос-Кутугунское — кимберлиты; 8 — Омонос-Кутугунское — пикритовые порфириты; 9 — Огоньор-Моторчунское; 10 — Мерчимденское, 11 — Верхне-Молодинское; 12 — Куой-

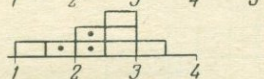
21



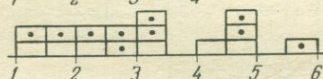
20



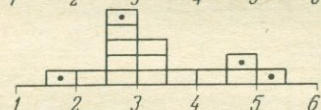
19



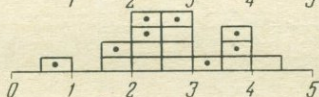
18



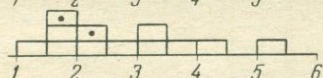
17



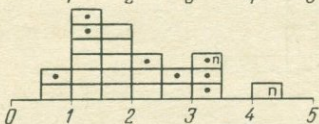
16



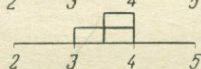
15



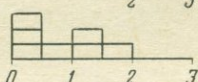
14



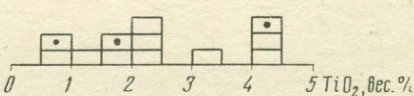
13



12



11



ское — кимберлиты; 13 — Куойское — пикритовые порфириды; 14 — Мало-Куонамское (п — пикритовые порфириды); 15 — Лучаканское — кимберлиты; 16 — Лучаканское — пикритовые порфириды; 17 — Средне-Куонамское — кимберлиты; 18 — Средне-Куонамское — пикритовые порфириды; 19 — Нижне-Куонамское — кимберлиты; 20 — Нижне-Куонамское — пикритовые порфириды; 21 — Нижне-Куонамское — «кайнотипные» пикритовые порфириды

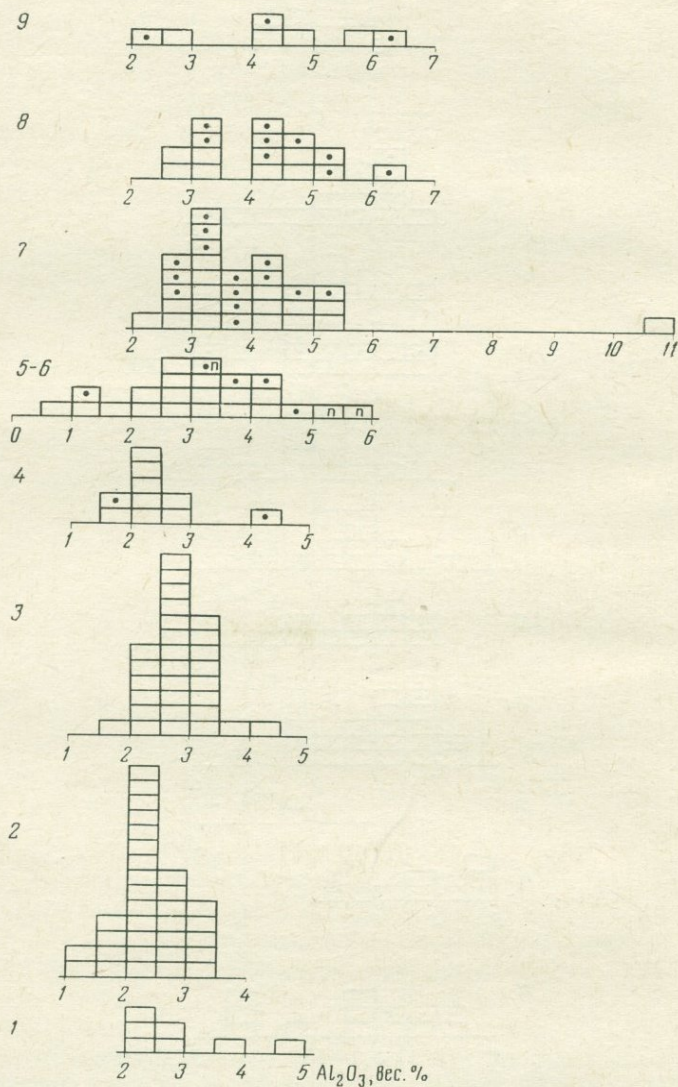
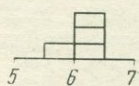
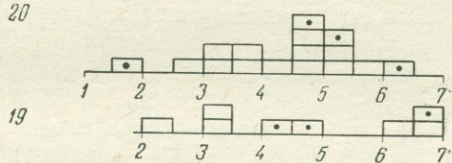


Рис. 8. Содержания алюминия в кимберлитах и пикритовых порфиритах отдельных полей Якутии.

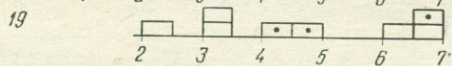
21



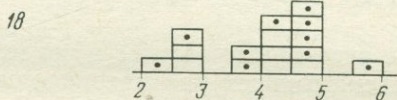
20



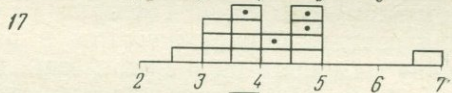
19



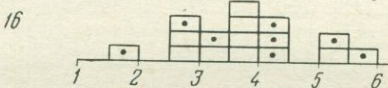
18



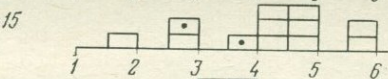
17



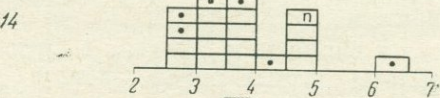
16



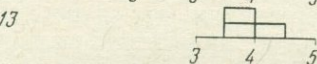
15



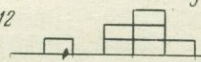
14



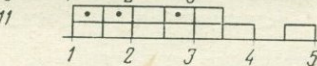
13



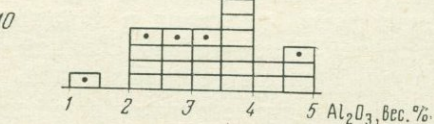
12



11



10



Условные обозначения — см. рис. 7

Верхне-Молодинском поле; трубки Русловая и Муза в Куойском поле.

Зональность намечается для Омонос-Кутугунского поля. Трубки и дайки с наиболее высоким содержанием железа (ΣFeO 14% и более) располагаются здесь по периферии поля — вдоль южной, восточной и северной его границ. Для небольшого участка в южной части этого поля вырисовывается зональность по титану: кимберлитовые тела с повышенным его содержанием (от 4,6 до 7,1% TiO_2 — аномалии № 15, 19, 22, 23) полукольцом окружают группу тел с относительно низкой концентрацией (от 1,9 до 3,1% TiO_2 — аномалии № 11, 12, 18а).

Своеобразие отдельных участков в пределах Алакитского и Далдынского полей рассматривается в разделе, посвященном элементам группы железа.

Вариации состава обнаруживаются в ряде случаев при сравнении кимберлитов и пикритовых порфиритов; последние в общем обогащены железом, титаном, алюминием [55 и др.]. Наиболее отчетливо специфика пикритовых порфиритов выражена для Куойского, Чомурдахского, Мало-Куонамского полей, слабее — в Омонос-Кутугунском поле. В Лучаканском, Средне-Куонамском и Нижне-Куонамском полях различия сглажены, а соотношения средних (для титана и алюминия) даже меняются на противоположные.

Обратимся к вариациям химизма в пределах провинции. Кимберлиты разных полей Сибири различаются как по средним содержаниям, так и по характеру распределения важнейших показательных компонентов [75 и др.]. Рисунки 7 и 8 наглядно отражают эти различия. Центральные поля Сибирской провинции (Мало-Ботуобинское, Алакитское, Далдынное и Верхне-Мунское) отличаются от большинства северных полей (кроме Куойского) относительно низкими содержаниями и более компактным распределением титана, алюминия и железа. Скорее всего, различия в характере распределения объясняются относительно сильной дифференцированностью кимберлитов северных полей.

Соотношение средних содержаний общего железа и титана показано на рис. 9. От центральных полей к северным с ростом абсолютных содержаний в общем уменьшается отношение железа к титану. Аномально высокое отношение $\Sigma\text{FeO}/\text{TiO}_2$ характеризует кимберлиты

Куойского поля. На рис. 10 сопоставляются средние содержания алюминия и титана. Снова выявляется сопряженное возрастание концентраций обоих компонентов от центральных к северным полям провинции, и снова при этом меняется их соотношение: с ростом абсолютных содержаний падает величина Al_2O_3/TiO_2 .

От центра к северу провинции закономерно изменяются и показательные отношения. Величина $MgO/\Sigma FeO$ падает от 3,1—4,4 до 1,4—1,9, а отношение SiO_2/MgO растет от 0,95—1,08 до 1,30—1,42. Рост отношения кремния к магнезию лишь отчасти обусловлен повышенной железистостью кимберлитов северных полей; отношение кремния к сумме магнезия и железа также повышается. Скорее можно говорить об изменении химического состава, примерно отвечающем эволюции химизма при переходе от дунитов к перидотитам и далее к пироксенидам; или, в более общем плане, — от гипербазитов к базитам. Представляется поэтому вполне естественной положительная связь величины SiO_2/MgO с содержанием щелочей и алюминия (рис. 11).

Нельзя забывать, что одновременный рост содержания алюминия и отношения кремния к магнезию может происходить при обогащении кимберлитов песчаным материалом и при некоторых процессах гипергенного изменения. Однако кимберлиты, содержащие песчаный материал, исключены из подсчета средних, а гипергенные процессы интенсивно проявились лишь в Мало-Ботубинском поле, что, видимо, и является причиной аномального положения соответствующей точки (№ 1) на некоторых графиках. Не исключено вместе с тем, что и первичный химический состав кимберлитов Мало-Ботубинского поля отличался от состава кимберлитов других центральных полей.

Несмотря на заметные изменения химического состава при переходе от одного поля к другому, в целом для Сибирской провинции отношения кремния к магнезию и магнезия к железу остаются в пределах, типичных для дунитов и перидотитов. Эти характеристики, а также умеренное содержание глинозема позволяют уверенно отличать кимберлиты (и пикритовые порфириды) от базальтоидов.

Остановимся на некоторых экстремальных разностях кимберлитов и близких к ним пород. Одна из характерных особенностей рассматриваемых пород — низкое со-

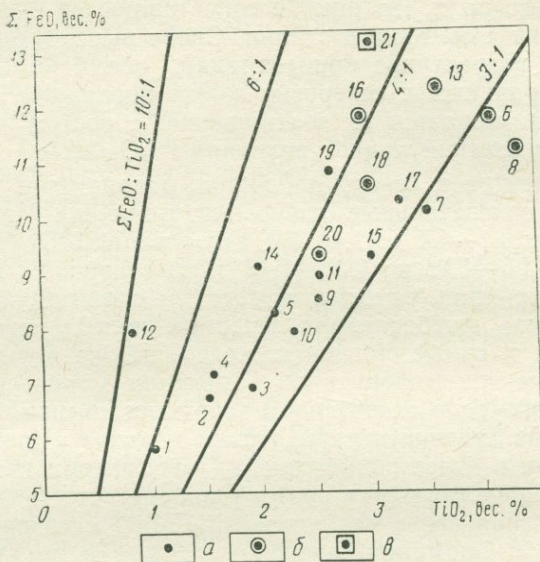


Рис. 9. Соотношения средних содержаний титана и общего железа по кимберлитовым полям Сибири.

Цифровые обозначения те же, что на рис. 7.

a — кимберлиты, б — пикритовые порфириты; в — «кайнотипные» пикритовые порфириты

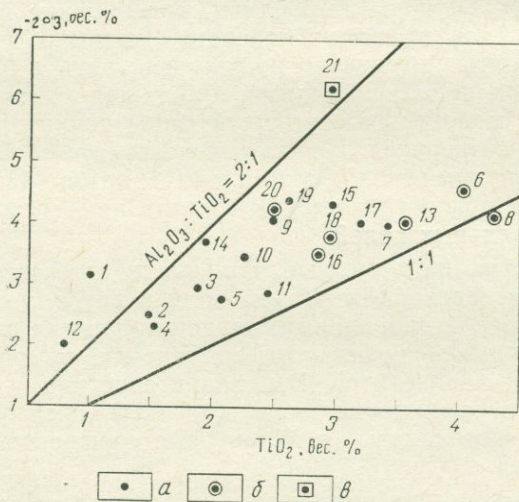


Рис. 10. Соотношения средних содержаний титана и алюминия по кимберлитовым полям Сибири.

Условные обозначения — см. рис. 7 и 9.

держание натрия; средние содержания Na_2O по кимберлитовым полям Сибири не поднимаются выше 0,23%, если не рассматривать «кайнотипные» различия. Поэтому особый интерес представляют «палеотипные» (серпентинитизированные) кимберлиты и пикритовые порфиры, в которых Na_2O повышается примерно до 1%.

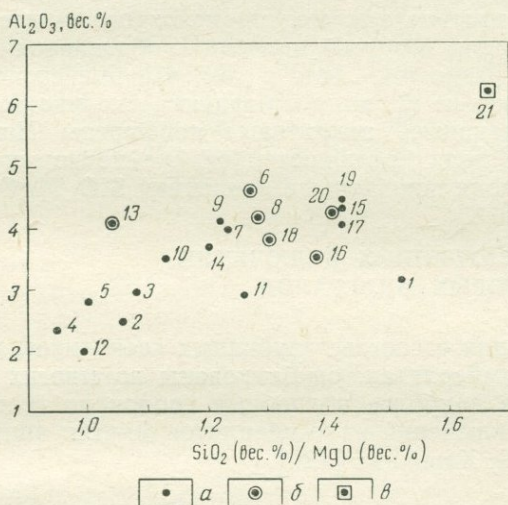


Рис. 11. Зависимость между содержанием алюминия и отношением кремния к магнию — по средним составам кимберлитовых полей Сибири.

Условные обозначения — см. рис. 7 и 9

К ним относятся: 1) пикритовый порфирит из дайки аномалии 54, ш. 84, Омонос-Кутугунского поля (см. табл. 13); 2) условно отнесенная к кимберлиту (на присутствие пироба не проверена) порода из шурфа 14062 трубки Отрицательная Лучаканского поля (см. табл. 21); 3) пикритовый порфирит из аномалии 142н Нижне-Куонамского поля (см. табл. 26).

Все три высоконатровых образца отличаются от средних составов (по соответствующим полям) повышенным отношением кремния к магнию, повышенным содержанием калия, пониженным — кальция и фосфора. Из большого числа изученных кимберлитов и пикритовых порфиритов только эти три объекта соответствуют по содержанию натрия пикритовым порфиритам из кар-

бонатитовых комплексов. Но последние по ряду признаков ближе к «нормальным» кимберлитам Сибири, чем к высоконатровым породам. Образцы с повышенным содержанием натрия заслуживают более глубокого изучения.

Недостаточно изучены в отношении микроэлементов также своеобразные «кайнотипные» пикритовые порфиры и кимберлиты. Заметим, что эти породы не могут рассматриваться как модель исходного вещества, серпентинизация которого привела к образованию «палеотипных» разностей. Дело в том, что при серпентинизации отношение кремния к магнию несколько возрастает, а «палеотипные» пикритовые порфиры Нижне-Куонамского поля отличаются от «кайнотипных» пород того же поля пониженным значением SiO_2/MgO .

СОСТАВ ГЛУБИННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛОВ

Сведения о составе глубинных ксенолитов, встреченных в кимберлитах, опубликованы во многих работах. Одной из наиболее подробных сводок по составу глубинных включений из кимберлитов Якутии является работа А. Д. Харькина [120].

Таблица 39

Содержание некоторых компонентов в минералах из кимберлитов, вес. %

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO_2	40,55	37,3—41,8	41,3	0,41	0,00—0,18
TiO_2	0,03	0,02—0,43	1,06	48,54	51,7—56,8
Al_2O_3	0,39	0,19—1,35	12,1	0,15	0,27—0,46
Cr_2O_3	0,02	0,01—0,06	0,30	0,44	0,00—0,02
ΣFeO	8,61	4,1—9,8	4,9	38,41	1,02—2,18
MnO	0,10	0,02—0,21	0,01	0,20	0,00—0,09
MgO	49,57	33,8—39,4	24,3	10,15	0,06—0,20
CaO	0,11	Сл.—1,8	Не опр.	0,08	37,5—39,9
Na_2O	0,04	Сл.—0,24	0,16	0,03	0,27—0,67
K_2O	0,02	Сл.—0,14	10,4	0,02	Сл.—0,12

1 — оливин из кимберлитов Якутии, среднее из 41 анализа; 2 — серпентин из псевдоморфоз по вкрапленникам оливина из кимберлитов Якутии, пределы колебаний по 5 образцам; 3 — мегакристы флогопита из южноафриканских кимберлитов (разные трубки), среднее из 9 [144]; 4 — ильменит из кимберлитов Якутии, среднее из 40; 5 — перовскит из кимберлитов Африки и Северной Америки, пределы колебаний средних по 4 работам [172, р. 151; 178; 192, pp. 179—197, pp. 199—218].

В табл. 39 собраны сведения о составе тех минералов кимберлитов, которые могут оказывать заметное влияние на состав породы в целом. Резкие колебания содержаний титана и алюминия в серпентиновых псевдоморфозах по оливину объясняются, скорее всего, обменом вещества со связующей массой. Для слюды в литературе приводятся анализы главным образом крупных выделений («мегакристов»); трудно сказать, насколько эти данные отражают состав мелких выделений слюды из основной массы кимберлитов. В ильменитах, помимо титана, железа и магния, обычно в заметных количествах присутствует хром. Перовскиты концентрируют ряд редких элементов (ниобий, редкие земли) и играют заметную роль в балансе натрия.

ГЛАВА III. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД И ГЛУБИННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

РЕДКИЕ ЩЕЛОЧИ (ЛИТИЙ, РУБИДИЙ, ЦЕЗИЙ)

Изучение наиболее распространенных щелочных элементов — натрия и калия — в кимберлитовых и родственных им породах проводилось рядом исследователей (В. А. Милашев, И. П. Илупин, Н. П. Сурина). Систематическое исследование редких щелочей началось лишь недавно [106, 65, 66, 68, 12]. По африканским кимберлитам данные более разрознены и содержатся в работах Дж. Б. Даусона [140]; Дж. Дж. Гурни с соавторами [159], П. Г. Харриса и Е. А. Миддлмоста [161], Р. Х. Митчела и Дж. Х. Крокета [183], П. Х. Никсона и П. Крестена [172], Дж. Фергюсона с соавторами [192], Д. Р. Баррета и Г. В. Берга [130], К. С. Хейера и В. Компстона [163], Д. К. Пауля и Р. Хатчисона [188], А. М. Стюбера и В. Р. Мурти [202, 203]. По кимберлитам Северной Америки и Индии опубликованы единичные данные по щелочам [171, 183, 153].

Определения щелочей методом фотометрии пламени выполнены в 115 наших пробах кимберлитовых и родственных им пород из многих трубок Сибирской платформы. Анализы проводились параллельно в трех лабораториях: ЦНИГРИ (аналитик С. И. Кондратенко), ИМГРЭ (аналитики Л. И. Бусихина и Л. И. Чижикова) и ГЕОХИ СО АН СССР (аналитик Д. И. Орлова); в каждой из лабораторий 15—30% проб подвергались внутреннему контролю и в этом случае принимались средние цифры. Порог чувствительности анализов на Li, Rb, Cs во всех лабораториях составлял $10^{-3}\%$ (10 г/т), следовые содержания элемента при расчетах условно принимались за 50% порога чувствительности анализа, а отсутствие элемента — за 30%.

Результаты определений содержаний щелочей во всех лабораториях близки, систематические расхожде-

ния отсутствуют. Поэтому результаты анализов всех трех лабораторий использовались как равнозначные при подсчете среднего арифметического.

Обобщенные сведения по содержаниям редких щелочей в кимберлитовых породах представлены в табл. 40. В нее, помимо полученных нами данных, включены также (в скобках, не учитывались при подсчете средних), выполненные ранее только в лаборатории ИМГРЭ, определения щелочей в кимберлитах Якутии, использованные в статьях А. А. Лебедева-Зиновьева и И. П. Илупина [65, 66], а также некоторые данные Л. С. Бородина с соавторами [12]. В качестве равноценных при подсчете средних использованы цифры О. Д. Ставрова и А. В. Уханова [106]. Сведения по зарубежным кимберлитам взяты из упомянутых выше литературных источников.

Средние содержания редких щелочей в кимберлитах в целом вычислены на базе двух средних цифр, полученных для Сибирской и Африканской провинций. Надежной величиной можно считать только концентрацию в кимберлитах рубидия (51,8 г/т), так как содержания лития определялись только для кимберлитов Сибирской провинции, а цезия — только для Африканской провинции. Концентрация Li в целом для кимберлитов, вероятно, несколько выше оцененной, а Cs — ниже.

Содержания цезия в зарубежных кимберлитах колеблются от 0,4 до 12,8 г/т: в трубке Премьер 3,5; в жилах Боббеджан, Мэйн и Уотер соответственно 3,0; 3,7; 0,4; в трубках поля Ягерсфонтейн 1,8 (Кофффонтейн), 3,3 (Эбенезер-Западная), 2,4 (Эбенезер-Восточная); в трубках Лесото — 1,9 (Коенаненг), 1,7 (Лайпланенг) и 1,1 (Мотае); в трубке Муллерсвли 3,0. Максимальные содержания цезия (12,8 г/т) установлены в трубках Вайракарур и Челима Южной Индии. Среднее содержание цезия в кимберлитовых породах, вычисленное по африканским трубкам, может быть оценено цифрой 2,7 г/т.

В различных кимберлитовых провинциях содержания щелочей в породах довольно сильно различаются. Для Индийской провинции авторы определений [153] объясняют необычайно низкое отношение K/Rb, вызванное высокими содержаниями рубидия, возможной ассимиляцией кимберлитами материала коровых пород. Однако для Сибирской и Африканской провинций более чем

Содержания щелочей в кимберлитовых и родственных им породах, г/т

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Сибирская провинция							
Кимберлитовые породы							
Мир (брекчия)	Б-1, 2*	5 (1, 2, 3)	621	3 800	34	21	181
Амакинская-Южная	Б-3***	2 (1, 3)	415	3 830	18	8	478
Амакинская-Северная	Б-8	1 (1)	370	3 500	80	< 10	—
Интернациональная	Б-9*	2 (1, 2)	440	4 400	61	10	440
<i>Спутник</i>	Б-5*	3 (1, 2, 3)	1067	12 667	92	51	248
Таежная	Б-4*	2 (1, 2)	1200	4 550	135	15	304
Аномалия 21	Б-6***	3 (1, 2, 3)	533	1 600	27	1	1600
Имени XXIII съезда КПСС	Б-7*	2 (1, 2)	1025	3 300	63	18	183
Среднее по Мало-Ботуобинскому полю			658	3 568	60	11	324
Айхал (брекчия)	А-6, 11*	2 (1, 2, 3)	790	2 000	46	7	286
Айхал (туф)	А-7*	2 (1, 2)	625	8 950	115	38	236
Веселая	А-9	1 (1)	160	1 250	10	< 10	—
Искорка	Д-19*	3 (1, 2, 3)	1000	733	15	10	73
Кира	А-1	2 (1, 3)	350	2 880	4	16	180
<i>Лира</i>	А-2	2 (1, 3)	170	1 050	13	4	263
НИИГА-1	А-10	2 (1, 3)	325	1 625	9	8	203
Октябрьская	А-3**	2 (1, 3)	1145	1 800	56	5	360
Светлая	А-8	1 (1)	210	750	50	< 10	—
Сувенир	А-4*	2 (1, 2)	275	1 550	6	10	155
Юность	А-5	2 (1, 3)	355	2 600	45	9	289
Среднее по Алакитскому полю			524	2 414	36	11,3	214
Академическая	Д-7	2 (1, 3)	240	2 070	28	16	169
Аэросъемочная	Д-18*	3 (1, 2, 3)	317	2 067	13	8	334
Геофизическая	Д-9	2 (1, 3)	255	3 690	19	32	115
Дайковая	Д-15	2 (1, 3)	810	1 590	19	7	228
Дальняя (брекчия)	Д-13*** Д-14	5 (1, 2, 3, 4)	398	3 390	17	24	141
Дальняя (порфиновый кимберлит)	—	2 (4, 5)	(1225)	(2 300)	(8,5)	(29,5)	(78)
Долгожданная	Д-11, 12	4 (1, 3)	245	1 500	29	19	79
Загадочная (слюдист.)	—	2 (5)	(2450)	(17 025)	(65)	(75)	(227)
Зарница	Д-3*	2 (1, 2)	650	3 800	65	13	292
Зимняя	Д-6	2 (1, 3)	270	2 580	19	17	152
Ленинградская	20	4 (5)	(738)	(4 850)	(40)	(22)	(220)
Малютка	Д-5	2 (1, 3)	275	2 485	12	10	249
Молодежная	Д-8	2 (1, 3)	325	680	46	4	170
Невидимка	Д-4	2 (1, 3)	сл.	615	6	< 10	—
Осенняя	Д-10	2 (1, 3)	385	2 810	10	17	165
Полярная (порф.)	—	1 (5)	(730)	(9 200)	(12)	(60)	(153)
Сибирская	Д-3*	2 (1, 2)	650	3 800	65	13	292
Угадайка	—	2 (5)	(540)	(2 575)	(52)	(18)	(143)
Удачная-Западная	Д-2*	4 (1, 2, 3, 4)	537	5 067	42,5	23	221
Удачная-Восточная	Д-1*	3 (1, 2, 4)	625	3 300	21	16	206

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Украинская Фестивальная Якутская	—	2 (5)	(575)	(3 650)	(45)	(13)	(280)
	Д-16	2 (1, 3)	285	1 325	13	5	265
	Д-17	1 (1)	200	1 660	10	< 10	—
Среднее по Далдынскому полю			380	2 496	25,5	13,8	181
Заполярная Поисковая Новинка	2/11; 4/2	2 (5)	(650)	(705)	(14,2)	(10)	(71)
	4/4	1 (5)	(500)	—	(4,5)	(< 10)	—
	—	24 (5)	(972)	(5 638)	(7,6)	(55)	(101)
Среднее по Верхне-Мунскому полю			(707)	(3 109)	(8,8)	(23)	(135)
Бортовая Светлая Снежинка Чомур	—	1 (5)	(1300)	(9 950)	(33)	(< 10)	—
	О-9	2 (1, 3)	1670	11 600	16	86	135
	О-7	2 (1, 3)	1095	19 150	45	140	137
	О-8	2 (1, 3)	420	12 700	19	55	231
Среднее по Чомурдахскому полю			1062	14 483	27	94	154
Ленинград Омонос	О-4*	2 (1, 2)	400	13 750	53	40	344
	О-3	2 (1, 3)	645	3 705	60	23	161

Эгиэнтэй	О-5*	2 (1, 2)	750	14 600	36	78	187
Дайка № 2	О-6	1 (1)	450	9 650	90	50	194
Аномалия 42 (дайка)	266; 267	2 (5)	(1250)	(29 075)	(60)	(165)	(177)
Аномалия 44 (дайка)	33	1 (5)	(1100)	(11 130)	(46)	(90)	(124)
Аномалия 46 (трубка)	72	1 (5)	(800)	(14 120)	(3,4)	(180)	(79)
Аномалия 54 (дайка)	84	1 (5)	(7000)	(23 250)	(200)	(130)	(179)
Аномалия 57 (дайка)	272	1 (5)	(900)	(14 900)	(71)	(100)	(149)
Аномалия 62н (трубка)	251	1 (5)	(1000)	(15 600)	(38)	(120)	(130)
Аномалия 64 (трубка)	279	1 (5)	(1000)	(12 450)	(12)	(90)	(138)
Аномалия 65 (трубка)	276	1 (5)	(1400)	(< 250)	(—)	(20)	(—)
Аномалия 68 (дайка)	284	1 (5)	(900)	(10 800)	(4,7)	(100)	(108)

Среднее по Омонос-Кутунскому полю			561	10 426	60	48	217
Тело № 2 ручья Веселый Нижне-Укукитского поля Сестры Огоньор-Моторчунского поля Фестивальная, того же поля Операторская Мерчимденского поля Флогопитовая, того же поля Тело № 6, того же поля	О-6	2 (1, 3)	205	12 100	12	109	111
	—	1 (5)	(850)	(14 065)	(18)	(115)	(122)
	О-1	2 (1, 3)	715	14 800	8	92	161
	—	1 (5)	(1200)	(1 495)	(33)	(50)	(30)
	—	1 (5)	(1000)	(21 800)	(120)	(130)	(168)
	—	1 (5)	(700)	(14 300)	(8,9)	(110)	(130)
Среднее по Мерчимденскому полю			(967)	(12 532)	(54)	(97)	(129)

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Алдыкан	—	2 (5)	(850)	(7 385)	(34)	(40)	(185)
Безымянная (брекчия)	—	1 (5)	(2000)	(18 200)	(43)	(120)	(152)
Безымянная (порф.)	—	1 (5)	(800)	(18 200)	(33)	(110)	(165)
Гранатовая	П-1*	2 (1, 2)	3600	11 000	66	45	245
Молодо	—	2 (5)	(1665)	(11 100)	(24)	(74)	(150)
Унга	—	1 (2)	(1000)	(<250)	(7,9)	(—)	(—)
Хмурая	—	2 (5)	(1540)	(9 900)	(59)	(72)	(138)
Хризолитовая	П-2	2 (1, 3)	995	9 200	39	48	192
Чамайа	П-3	1 (1)	2870	6 800	30	30	227
Среднее по Верхне-Молодинскому полю			2488	9 000	45	41	220
Закат	—	2 (5)	(2800)	(14 300)	(27,5)	(56)	(256)
Приленская	—	2 (5)	(1200)	(21 400)	(9,3)	(37)	(578)
Ява	—	1 (5)	(900)	(11 200)	(14)	(183)	(612)
Ясная	—	2 (5)	(1620)	(5 300)	(18,6)	(32)	(166)
Среднее по Толуопскому полю			(1380)	(13 050)	(17,4)	(35,3)	(370)
Второгодница	К-2	2 (1, 3)	565	4 435	8	37	120
Муза	К-10*	2 (1, 2)	950	2 600	30	10	260
Обнаженная	К-3***	3 (1, 2, 4)	1933	4 500	18,5	27	167
Оливниовая	—	1 (4)	2000	4 700	11	50	94
Пятница	К-9	2 (1, 3)	340	2 095	15	13	161
Русловая	К-8**	3 (1, 3, 4)	1638	1 585	7,5	7	226
Слюдянка	—	1 (4)	2500	4 700	30	55	85
Среднее по Куойскому полю			1418	3 516	17,1	28,4	124
Дама	—	2 (5)	(1300)	(11 875)	(24)	(60)	(198)
Двойная	—	1 (5)	(1500)	(16 600)	(25)	(80)	(208)
Лыхчан	—	1 (5)	(1800)	(23 200)	(17)	(90)	(258)
Отрицательная	—	1 (5)	(8100)	(21 600)	(15)	(60)	(361)
Поздняя	—	1 (5)	(1800)	(21 600)	(4,4)	(60)	(361)
Среднее по Лучаканскому полю			(2900)	(18 975)	(17)	(70)	(271)
Арктика	Км-2	2 (1, 3)	1780	12 350	31	43	287
Баргыдамалах-Южная	Км-3*	3 (1, 2, 3)	3167	1 833	14	90	204
Вечерняя	Км-7	2 (1, 3)	145	615	13	—	—
Космическая	Км-13*	3 (1, 2, 3)	310	3 967	28	26	153
Невская	Км-18	2 (1, 3)	205	2 030	15	15	135
Незабудка	—	1 (6)	He опр.	(1 100)	(40)	(20)	(55)
Полярная	П-36, 42, 45а	2 (1)	2825	12 150	30	55	221
Туманность	Км-22	2 (1, 3)	1970	11 950	14	73	164
Харахтах	—	1 (5)	(1500)	(18 270)	(19)	(50)	147
Среднее по Средне-Куонамскому полю			1486	6 414	20,7	43,6	143

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Мачала Ухтинская	Км-14	2 (1, 3)	410	6 620	32	48	138
	Км-25	3 (1, 3)	393	3 640	11	20	182
Среднее по Нижне-Куонам- скому полю			402	5 130	21,5	34	151
Среднее для сибирских ким- берлитов			827	5 006	32,2	28,9	173
Родственные кимберлитам породы (пикритовые порфириды, ингилиты)							
Дайка Горняцкая, Чомурдах- ское поле	—	1 (6)	He опр.	He опр.	(53)	(50)	—
Буратино, Мерчимденское поле	Мр-2	1 (1)	270	10 000	30	80	125
Дайка Великан, Куойское поле	К-1**	2 (1, 3)	710	9 150	9	53	173
Дайка Монтичеллитовая, то же поле	—	1 (6)	He опр.	He опр.	(9)	(50)	—
Круглая, Лучаканское поле	—	1 (5)	(1300)	(13 600)	(36)	(90)	(151)
Дайка Круглая (№ 8), то же поле	—	1 (5)	(1800)	(6 140)	(39)	(30)	(204)
Оригинальная, то же поле	—	1 (6)	He опр.	He опр.	(8)	(50)	—
Улахан-Лучакан, то же поле	—	1 (6)	He опр.	He опр.	(52)	(50)	—
Аномалия 79/65, то же поле	—	1 (5)	(1300)	(9 130)	(54)	(50)	(183)
Среднее по Лучаканскому полю			(1467)	(9 623)	(38)	(54)	(178)

Альфа	Км-1	2 (1, 3)	550	8 850	14	35	253
Баргыдаламах-Северная	Км-4*	3 (1, 2, 3)	2317	12 200	52	32	382
Бета	Км-5*	1 (1)	1350	7 200	55	30	240
Бета (автолит)	Км-6	3 (1, 2, 3)	2113	9 033	11	63	143
Геофизическая	Км-10	2 (1, 3)	455	11 530	32	47	246
Небайбыт (брекчия)	Км-15	2 (1, 3)	320	4 425	28	23	192
Небайбыт (порфир.)	Км-16, 17**	4 (1, 3)	1545	12 025	9	92	131
Пермь	Км-19	2 (1, 3)	910	5 185	28	21	247
Среднее по Средне-Куонам- скому полю			1195	6 655	29	43	155
Виктория (брекчия)	Км-8	2 (1, 3)	7050	13 350	13	10	1335
Виктория (порфир.)	Км-9	2 (1, 3)	6675	9 390	8	43	218
Джо-Северная	Км-12	1 (1)	250	5 480	10	20	274
Привет	Км-20	2 (1, 3)	1460	11 250	30	53	212
Спортивная	Км-21	2 (1, 3)	1610	4 240	20	36	118
Тылкача	Км-23	2 (1, 3)	1690	16 275	14	75	217
Улыбка	Км-24	2 (1, 3)	4525	9 500	19	44	216
Среднее по Нижне-Куонам- скому полю			2733	9 686	17	42,5	228
Дайка № 1	—	1 (5)	He опр.	(22 600)	(5)	(90)	(760)
Дайка № 2	—	3 (5)	He опр.	(7 030)	(5)	(17)	(415)
Среднее по Бело-Зимин- скому полю			He опр.	(14 815)	(5)	(54)	(274)

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Антошка	И-1	1 (1)	13 800	7 500	10	<10	—
Верхняя-Северная	И-2**	2 (1, 3)	450	2 335	36	12	194
Ижевская	И-3	2 (1, 3)	1 580	3 965	141	37	107
Тело Лексена	И-4	2 (1, 3)	470	3 375	79	20	169
Нина	И-5*	2 (1, 2)	4 050	6 450	53	28	230
Расчетная	И-6**	2 (1, 3)	4 105	13 475	76	43	313
Дайка № 4	И-7	2 (1, 3)	2 935	10 150	45	24	424
Дайка № 6	И-8*	3 (1, 2, 3)	9 867	11 933	64	38	314
Дайка № 12	И-9	2 (1, 3)	390	12 450	89	46	271
Дайка № 17	И-10	2 (1, 3)	2 660	9 650	118	42	230
Среднее по Ингилийскому полю			4 031	8 128	71	29	281
Среднее для пикритовых порфиритов и ингилитов			2 745	8 265	40,5	39,1	211
Карбонатитовые породы Куонамского района							
Джо-Южная	Км-11	1 (1)	7 400	32 400	280	50	648
Яблочко	Км-26*	3 (1, 2, 3)	1 633	2 733	13	10	273
Аномалия 37н	Км-27	2 (1, 3)	2 825	4 725	6	14	337
Аномалия 48	Км-28	2 (1, 3)	1 820	6 310	73	14	450
Аномалия 54	Км-29	2 (1, 3)	350	10 790	15	44	245
Аномалия 57/1	Км-30	2 (1, 3)	810	10 350	12	28	370
Аномалия 70	Км-31*	3 (1, 2, 3)	2 400	11 933	31	25	477
Аномалия 78	Км-32	2 (1, 3)	645	2 275	12	15	151
Аномалия 141	Км-33	2 (1, 3)	595	3 275	20	40	82
Среднее для карбонатитовых пород			2 053	9 421	51	27	349

Русская платформа

Щелочные базальтоиды Онежского полуострова

Карахта	Он-2	2 (1, 3)	23 350	6 740	70	10	674
Куртяево	Он-3	2 (1, 3)	22 700	8 655	43	11	788
Львозеро (1)	Он-1	1 (1)	26 000	5 800	60	<10	—
Львозеро (2)	—	1 (1)	2 250	2 650	110	<10	—
Среднее			23 433	6 540	66	8	818

Африканская провинция

Премьер, поле Претория	—	18	He опр.	10 210	He опр.	88	116
Жила Свартрюгенс, то же поле	—	9	He опр.	He опр.	He опр.	153	—
Беллсбанк, жила Боббеджан	—	6	He опр.	6 490	He опр.	53	122
" жила Мэйн	—	3	He опр.	7 040	He опр.	57	124
" жила Уотер	—	10	He опр.	390	He опр.	4	98
Силл Бенфонтейн	BF-10B; 16	2	He опр.	820	He опр.	6,33	130
Булфонтейн	D1B-3; 6/№	2	He опр.	2 800	He опр.	42,7	66
Весселтон	—	6	He опр.	He опр.	He опр.	103	—
Дайка Весселтон	D1B-6; 6/№	2	He опр.	16 700	He опр.	107,5	165
Де-Бирс	KDB-8; 10; 156	3	He опр.	9 850	He опр.	56,3	175
Льюойтспен	KDT-26	1	He опр.	8 700	He опр.	69	126
Ньюлендс	KN-3; 5	2	He опр.	12 800	He опр.	96	133
Робертс-Виктор	KRV 11-16	6	He опр.	29 200	He опр.	116	246
Френк-Смит, жила Доорнклооф	—	1	He опр.	He опр.	He опр.	109	—
Среднее по полю Кимберлей			He опр.	9 470	He опр.	68,3	139

Трубка	№ проб	К-во анализов (лаборатории)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Гросс-Бруккарос	JF-52	1	He опр.	13 900	He опр.	68,9	203
КOFFифонтейн	—	10	He опр.	5 690	He опр.	44	129
Эбенецер-Западная	—	5	He опр.	17 350	He опр.	80	217
Эбенецер-Восточная	—	5	He опр.	4 870	He опр.	39	125
Среднее по полю Ягерсфон- тейн	—	—	He опр.	10 450	He опр.	58	181
Монастери, поле Винбург	—	1	He опр.	He опр.	He опр.	5,3	—
Нгопетсоу (автолит), поле Ле- сото-Западное	2465	1	1 860	12 950	He опр.	96	135
Као-1 (автолит), поле Лесото- Восточное	—	2	1 225	3 320	He опр.	24	138
Коенаненг, то же поле	1356	1	He опр.	He опр.	He опр.	34	—
Лайпланенг, то же поле	1363	1	He опр.	He опр.	He опр.	88	—
Мотае, то же поле	1304/1310	2	2 670	4 980	He опр.	48,5	103
То же (автолит), то же поле	—	2	1 635	14 200	He опр.	86	165
Трубка 200 (автолит), то же поле	—	4	1 673	11 950	He опр.	128,5	93
Среднее (без автолитов) по полю Лесото-Восточное	—	—	2 670	4 980	He опр.	56,8	88
Муллерсвли	—	1	He опр.	36 860	He опр.	179	206
Жила Южная	X5F-2, 7	2	He опр.	22 900	He опр.	110	208
Среднее для африканских кимберлитов	—	—	(1 813)	11 540	He опр.	74,7	155
Северо-Американская провинция, Канада							
Дайка Кирклейн Лейк	—	3	He опр.	He опр.	3,4	205	—
Индийская провинция, Южная Индия							
Вайракарур и Челима	—	5	3 918	4 778	He опр.	235	20,3
Среднее для сибирских и африканских кимберлитов	—	—	(1 320)	8 273	(32,2)	51,8	160

Примечания. В графе 3 в скобках указаны лаборатории, выполнявшие анализы: 1 — ЦНИГРИ; 2 — ИМГРЭ; 3 — ГЕОХИ СО АН СССР; 4 — ВИМС, по О. Д. Ставрову и А. В. Уханову (1971); 5 — ИМГРЭ, по данным А. А. Лебедева-Зиновьева и И. П. Илупина; 6 — ИМГРЭ, — по Л. С. Бородину с соавторами [12]

Курсивом выделены кимберлиты с значительной примесью песчаного материала; данные по ним при подсчете средних не учитывались.

* Учен повторный контрольный анализ в лаборатории ЦНИГРИ.

** Учен повторный контрольный анализ в лаборатории ГЕОХИ СОАН СССР.

*** Учтены повторные контрольные анализы в лабораториях ЦНИГРИ и ГЕОХИ СО АН СССР.

двукратные различия, по всей вероятности, обусловлены различиями химического состава исходной кимберлитовой магмы. Это тем более вероятно, что изменения содержания щелочей наблюдаются внутри провинций от одного поля к другому.

Кимберлиты северных районов Сибирской провинции в целом характеризуются более высокими содержаниями К и Rb (рис. 12). При этом если в целом поля центральных и северных районов Якутии на рис. 12 частично перекрывают друг друга, то между средними значениями наблюдается четкая граница. Пикритовые пор-

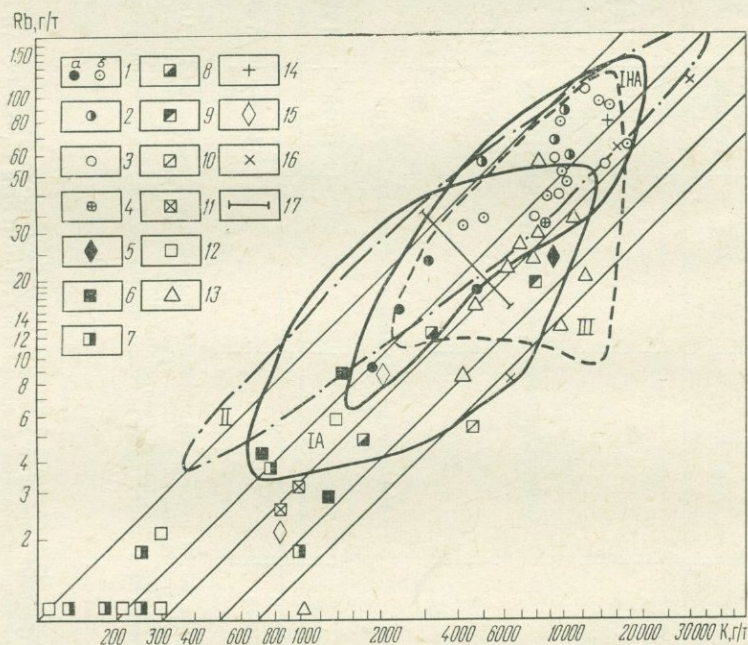


Рис. 12. Содержания калия и рубидия в кимберлитовых и других породах.

1 — кимберлиты Сибири, средние по полям (а — центральные поля, б — северные); 2 — кимберлиты Африки, средние по полям; 3 — пикритовые порфириты, средние по полям; 4 — ингилиты, среднее; 5 — карбонатиты из трубок севера Сибирской платформы, среднее; 6 — включения ультрабазитов в кимберлитах, средние; 7 — включения ультрабазитов в базальтоидах; 8 — включения эклогитов в кимберлитах, средние; 9 — включения эклогитоподобных пород с плагиоклазом, средние; 10 — включения гроспидита; 11 — хондриты; 12 — ультрабазиты; 13 — базальты; 14 — щелочно-ультраосновные породы; 15 — карбонатиты; 16 — щелочные базальтоиды; 17 — граница средних значений центральных и северных кимберлитовых полей Сибирской провинции. Поля: I — сибирских кимберлитов (А — центральных районов, НА — северных районов), II — африканских кимберлитов; III — пикритовых порфиритов и ингилитов

фириты и ингилиты близки к кимберлитам северных районов, частично уклоняясь в сторону более высоких отношений K/Rb (иногда более 1000).

Еще более показательна картина распределения щелочей в кимберлитах отдельных полей [66]. Так, в центральной части Далдынского поля (рис. 13) кимберлиты почти вдвое обогащены литием (20—80 г/т) по сравнению с кимберлитами трубок, расположенных по периферии поля (10—40 г/т).

В Приленском районе восточная группа трубок имеет отношение K/Rb в среднем вдвое более высокое, чем

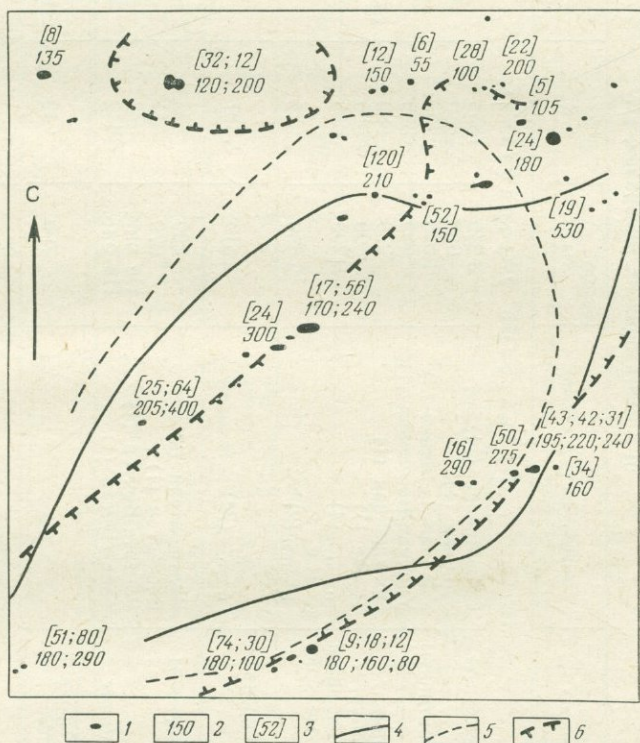


Рис. 13. Геохимическая зональность Далдынского кимберлитового поля.

1 — кимберлитовые тела; 2 — отношение K/Rb (два и более значений относятся к разновидностям сложных тел); 3 — содержание Li , г/т; 4 — граница повышенных (в центре поля) значений K/Rb ; 5 — граница повышенных (в центре поля) содержаний Li ; 6 — граница повышенных (более 2%) содержаний TiO_2 (короткие штрихи направлены в сторону понижения содержаний)

Содержания щелочей в ультраосновных породах и эклогитовых включениях из кимберлитовых трубок и в слагающих их минералах, г/г

Порода или минерал	Трубка (число анализов)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Гранатовые ультрабазиты						
Гранатовые перидотиты	Обнаженная (11)	3 230	1835	3,9	2,0	917
То же	Удачная (1)	600	610	4,1	1,2	508
Гранатовые серпентиниты	Удачная-Западная (3)	1 070	1 235	9,6	5,3	233
То же	Удачная-Восточная (1)	900	500	1,2	< 10	—
Гранатовый оливинит	Обнаженная (1)	270	580	< 10	< 10	—
Гранатовый гарцбургит	То же (1)	600	500	2,9	2,1	238
Гранатовые пироксениты	„ „ (4)	5 200	835	1,3	2,9	288
Гранат-шпиннелевые перидотиты	„ „ (2)	2 650	975	4,1	3,7	264
Среднее для Сибирской провинции	„ „ (24)	2 510	1307	4,0	2,8	467
Гранатовые перидотиты	Бултфонтейн (2)	850	456	Не опр.	2,35	194
То же	Весселтон (1)	670	641	Не опр.	4,48	143
„ „	Робертс-Виктор (1)	Не опр.	663	Не опр.	2,94	226
Гранатовый лерцолит	Таба-Путсоа (1)	Не опр.	1442	Не опр.	7,17	201
Среднее для Африканской провинции	(5)	790	732	Не опр.	3,86	183
Среднее для гранатовых ультрабазитов		1 650	1020	(4,0)	3,33	306

Гранаты	Обнаженная (3)	1 170	620	1,15	2,07	300
То же	Бултфонтейн, Додома, Робертс-Виктор, Таба-Путсоа (7) *	Не опр.	500	Не опр.	2,10	238
Среднее для гранатов		(1 170)	560	(1,15)	2,09	268
Оливины	Обнаженная (2)	425	280	0,6	0,98	286
То же	Бултфонтейн, Дютойтспен (2)	Не опр.	6,46	Не опр.	0,031	208
Диопсиды	Обнаженная (3)	11 000	420	0,9	0,98	428
То же	Бултфонтейн, Весселтон, Додома, Дютойтспен, Ликобонг, Могае, Робертс-Виктор, Таба-Путсоа (13) **	Не опр.	320	Не опр.	0,92	348
Среднее для диопсидов		(11 000)	370	(0,9)	0,95	390
Энстатиты	Обнаженная (2)	4 950	290	1,1	0,75	387
То же	Бултфонтейн, Дютойтспен, Робертс-Виктор (3)	Не опр.	143	Не опр.	0,87	164
Среднее для энстатитов		(4 950)	216,5	(1,1)	0,81	268

* 0,08 г/г Cs ** 3,3 г/г Cs

Порода или минерал	Трубка (число анализов)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Флогопиты То же	Обнаженная (2)	8 700	59 750	<0,5	325	184
	Дьюйтспен, Робертс-Виктор (3)	Не опр.	67 640	Не опр.	201,5	336
Среднее для флогопитов		(8 700)	63 695	(<0,5)	263,3	242
Амфибол Шпинели	Обнаженная (1)	13 000	1 400	0,5	3,3	423
	То же (2)	600	305	0,40	<0,5	—

Шпинелевые ультрабазиты

Перидотиты Слюдяной перидотит	Обнаженная (1)	2 700	1 900	1,0	16	119
	То же (1)	1 200	300	0,5	1,0	300
Оливинит	" " (1)	560	1 810	8	15	121
Энстатиты	" " (2)	5 650	850	5,6	3,95	215
То же	Удачная-Восточная (1)	1 300	3 500	10	10	350
Среднее для шпинелевых ультрабазитов (6)		2 843	1 535	5,1	8,3	185
Оливин Диопсид Энстатит	Весселтон (1)	Не опр.	14,6	Не опр.	0,066	221
	То же (1)	Не опр.	742	Не опр.	3,64	204
	" " (1)	Не опр.	145	Не опр.	0,632	229

Флогопит То же	Обнаженная (1)	3 300	53 400	8,0	700	77
	Весселтон (1)	Не опр.	71 500	Не опр.	255	280
Среднее для флогопитов		(3 300)	62 450	(8,0)	478	131
Шпинель	Обнаженная (1)	Не опр.	110	Не опр.	Не опр.	—

Эклогитовые породы

Алмазоносные эклогиты	Мир (4)	15 405	4 250	23,4	9,5	447
Рубиновый эклогит	Обнаженная (1)	9 000	1 100	14,6	2,7	407
Энстатитовый эклогит	То же (1)	5 600	1 100	3,0	3,0	367
Эклогиты	" " (10)	8 865	872	5,5	3,7	236
Среднее для Сибирской провинции (16)		10 254	1 745	10,4	5,1	342
Эклогиты То же " " " " " " " "	Бултфонтейн (2)	Не опр.	905	Не опр.	2,71	334
	Весселтон (1)	Не опр.	Не опр.	Не опр.	7	—
	" " (1)	9 900	716	Не опр.	7,52	95
	" " (3)	Не опр.	1 203	Не опр.	4,03	298
	" " (2)	Не опр.	900	Не опр.	4,6	196
	" " (27)	Не опр.	4 220	Не опр.	15,0	281
" " (3)	Ягерсфонтейн (3)	Не опр.	1 107	Не опр.	3,2	366
Среднее для Африканской провинции (39)		9 900	3 297	Не опр.	11,7	282
Среднее для эклогитов в целом		10 077	2 521	(10,4)	8,4	300

Порода или минерал	Трубка (число анализов)	Na	K	Li	Rb	K/Rb
Эклогитоподобные породы (с плагиоклазом)						
	Аэромагнитная (1)	18 000	6 600	108	22,0	300
	Удачная (3)	12 457	7 433	363	13,9	535
	Финальная (1)	12 000	11 900	71	34,1	350
Среднее (5)		13 500	8 200	253	19,6	414
Гранаты	Обнаженная (3)	1 300	527	1,3	2,0	265
То же	Булфонтейн, Робертс-Виктор (5) ***	Не опр.	380	Не опр.	1,3	292
Среднее по гранатам		(1 300)	454	(1,3)	1,65	275
Омфациты	Обнаженная (3)	25 133	593	5,5	2,7	220
То же	Булфонтейн, Робертс-Виктор (6)	Не опр.	1 180	Не опр.	1,25	944
Среднее по омфацитам		(25 133)	886	(5,5)	2,0	443
Энстатит	Обнаженная (2)	5 800	835	Не опр.	2,8	298
Флогопит	Робертс-Виктор (1)	Не опр.	86 200	Не опр.	561,2	154
Межгранулярный материал	То же (1)	Не опр.	16 000	Не опр.	48	334
Гроспидиты						
	Загадочная (1)	14 500	4 500	117	5,4	833

*** 5,4 г/т Cs.

кимберлиты западной части территории. Это подтверждает представления о существовании самостоятельных полей — Толуопского и Верхне-Молодинского.

В дополнение к имевшимся ранее нами произведены также определения содержаний щелочей в глубинных включениях из кимберлитовых трубок (табл. 41), в которой также приведены данные других авторов.

Можно видеть, что редкие щелочи содержатся в глубинных включениях в количествах на порядок ниже, чем во вмещающих их кимберлитах. В эклогитах Африканской провинции (трубка Робертс-Виктор) установлено повышенное содержание К и Rb (как и для вмещающих их кимберлитов) по сравнению с эклогитами Сибирской провинции (трубка Обнаженная). Интересно отметить значительно более высокое содержание рубидия и, в особенности, лития в ксенолитах эклогитоподобных пород с плагиоклазом по сравнению с биминеральными («магматическими») эклогитами.

В минералах, слагающих ультраосновные и эклогитовые включения в кимберлитах, щелочи содержатся в значительно меньших количествах, чем в самих породах. Исключение составляет лишь флогопит, но содержание его в глубинных породах незначительно. По данным Гриффина и Мурти (W. L. Griffin, V. R. Murthy), а также [129] главная часть щелочных элементов концентрируется в межзерновом материале.

Кимберлиты в целом наиболее близки к платформенным базальтам и пикритовым порфирирам карбонатитовых комплексов, а также (в меньшей степени) к щелочным базальтоидам, от которых они отличаются меньшими содержаниями щелочей. Исключение составляет щелочные базальтоиды Онежского полуострова, но они характеризуются необычно высоким отношением K/Rb (более 800).

По данным Шоу (D. M. Shaw), кимберлитовые породы по отношению K/Rb в своем подавляющем большинстве попадают в полосу «главного тренда» с $K/Rb = 150 \div 300$. Однако закономерного изменения отношения K/Rb при сопоставлении тел разного возраста не наблюдается.

Большинство исследователей (С. М. Кравченко, Г. А. Эрланк, В. И. Герасимовский, В. И. Лебедев, Г. В. Нестеренко, А. И. Альмухамедов) считают, что критерием дифференциации магмы является закономер-

ное уменьшение отношения K/Rb . В таком случае мы могли бы ожидать уменьшения отношения K/Rb в кимберлитах периферических районов Сибирской платформы и в пространственно ассоциирующих с ними родственных кимберлитам породах (пикритовых порфиритах, ингилитах, карбонатитах, щелочных базальтоидах, слагающих трубки взрыва). Между тем, наблюдается обратное явление: у кимберлитовых пород Сибирской платформы при движении от центра на север отношение K/Rb увеличивается, что было отмечено еще А. А. Лебедевым-Зиновьевым и И. П. Илупиным [65], а в родственных кимберлитам породах это отношение возрастает еще больше, порой даже выходя за пределы «главного тренда» и достигая 350—800 (иногда более).

Таким образом, следует заключить, что процессы дифференциации, судя по отношению K/Rb , для кимберлитовых и родственных им пород не имели определяющего петрогенетического значения. Можно принять альтернативную точку зрения Б. Г. Джеймисона и Д. Б. Кларка (B. G. Jameison, D. B. Clarke), согласно которой различия в отношении K/Rb можно считать следствием различной степени плавления исходного мантийного вещества.

Главным минералом-носителем рубидия в кимберлитах является флогопит (190—450 г/т). Некоторое количество рубидия находится в породах в дисперсном состоянии, однако и в этом случае он поступал сюда, по мнению А. Е. Бесуика (A. E. Beswick), в результате частичного плавления флогопитсодержащих перидотитов верхней мантии. Обогащение кимберлитов рубидием в результате селективного плавления мантийного вещества тем более вероятно, что в ультраосновных включениях в кимберлитах (реститах) главная часть рубидия находится в межзерновом материале, который в этом случае следует рассматривать как остаточный нацело измененный ликват.

Концентраторы лития и цезия в кимберлитовых породах не установлены. От 5,5 до 10 г/т лития отмечается в флогопитах [14, 106], 1—4 г/т в оливинах, 2 г/т в пиропсах, 10 г/т в диопсидах, 2 г/т в серпентинах [14].

В алмазах из африканских кимберлитов обнаружено от 1,97 до 3,14 г/т натрия, от 1,365 до 3,99 г/т калия, от 0,028 до 0,063 г/т рубидия, отношение K/Rb от 33 до 96 [192, pp. 817—836].

БЕРИЛЛИЙ

Сведения о содержании бериллия в кимберлитах крайне ограничены. Так, по данным В. В. Буркова и Е. К. Подпориной [15], среднее содержание бериллия в 38 образцах кимберлитов (из трубок Мир, Зарница и Удачная) равно 1 г/т. В. В. Бурков [14] для 8 образцов пиропа, 7 образцов оливина и 8 образцов серпентина из кимберлитов Сибири приводит одинаковые средние значения (1 г/т). Для трех образцов кимберлита района Бута-Буте, Лесото [172, р. 202] показано 1; 1; 3 г/т Ве.

Наиболее полные сведения приведены в работе Л. С. Бородина, А. В. Лапина и И. К. Пятенко [12]. Они отмечают, что повышенные концентрации бериллия в кимберлитах по сравнению с ультраосновными породами (0,2 г/т) [20] вполне закономерны, поскольку накопление бериллия характерно для щелочных пород. В этой же работе [12] приведены данные о концентрации бериллия в пикритовых порфиритах из карбонатитовых комплексов. Вполне очевидны региональные разли-

Таблица 42

Содержания бериллия в кимберлитах и пикритовых порфиритах Сибирской провинции, г/т [12]

Поле (число объектов)	Пределы колебаний	Среднее
Мало-Ботуобинское (5)	1,3—3,0	2,10
Алакитское (7)	1,2—2,5	1,73
Далдынское (9)	0,9—2,5	1,34
Верхне-Мунское (4)	1,2—3,0	2,05
Среднее по центральным полям (25)		1,72
Чомурдахское (2)	2,8—3,0	2,9
Куойское (2)	2,0—2,2	2,1
Лучаканское (2)	1,3—2,1	1,7
Средне-Куонамское (6)	0,9—2,8	2,08
Нижне-Куонамское (4)	0,9—3,4	2,48
Среднее по северным полям (16)		2,24

Примечание. Использованы результаты 44 отдельных анализов по центральным полям и 37 анализов по северным полям.

чия: в пикритовых порфиритах массива Вуориярви Карело-Кольской провинции содержится в среднем 2,0 г/т Ве, а средние цифры по трем массивам Восточной Сибири 4,4; 5,4; 5,8 г/т Ве (т. е. заметно больше, чем в кимберлитах Сибири).

По данным Л. С. Бородина и др. [12] составлена табл. 42. Из 16 изученных объектов северных полей Сибирской провинции большинство (13 трубок и даек) относятся к пикритовым порфиритам, поэтому в настоящее время нельзя однозначно утверждать, что отражает различие средних цифр по центральным и северным полям — региональные различия или разницу между кимберлитами и пикритовыми порфиритами.

СТРОНЦИЙ И БАРИЙ

Результаты определения стронция и бария в кимберлитах и близких к ним породах Сибири приведены в нескольких работах. В. В. Бурков и Е. К. Подпорина [15] приводят среднее содержание стронция 1140 г/т (по 39 образцам из трубок Мир, Зарница, Удачная); не исключено завышение, поскольку в кимберлитовой трубке Зарница широко развита стронциевая минерализация. Б. Г. Лутц [68, с. 79] приводит результаты анализа на стронций и барий 15 образцов. В работе Л. С. Бородина, А. В. Лапина и И. К. Пятенко [12] сообщаются результаты определения стронция и бария (лаборатория фотометрии пламени ИМГРЭ) 59 образцов.

Кроме того, в нашем распоряжении имеется несколько десятков определений стронция и бария, выполненных одновременно с полным силикатным анализом кимберлитов. Наиболее систематическая подборка (более 40 образцов) — это данные аналитиков Ю. В. Шевченко и Б. М. Туркевич (ИГПИ АН УССР, г. Львов). Более 30 образцов кимберлитов Якутии подвергнуты анализу на стронций и барий в спектральной лаборатории ИГЕМ (В. Г. Хитров, Р. В. Кортман). 21 образец проанализировала на стронций Г. Е. Каленчук методом фотометрии пламени [96]. Более 170 образцов проанализировала на стронций количественным спектральным методом А. Д. Глазунова (Институт геохимии СО АН СССР, г. Иркутск) любезно разрешив нам использовать ее результаты в настоящей работе.

Если сопоставить средние данные разных лабораторий по кимберлитам Алакитского и Далдынского полей для стронция и бария, то получим: по Б. Г. Лутцу [68] — соответственно 420 и 950 г/т (по 4 образцам); по Л. С. Бородину с соавторами [12] — 677 и 606 г/т (по 20 образцам); по данным ИГПИ АН УССР — 500 и 520 г/т (по 17 образцам); по данным ИГЕМ — 540 и 980 г/т (по 8 образцам). Как видим, средние данные по стронцию близки, по барью несколько различаются. Не отдавая предпочтение чьим-либо данным, мы приводим в табл. 43 сводку содержаний стронция и бария по отдельным трубкам и дайкам Сибирской провинции. Не использованы материалы В. В. Буркова и Е. К. Подпориной. Из остальных цифр для каждого объекта вычислено среднее арифметическое по данным разных лабораторий. Знаком вопроса отмечены средние по тем объектам, для которых данные разных лабораторий расходятся более чем вдвое.

Рассмотрим подробнее данные по стронцию, полученные А. Д. Глазуновой. Преимущества сопоставления данных одной лаборатории общеизвестны; кроме того, из образцов этой серии были удалены ксенолиты и для них выполнен химический силикатный анализ. Содержание стронция в отдельных образцах колеблется от 30 до 3000 г/т, редко более. Максимальные значения относятся к кимберлитам Мало-Куонамского поля — 3500 г/т в трубке Сенкю-Северная (обр. 43) и 6100 г/т — в трубке Куранахская (обр. 3440). По изученным 177 образцам распределение стронция близко к логнормальному.

В нескольких случаях проанализированы по два образца пород, взятых из одной точки наблюдения (т. н.), что позволило выявить неравномерное распределение стронция. Так, в Верхне-Мунском поле образцы из трубки Заполярная (т. н.=2/4) показали 45 и 120 г/т Sr; образцы из той же трубки (т. н.=2/11) 130 и 290 г/т; а образцы из трубки Новинка (т. н.=6/5) 56 и 2300 г/т Sr. Следовательно, единичные образцы могут оказаться непредставительными.

Более надежные данные — средние арифметические для отдельных кимберлитовых полей приведены в табл. 44. Из-за малого числа образцов мы объединили Верхне-Молодинское и Толуопское поля в Приленский район, а Средне-Куонамское и Нижне-Куонамское — в Куонамский.

Таблица 43

Содержание Sr и Ba (г/т) в кимберлитах Якутии
(в скобках — число лабораторий)

Трубка, порода	Sr	Ba
Мало-Ботуобинское поле		
Амакинская, южная часть	1680 (3)	470 (3)
Интернациональная	360 (2)	310 (2)
Мир	400 (4)	330 (3)
Таежная	1380 (3)	1330 (2)
Им. XXIII съезда КПСС	1600 (2)	850 (1)
Жила А-21	1380 (3)	1160? (2)
Среднее (из 6)	1130	740
Алакитское поле		
Айхал (разновидность не указана)	470 (1)	780 (1)
Айхал, центральная часть	660 (5)	870 (3)
Айхал, северо-восточная часть	310 (4)	890 (2)
Веселая	1100 (3)	2000 (2)
Дружба	340 (1)	540 (1)
Искорка — апофиза	630 (2)	1150 (2)
Коллективная, северо-восточная часть, ш. 9	300 (1)	1080 (1)
Коллективная, юго-западная часть, ш. 1	880 (3)	1800 (2)
Липа — темный кимберлит	55 (1)	Не опр.
Липа — светлый кимберлит	600 (1)	Не опр.
Магистральная	350 (1)	Не опр.
Мархинская	650 (3)	1250? (2)
Маршрутная — брекчия	600 (1)	Не опр.
Маршрутная — порфиновый кимберлит	550 (1)	Не опр.
Москвичка	500 (1)	Не опр.
Начальная	900 (1)	100 (1)
НИИГА, центральная часть	150 (1)	180 (1)
Октябрьская	680 (1)	90 (1)
Светлая	620 (3)	1120? (2)
Смежная	1600 (1)	100 (1)
Снежинка, западная часть	440 (3)	540 (2)
Снежинка, центральная часть	340 (1)	90 (1)
Снежинка, восточная часть	630 (1)	Не опр.
Сувенир	110 (1)	Не опр.
Сытыканская, северо-восточная часть	150 (3)	90 (1)
Юность	800 (1)	Не опр.
Среднее	550 (из 26)	790 (из 17)

Продолжение табл. 43

Трубка, порода	Sr	Ba
Далдынское поле		
Академическая	510? (2)	270 (1)
Аэросъемочная	200 (1)	1200 (1)
Геофизическая — брекчия	600 (1)	Не опр.
Геофизическая — порфиновый кимберлит	510 (4)	140 (2)
Дайковая — трубка	530 (1)	Не опр.
Дайковая — дайка	520 (1)	Не опр.
Дальняя — брекчия	390 (3)	520 (2)
Дальняя — порфиновый кимберлит	460 (3)	1000 (1)
Долгожданная	200 (1)	200 (1)
Зарница	820 (4)	600? (2)
Малютка	1200 (1)	Не опр.
Молодежная — брекчия	400 (1)	Не опр.
Полярная — порфиновый кимберлит	440 (2)	600? (2)
Сибирская (в целом)	580 (3)	500 (3)
Угадайка — брекчия	600 (1)	Не опр.
Угадайка — порфиновый кимберлит	230 (1)	2300 (1)
Удачная (разность не указана)	790 (1)	580 (1)
Удачная-Западная	610 (3)	450 (2)
Удачная-Восточная	620 (3)	590 (3)
Фестивальная	610 (3)	290 (2)
Якутская (в целом)	350 (4)	280? (2)
Среднее	530 (из 21)	630 (из 15)
Верхне-Мунское поле		
Верхняя	930 (1)	540 (1)
Заполярная	250 (3)	500 (1)
Зимняя	870? (2)	300 (1)
Комсомольская-Магнитная (в целом)	880 (2)	780 (2)
Легкая	1010? (2)	100 (1)
Новинка	520 (4)	550 (2)
Поисковая	320 (4)	160 (2)
Среднее (из 7)	680	420
Чомурдахское поле		
Артык	2900 (1)	Не опр.
Бортовая	1500 (3)	3000 (1)
Водораздельная	1200 (3)	5000 (1)
Дробленая	2300 (1)	Не опр.
Надежная	630 (2)	600 (1)
Светлая, ш. 71	2000 (3)	600 (1)

Трубка, порода	Sr	Ba
Уральская, ш. 2	1 000 (1)	Не опр.
Чомур, ш. 7	500 (2)	3000 (1)
Чомур, ш. 2	950 (3)	1000 (1)
Горняцкая (п.п.)	850 (1)	1400 (1)
Среднее	1380 (из 10)	2100 (из 7)

Омонос-Кутугунское поле

Ленинград	300 (1)	1650 (2)
Эгиэнтэй	21 700 (1)	2400 (1)
Аномалия 42, ш. 266 (п.п.)	500 (1)	1040 (2)
Аномалия 44, ш. 33 (п.п.)	2 000 (1)	4000 (1)
Аномалия 46, ш. 72 (п.п.)	Не опр.	2500 (1)
Аномалия 46а, ш. 76	920 (2)	1000 (1)
Аномалия 54, ш. 84 (п.п.)	8 000 (1)	2000 (1)
Аномалия 57, ш. 272 (п.п.)	Не опр.	1430 (1)
Аномалия 62н, ш. 251	1 000 (1)	Не опр.
Аномалия 64, ш. 279 (п.п.)	Не опр.	2700 (1)
Аномалия 64, ш. 281 (п.п.)	Не опр.	2240 (1)
Аномалия 65, ш. 276	530 (1)	270 (1)
Аномалия 68, ш. 284 (п.п.)	1 100 (1)	450 (1)
Среднее	3200 (из 9)	1800 (из 12)

То же, без трубки Эгиэнтэй	900 (из 8)	1750 (из 11)
----------------------------	------------	--------------

Огоньор-Моторчунское поле

Аэрогеологическая (в целом)	650 (2)	1040 (1)
Сестры, Аномалия «А», ш. 1	Не опр.	980 (1)
„ Аномалия «Б», ш. 5	Не опр.	1610 (1)
Среднее	—	1200 (из 3)

Мерчимденское поле

Безымьянная — брекчия	1 500 (1)	1970 (1)
Буратино	2 030 (1)	1120? (2)
Восток-5	Не опр.	1250 (1)
Восток-6	Не опр.	630 (1)
Крошка, ш. 234 и 235	Не опр.	840 (1)
Крошка, ш. 237	Не опр.	960 (1)
Львиная лапа, ш. 222	Не опр.	630 (1)
Львиная лапа, ш. 271	1 690 (1)	650 (2)

Трубка, порода	Sr	Ba
Надежда	1020 (1)	1160 (2)
Немагнитная, ш. 269 и 270	Не опр.	1750 (1)
Немагнитная, ш. 232	Не опр.	1680 (1)
Неуловимая	1860 (1)	920 (2)
Операторская-Южная, ш. 2	500 (1)	950 (2)
Подснежная, ш. 238	Не опр.	850 (1)
Подснежная, ш. 263	Не опр.	780 (1)
Солнечная (тело № 7), ш. 2	300 (1)	770 (2)
Флогопитовая — порф. кимб.	1520 (1)	1480 (2)
Флогопитовая — брекчия	Не опр.	2780 (1)
Тело № 6	Не опр.	1610 (1)
Среднее	1300 (из 8)	1200 (из 19)

Верхне-Молодинское поле

Алдыкан	570 (1)	270 (1)
Апатитовая	Не опр.	900 (1)
Гранатовая — серый кимберлит	1500 (1)	1610 (1)
Молодо — центральное тело, ш. 5	1200 (1)	1610 (1)
Молодо — юго-западное тело, ш. 7	2200 (1)	900 (1)
Унга — кимб. с миндалинами	2000 (2)	1430 (1)
Хмурая	1700 (1)	2500 (1)
Хризолитовая	2400 (1)	2800 (1)
Среднее	1650 (из 7)	1500 (из 8)

Толуопское поле

Закат	1000 (1)	630 (1)
Ява	70 (1)	360 (1)
Ясная	1300 (1)	630 (1)
Среднее (из 3)	790	540

Куойское поле — кимберлиты

Второгодница	1220 (3)	1250 (3)
Муза	400 (4)	220 (3)
Обнаженная	1000 (1)	500 (2)
Оливиновая	Не опр.	1970 (1)
Пятница	510 (1)	90 (1)
Русловая	240 (2)	320? (2)
Слюдянка	340 (1)	90 (1)
Среднее	620 (из 6)	630 (из 7)

Трубка, порода	Sr	Ba
Куойское поле—пикритовые порфириты		
Великан	1000 (4)	2150 (4)
Монтичеллитовая	830 (2)	960 (2)
Среднее (из 2)	920	1560
Лучаканское поле—кимберлиты		
Лыхчан, восточная часть	830 (1)	Не опр.
Лыхчан, западная часть, брекчия	1300 (1)	Не опр.
Лыхчан, западная часть, порф. кимб.	800 (1)	1000 (1)
Отрицательная, ш. 14060	1000 (1)	1790 (1)
Поздняя, ш. 14001	500 (1)	800 (1)
Среднее	890 (из 5)	1200 (из 3)
Лучаканское поле—пикритовые порфириты		
Каппа, ш. 14038	700 (1)	2500 (2)
Оригинальная	1200 (1)	1300 (1)
Тройное, ш. 14066	2100 (1)	Не опр.
Улахан-Лучакан	700 (1)	1400 (1)
Аномалия 75а, ш. 14003	500 (1)	1000 (1)
Аномалия 79а, ш. 14036	700 (1)	3400 (2)
Аномалия 80, ш. 14015	Не опр.	5900 (1)
Аномалия 89, ш. 14093	500 (1)	2000 (1)
Среднее (из 7)	910 (7)	2500 (7)
Среднее для кимберлитов и пикритовых порфиритов	900 (из 12)	2100 (из 10)
Средне-Куонамское поле		
Альфа (п.п.)	560 (1)	700 (1)
Бета (п.п.)	1000 (1)	600 (1)
Баргыдамалах-Северная (п.п.)	500 (1)	1800 (1)
Космическая	400 (1)	700 (1)
Небайыт (п.п.)	700 (1)	1000 (1)
Незабудка	300 (1)	700 (1)
Пермь (п.п.)	1360 (1)	2100 (1)
Среднее (из 7)	690	1090

Трубка, порода	Sr	Ba
Нижне-Куонамское поле		
Виктория (п.п.)	150 (1)	1700 (1)
Лесная (п.п.)	300 (1)	500 (1)
Майская	500 (1)	800 (1)
Мачала	1020 (1)	580 (1)
Салбахтах	1690 (1)	630 (1)
Тылкача (п.п.)	500 (1)	10 000 (1)
Улыбка, ш. 2227 (п.п. — «кайнотип.»)	800 (1)	1 000 (1)
Аномалия 22а (п.п. — «кайнотипный»)	1400 (2)	1 120 (2)
Аномалия 22б (п.п. — «кайнотипный»)	1260 (1)	8 400 (1)
Аномалия 141н (п.п.)	800 (2)	900 (2)
Аномалия 142н (п.п.)	1440 (1)	900 (1)
Аномалия 143 (п.п.)	930 (1)	990 (1)
Аномалия 151 (п.п.)	1100 (1)	450 (1)
Среднее (из 13)	910	2150
Средние данные по группам кимберлитовых полей Сибири		
Южные (центральные) поля:		
Мало-Ботуобинское, Алакитское, Далдынское, Верхне-Мунское	620 (из 60)	675 (из 45)
Северные поля, без Куойского	1065 (из 69)	1610 (из 81)
Куойское поле (кимберлиты)	620 (из 6)	630 (из 7)

Примечание. «п. п.» — пикритовые порфириты.

Исходя из генетической близости кальцита кимберлитов к кальциту карбонатитов, следовало бы ожидать прямую зависимость между содержаниями стронция и кальция. Однако связь стронция с калием, фосфором, алюминием оказалась заметно сильнее, чем связь его с кальцием.

На фоне общих закономерностей существуют отдельные аномалии, которые можно приписать «геохимической специализации» тех или иных кимберлитовых трубок. Так, например, оба изученных образца из трубки Веселая Алакитского поля обогащены стронцием: 1200 и 2300 г/т против 540 г/т (среднее по Алакитскому полю); низкий стронций (150 г/т) обнаружен в обоих образцах трубки НИИГА того же поля.

Средние содержания стронция (данные А. Д. Глазуновой) и некоторых других компонентов в кимберлитах разных полей Сибирской провинции (стронций, г/т, остальные, вес. %)

Поле или район	Sr	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	ΣFeO
Мало-Ботуобинское (9)	1090	2,40	1,43	17,52	0,47	0,62	5,95
Алакитское (30)	540	2,36	1,44	12,08	0,30	0,39	6,81
Далдынское (36)	660	2,77	2,06	11,04	0,42	0,44	7,35
Верхне-Мунское (46)	590	2,34	1,41	6,32	0,46	0,50	7,18
Чомурдахское (7)	1210	2,65	1,96	13,80	0,83	1,13	8,06
Укуитское (6)	1190	3,86	4,92	8,45	1,73	1,12	13,50
Приленский (10)	1390	2,73	2,47	21,68	1,24	0,82	8,60
Куойское, кимберлиты (3)	620	1,48	0,37	6,53	0,22	0,42	6,60
Мало-Куонамское (14)	1750	3,84	1,69	10,96	1,34	0,88	8,46
Лучаканское (4)	1310	3,76	3,28	11,65	1,47	0,95	10,02
Куонамский (5)	1250	3,83	2,72	15,56	1,27	0,78	9,35
Коэффициенты парной корреляции для Sr		0,72	0,42	0,46	0,80	0,77	0,10

Примечания. 1) после названия поля (района) в скобках указано число образцов; 2) при данном числе наблюдений (11) критические значения коэффициента корреляции:

при уровне значимости 5% — 0,602;
при уровне значимости 1% — 0,735

Ранее был сделан вывод, что целестин и стронцианит в кимберлитах Якутии не связаны с кимберлитовой магмой, а появляются в результате привноса вещества из вмещающих пород [40]. Этому представлению не противоречат определения изотопного состава серы в целестинах из кимберлитов [24]. Представления о седиментогенном происхождении минералов стронция справедливы и сегодня, и тем не менее мы говорим о глубинном происхождении стронция в кимберлитах. Противоречия здесь нет; следует лишь различать глубинный стронций, рассеянный в карбонате (отчасти — в апатите, перовските) связующей массы кимберлита, и седиментогенный целестин (и развивающийся по нему стронцианит), встреченный в некоторых трубках в виде крупных выделений. Какая-то часть седиментогенного стронция присутствовала в составе наших проб,

и не исключено, что именно этим объясняются относительно слабые связи между содержанием стронция и концентрацией ряда «щелочных» компонентов. Результаты определения стронция в кимберлитах и в осадочных породах сопоставлены со средними данными для отдельных кимберлитовых полей (рис. 14). Напрашивается вывод, что обломки осадочных пород, попадая в кимберлитовую брекчию и подвергаясь воздействию постмагматических растворов, несколько обогащаются стронцием, присутствующим в кимберлитовой связующей массе.

Из литературы по кимберлитам зарубежных провинций мы выбрали и включили в таблицы данные из тех работ, где одновременно даются цифры по стронцию и барию. В кимберлитах Африки (табл. 45) содержания стронция и бария примерно того же порядка, что и в кимберлитах Сибири. В целом данные по стронцию и барию в кимберлитах близки к оценкам, приведенным П. Г. Харрисом и Е. Миддлмостом [161], — 700 г/т Sr и 1000 г/т Ba.

Значительно хуже обстоит дело с оценкой среднего содержания стронция и бария в глубинных включениях из кимберлитов (табл. 46). В работе Баррета и Берга [130] и в работе С. Ф. Соболева с соавторами [105] даны значительно более высокие значения для стронция в перидотитах (138 и 200 г/т), чем в работах Б. Г. Лутца — 32,6 г/т, Дж. А. Филпотса с соавторами [191] — 27,1 г/т, В. Л. Гриффина и В. Рама Мурти [157] — 27,2 г/т.

Из глубинных минералов стронций накапливается в моноклинных пироксенах, однако их роль в кимберлитах невелика, и основными концентраторами стронция являются перовскит, апатит, кальцит. Барий иногда в больших количествах присутствует в слюдах. Кроме того, в кимберлитах Якутии встречается барит — в кальцитовых жилах и жеодах, иногда — в виде пластинча-

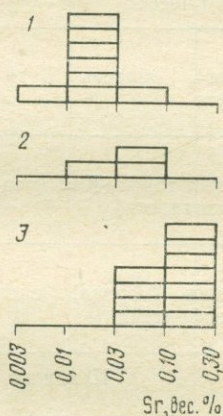


Рис. 14. Гистограммы содержания стронция:

1 — в нижнепалеозойских осадочных породах; 2 — в ксенолитах осадочных пород из кимберлитов; 3 — в кимберлитах Сибирской провинции

Содержание стронция и бария (г/т) в кимберлитах
зарубежных провинций (в числителе — пределы колебаний,
в знаменателе — среднее, в скобках — число образцов)

Местоположение	Sr	Ba	Источник
Кимберлиты Базутолен- да (Лесото)	$\frac{120-1100}{470 (14)}$	$\frac{130-2600}{740 (14)}$	[140]
Лесото, область Бута- Буте	$\frac{510-1145}{790 (3)}$	$\frac{380-1570}{830 (3)}$	[172, t. 58]
Лесото, трубка Као (раз- новидности)	$\frac{280-450}{360 (3)}$	$\frac{285-570}{440 (3)}$	[172, t. 34]
Южная Африка, силл Бенфонтейн	$\frac{995-2795}{1600 (4)}$	$\frac{1265-1560}{1400 (4)}$	[145]
Южная Африка, кимберлиты			
Трубка Премьер (разно- видности)	$\frac{183-492}{360 (3)^*}$	$\frac{211-1018}{580 (3)^*}$	[150]
Группа Коффифонтейн- Эбенезер	$\frac{350-603}{450 (3)^*}$	$\frac{229-379}{290 (3)^*}$	
Группа Белсбенк	$\frac{430-1230}{1000 (6)^*}$	$\frac{128-4900}{2670 (6)^*}$	
Сьерра-Леоне, образец с глубины 92 м То же, образец с глуби- ны 80 м	1690 (1) 250 (1)	1790 (1) 630 (1)	[149]
Канада, рудник Верхняя Канада	$\frac{710-760}{735 (2)}$	$\frac{1900-2000}{1950 (2)}$	[171]
Гренландия, Найгерд- ликаси	$\frac{1000-1300}{1150 (2)}$	$\frac{2300-3400}{2850 (2)}$	[148]

* Число изученных объектов.

**Содержание стронция и бария в глубинных включениях
из кимберлитов и в отдельных минералах, г/т**

Трубка, порода или минерал	Sr	Ba	Источ-ник
Трубка Робертс-Виктор, омфацил из эклогита	277	178	[191]
Там же, другой образец эклогита:			
омфацил	249	134	
гранат	8,25	43,7	
Там же, гранатовый перидотит:			
порода в целом	27,1	22,0	
диопсид	337	25,6	
гранат	5,50	34,1	[157]
ортопироксен	11,6	5,66	
слюда	34,4	1490	
Трубка Робертс-Виктор, эклогит:			
порода в целом	180	136	
клинопироксен	228; 230	33,0; 41,7	
гранат	7,58	28,6	
Трубка Бултфонтейн, эклогит:			
порода в целом	36,4	71,8	
клинопироксен	58,5; 59,4	28,6; 31,6	
гранат	4,24	46,9	
Там же, перидотит:			
порода в целом	27,2	24,0	
ортопироксен	16,8; 17,0	28,7; 29,5	
оливин	1,05; 1,13	0,761;	
		1,05	
гранат	8,34	7,96	

**Глубинные включения и минералы из кимберлитов Африки
(в числителе — пределы колебаний; в знаменателе — среднее
арифметическое и в скобках — число образцов)**

Перидотиты — породы в целом	$\frac{48-215}{138 (4)}$	Не опр.	[192]
Эклогиты — породы в целом	$\frac{98-414}{173 (6)}$	Не опр.	
Диопсиды из перидотитов	$\frac{500-900}{668 (5)}$	Не опр.	
Диопсиды — отдельные желваки	$\frac{88-540}{226 (4)}$	Не опр.	
Омфацилы из эклогитов	$\frac{154-484}{248 (9)}$	Не опр.	

Трубка, порода или минерал	Sr	Ba*	Источ- ник
Гранат-шпинелевые перидотиты Собственно эцлогиты	200 (7) 155 (6)	Не опр. Не опр.	[105]
Гранатовый перидотит трубки Обна- женная Эцлогит трубки Обнаженная	32,6 (9) 83 (14)	54 (9) 95 (14)	[68]

тых кристалликов внутри кавернозных псевдоморфоз по оливину (трубка Загадочная). По данным дробленых проб, содержание барита в кимберлитах обычно не превышает сотых долей процента, и обнаружен он далеко не во всех трубках. По-видимому, большая часть бария, присутствующего в кимберлитах, находится в слюде и отчасти — в карбонате связующей массы.

Кимберлиты по содержанию стронция и бария несколько превосходят базальты и долериты (450 г/т Sr и 300 г/т Ba) и близки к щелочно-ультраосновным и щелочно-основным породам (1000 г/т Sr и 900 г/т Ba). Наиболее обогащенные стронцием и барием разновидности кимберлитов приближаются к карбонатитам 3400 г/т Sr, 2300 г/т Ba [32, 155].

Изотопный состав стронция изучался в кимберлитах зарубежных провинций. Д. Р. Баррет и Г. В. Берг [192, pp. 619—635] определили для свежих базальтических кимберлитов исходное отношение Sr^{87}/Sr^{86} менее 0,705; для слюдяных кимберлитов и для измененных образцов — более высокие отношения (0,7051—0,7084). Высказано предположение, что отношение Sr^{87}/Sr^{86} первичной кимберлитовой магмы мелового возраста (по крайней мере — базальтической разновидности) — порядка 0,704; т. е. близко к отношениям, характерным для карбонатитов (0,702—0,705).

БОР

Сведения о содержании бора в отечественных кимберлитах имеются в статьях В. В. Буркова и Е. К. Подпориной [15] (спектральный анализ), В. А. Черепанова [122] (ИНАА) и И. П. Илупина с соавторами [29]

(спектральный анализ). Бор в кимберлитах определялся также В. Г. Хитровым и Р. В. Кортман (спектральный анализ). Результаты определений были любезно представлены нам для составления сводной таблицы (табл. 47).

Приходится констатировать, что сведения о содержании бора в кимберлитах Сибирской и зарубежных провинций фрагментарны и могут быть расценены пока только как предварительные. Бор в кимберлитовых породах распределен крайне неравномерно (от 10 до 300 г/т), причем наибольшей неоднородностью характеризуются кимберлитовые брекчии. Особенно широкий диапазон колебаний оказывается по данным В. Г. Хитрова и Р. В. Кортман, причем слабо серпентинизированные разности кимберлитов нередко содержат значительно больше бора, чем сильно серпентинизированные.

Кимберлиты по сравнению с ультраосновными породами, кларк которых 0,5—1 г/т, значительно обогащены бором. Содержание бора в ассоциирующих с кимберлитами пикритовых порфиритах того же порядка. Достаточно характерна разница по бороносности между «кайнотипными» (18 г/т) и «палеотипными» (178 г/т) пикритовыми порфиритами, что может служить подтверждением значительного привноса бора при серпентинизации [94]. Как известно, неизменные ультраосновные породы обнаруживают очень низкие содержания бора, порядка 1—10 г/т, в то время как в серпентинитах, по данным В. Л. Барсукова [34], количество B_2O_3 равно 400 г/т (среднее из 18 обр.). По данным Т. Г. Сахама (Sachama, 1952 г.), содержание бора в ультраосновных породах колеблется от 10 до 100 г/т, при этом наибольшие значения также отмечаются для наиболее серпентинизированных разностей. Исходя из сказанного интенсивная серпентинизация кимберлитовых пород является, по-видимому, одной из главных причин их аномально высокой бороносности.

Для кимберлитов зарубежных провинций имеются данные по трем телам Лесото (10—50 г/т В) и кимберлитам рудника Верхняя Канада (20—200 г/т В). Диапазон колебаний, как видим, и в этом случае достаточно широкий, что может быть связано с крайне неравномерным распределением бора в кимберлитах. Среднее содержание бора в кимберлитах зарубежных провинций по данным Харриса и Миддлмоста [161] равно

Таблица 47

Содержание бора в кимберлитах Сибирской провинции, г/т

Поле, трубка (№ обр.)	Бор	Источник
Мир, среднее (110, м-ц) Мало-Ботуобинское поле, среднее	83 50	[29]
Мир, Зарница, Удачная (среднее из 48)	149	[15]
Айхал, туф (А-271) Айхал, брекчия (А-390) Веселая (Вс-26)	70* 300* 200*	
Алакитское поле, среднее	94	[29]
То же, по нашим данным	166	
Геофизическая, порфи́ровая (ПК-3) Дальняя, порфи́ровая Дальняя, порфи́ровая (Дл-31) Долгожданная (Дл-7)	40* 10* 10* 100*	
Удачная-Восточная (среднее из 15)	144	[15, 29]
Далды́нское поле, среднее	30	[29]
То же, по нашим данным	56	
Заполя́рная (зп 4/4-24) Комсомольская-Магнитная (Мн-4) Новинка, среднее (Нв-8/3, Нв-6/3) Поисковая (Пс-4/4)	10* 200* 170* 20*	
Верхне-Мунское поле, среднее	60	[29]
То же, по нашим данным	92	
Светлая (Сл-71) Чомур (ч-7-114)	80* 100*	
Чомурдахское поле, среднее	80	[29]
То же, по нашим данным	87	

* Устное сообщение В. Г. Хитрова и Р. В. Кортман.

Продолжение табл. 47

Поле, трубка (№ обр.)	Бор	Источник
Аномалия 46 (Ук-76)	100*	
Омонос-Кутугунское поле, среднее	130	[29]
Второгодница (Вт-732)	100*	
Куойское поле, среднее	40	[29]
То же, по нашим данным	70	
Аномалия 89 Лыхчан-Западная (Лх-21-05)	50* 30*	
Поздняя (330069)	31	[122]
Лучаканское поле, среднее	40	[29]
То же, по нашим данным	38	
Аномалия 22А (9959)	6*	
Куонамский район, среднее	60	[122]
Среднее по центральным полям Среднее по северным полям	193 161	[29]
Среднее для кимберлитов Сибири по нашим дан- ным	115	
Пикритовые порфи́риты, ассоциирующие с кимбер- литами: палеотипные кайнотипные	178* 18*	
Среднее	98	

150 г/т; среднее содержание бора в кимберлитах по нашим данным (учитываются сведения по Сибирским и зарубежным кимберлитам) равно 96 г/т.

В. А. Черепанов [122] отмечает, что бесплюдные кимберлиты во всех случаях богаче бором по сравнению со слюдными разновидностями этих пород. Анализ имеющихся сведений по содержанию бора, помещенных в табл. 47, такой закономерности не выявляет. В то же время данные о содержании бора в центральных (Мало-Ботуобинском, Алакитском, Далдынском и Верхне-Мунском) (196 г/т) и северных кимберлитовых полях (161 г/т), как будто бы подтверждают сказанное, так как в северных полях заметно увеличивается количество слюдных кимберлитов. Но, с другой стороны, в этом же направлении в целом уменьшается и степень измененности кимберлитовых пород. По данным В. А. Черепанова [122], количество бора в кимберлитах пропорционально содержанию потерь при прокаливании, что, по его мнению, связано с количеством ювенильных газов, участвующих в образовании кимберлитовых пород.

Подчеркнем, что на данной стадии исследования представления о поведении бора в кимберлитах весьма противоречивы. Так, по данным В. А. Черепанова [122], кимберлиты по сравнению с меймечитами содержат больше бора, тогда как собранные нами данные показывают среднее содержание бора в кимберлитах Сибири 115 г/т, а в меймечитах 136 г/т. Противоречивы сведения и о борности текстурных разновидностей. В. А. Черепанов считает, что массивные разновидности кимберлитов по сравнению с эруптивными брекчиями обогащены бором, в то же время, по данным В. В. Буркова и Е. К. Подпориной [15], картина обратная. Противоречивость выводов может быть связана как с неоднородностью распределения бора в кимберлитовых породах, так и с малочисленностью анализов, выполненных в различных лабораториях и разными методами.

Можно лишь констатировать, что кимберлиты по сравнению с ультраосновными породами аномально бороносны, а наименее серпентинизированные разновидности этих пород по сравнению с сильно серпентинизированными обеднены бором.

Из минералов кимберлитов бор определялся в 3 образцах серпентина [14], где он содержится в количе-

стве от 25 до 242 г/т при среднем 66 г/т. В кимберлитах и меймечитах, аномально обогащенных бором, обнаружены датолит и данбурит [122].

Количество бора в ультраосновных включениях из кимберлитов определялось для Сибирской провинции и отражено в табл. 48, из анализа которой очевидно, что, во-первых, данные разных лабораторий в этом случае довольно хорошо совпадают и, во-вторых, ультраосновные включения так же, как и кимберлиты, по сравнению с другими ультраосновными породами, значительно (в 30 и более раз) обогащены этим элементом. Поскольку анализу, как правило, подвергаются наименее измененные образцы, можно заключить, что повышенная

Таблица 48

Содержание бора в глубинных включениях из кимберлитов
Сибирской провинции, г/т

Порода, трубка (№ образца)	Бор	Источник
Оливиниты, дуниты, перидотиты	100	[112]
Оливинит, Обнаженная (P-917)	100*	
Гранатовый оливинит, Новинка (P-503)	30*	
Гранатовые перидотиты, Обнаженная	100	[112]
Гранат-шпинелевые верлиты, Обнаженная	100	
Лерцолиты	100	
Гранатовые лерцолиты, верлиты	110	[105]
Шпинелевые оливиниты, дуниты	90	
Шпинелевые дунит-лерцолиты	90	
Шпинелевый перидотит, Удачная-Восточная (P-355)	70*	
Гранат-шпинель-диоксидовый эглогит	19	[105]
Эглогит	20	
Эглогит, Удачная-Восточная (P-358)	100*	
Алмазсодержащий эглогит	12	[112]
Среднее для глубинных включений	74	

* Устное сообщение В. Г. Хитрова и Р. В. Кортман.

бороносность глубинных включений и кимберлитов связана не только с серпентинизацией этих пород, но и обусловлена особенностями их первичного состава. По сравнению с кимберлитами во включениях бор распределен более равномерно, при этом наибольшей однородностью характеризуются перидотиты (интервал колебаний 70—100 г/т), а эклогиты менее однородны (12—100 г/т).

В. А. Черепановым [122] изучался изотопный состав бора в кимберлитах (табл. 49).

Таблица 49

Изотопный состав бора в кимберлитах *

Трубка, порода	№ образца	Содержание бора, г/т	V^{11}/V^{10}
Удачная (кимберлитовая брекчия)	33 281	125	4,107
Осенняя	33 471	595	4,120
Поздняя	33 069	31	4,119
Меймечит (Гулинская интрузия)	28 949	125	4,116
То же	28 958	31	4,123
” ”	31 349	250	4,114

* Определения изотопного состава производились во Всесоюзном институте техники разведки Ю. П. Шергиной и А. Б. Каминской.

Проведенные исследования показали, что кимберлиты и меймечиты имеют одинаковый изотопный состав бора и, по сравнению с базальтами, значительно обогащены тяжелым изотопом. Идентичность отношения V^{11}/V^{10} в кимберлитах и меймечитах свидетельствует, по-видимому, о том, что обогащение их V^{11} не зависит от особенностей формирования этих пород. Источник бора для групп пород, исходя из равенства отношения V^{11}/V^{10} , был, по-видимому, единым.

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИТРИЙ

Для кимберлитовых пород Сибири первые анализы РЗЭ были опубликованы В. В. Бурковым и Е. К. Подпориной [16]. В дальнейшем появилось еще несколько работ [82, 84, 96, 12, 2]. Исследования РЗЭ в африканских, индийских и северо-американских кимберлитах начались несколько позднее [172, 191, 186], но в послед-

нее время существенно расширились [181, 150, 167, 189, 193]. Одновременно ведется изучение РЗЭ в глубинных включениях из кимберлитовых пород [68, 198, 199, 2, 182].

Нами были выполнены анализы 27 проб кимберлитовых и родственных им пород Сибирской провинции. Анализы (с расшифровкой РЗЭ рентгено-спектральным методом) проводились в лаборатории ИМГРЭ С. М. Черногородовой и О. Ф. Сазоновой под руководством И. С. Разиной. Результаты этих и всех известных по литературе определений сведены в табл. 50. Всего в ней обобщены данные 71 анализа по сибирским и 98 — по зарубежным кимберлитовым и родственным им породам. Для зарубежных кимберлитов часто определяются не все РЗЭ, а пробы северо-американских кимберлитов весьма не представительны. Для Сибирской провинции нами вычислены средние содержания РЗЭ для различных полей, а средние для нее и для Африканской провинции вычислялись по всем трубкам. В тех случаях, когда сведений для вычисления средних мало, результаты в табл. 50 даются в скобках.

Иногда содержания РЗЭ заметно различаются в кимберлитах соседних трубок (например, Мир и Спутник). Можно видеть также некоторое увеличение содержания РЗЭ в кимберлитах северо-восточной части Сибирской платформы по сравнению с кимберлитами центральных районов, и значительное повышение концентраций РЗЭ в родственных кимберлитах породах (особенно карбонатитовых брекчиях) по сравнению с кимберлитами в целом. Такое явление уже отмечалось Л. С. Бородиным с соавторами [12]. Африканские и индийские кимберлиты в 1,2—1,3 раза богаче РЗЭ, чем сибирские и северо-американские; общая картина распределения РЗЭ для кимберлитов всех четырех провинций однотипна (рис. 15). Однако степень фракционирования лантаноидов, выражающаяся отношением La/Yb , в сибирских и американских кимберлитах больше (164—198) по сравнению с африканскими и индийскими (95—102). Таким образом, по количеству и степени фракционирования РЗЭ можно выделить две группы кимберлитов: гондванские и лавразийские.

Интересно отметить, что у средних составов кимберлитов отсутствует отрицательная аномалия европия, свойственная многим продуктам глубинных магм [2].

Содержания редкоземельных элементов и иттрия в кимберлитовых и родственных им породах, г/т

Поле, район	Трубка породы (№ образца)	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Сибирская провинция											
Кимберлиты											
Мало-Боту- обинское	Мир	9 [16, 82]	32,6	76,8	7,1	25,6	3,8	0,7	3,6	0,45	1,2
	Спутник (Б-5)	1 [a]	104,5	196,0	4,7	60,5	13,4	3,5	13,0	1,3	4,8
	Таежная (Б-4)	1 [a]	182	356	13	160,5	28,5	11,2	28,6	2,6	10,5
	Аномалия 21 (Б-6)	1 [a]	155	311	4,2	75,0	7,3	2,4	17,0	—	3,7
	Имени XXIII съезда КПСС (Б-7)	1 [a]	80,5	176	6,8	88,0	16,1	5,2	14,3	1,3	5,2
	Среднее		112,5	230,0	7,8	87,3	13,9	4,88	15,9	1,09	5,16
Алакитское	Айхал, брекчия	3 [82, 96]	58,2	130,7	7,7	41,3	7,1	2,03	5,5	8,1*	1,5
	Айхал, туф	3 [82, 96]	75,0	146,1	11,8	40,4	4,4	1,43	4,2	10,5*	0,5
	Айхал, среднее		66,6	138,4	9,7	40,9	5,75	1,73	4,85	9,3*	1,0
	Искорка (Д-19)	1 [a]	65,5	131	1,8	30,9	3,6	1,3	7,0	0,6	2,1
	Снежинка	1 [96]	3,7	8,2	4,4	—	0,2	—	0,5	Сл.*	—
	Сувенир (А-4)	1 [a]	106,5	219	3,4	54,0	11,8	4,3	10,0	—	2,2
	Сытыканская	1 [96]	74,5	178,5	19,6	58,3	9,4	—	12,8	20,3*	0,8
	Среднее		63,6	135,0	6,8	37,6	6,15	2,1	6,4	9,1*	1,2
Далдынское	Аэросъемочная (Д-18)	1 [a]	47,4	78,5	1,7	26,9	4,1	1,2	5,0	0,7	1,2
	Геофизическая	1 [96]	139,4	244,8	20,7	83,5	15,4	—	12,2	14,9*	—
	Дальняя, брекчия	3 [96]	56,4	104,1	3,1	28,9	5,2	1,6	6,6	7,3*	0,8
	Дальняя, порфиоров.	1 [96]	33,6	59,1	3,7	23,6	—	—	—	—	—
	Дальняя, среднее		45,0	81,6	3,4	26,3	2,6	0,8	3,3	3,65*	0,4
	Зарница	10 [a, 16, 96]	44,9	99,0	9,8	33,8	4,8	0,5	3,5	0,2	1,5
	Ленинградская	1 [96]	74,5	132,0	11,3	51,7	3,2	—	2,3	15,4*	0,6
	Удачная-Западная	5 [a, 2, 16]	68,0	145,2	13,0	54,8	6,9	1,25	5,0	0,3	2,1
	Удачная-Восточная	8 [a, 16]	47,8	115,7	11,7	43,1	6,4	0,8	3,8	—	1,6
	Якутская	2 [96]	39,9	80,5	11,8	30,9	2,2	—	1,25	5,25*	0,55
	Среднее		61,1	117,7	9,6	30,8	5,4	0,95	4,1	0,4	9,0
Верхне- Мунское	Заполярная	1 [96]	53,3	85,8	9,6	35,4	1,3	—	1,3	1,3*	—
	Новинка	1 [96]	44,6	122,6	6,7	44,6	—	—	—	4,5*	—
	Поисковая	1 [96]	6,7	19,7	6,4	—	0,6	—	—	0,6*	—
	Среднее		34,9	76,0	5,9	28,4	0,8	—	0,43	2,1*	—
Чомурдах- ское	Дайка Бортовая	1 [96]	479,3	1158	103,7	343	63,8	5,7	70,6*	2,3	
	Дайка Водораздельная	1 [96]	114,2	198,0	16,5	52,3	3,9	1,6	7,5*	—	
	Светлая	1 [96]	41,7	80,8	10,9	31,6	3,8	7,0	11,6*	0,4	
	Чомур	1 [96]	402,8	—	28,8	99,0	15,6	16,2	34,2*	1,2	
	Среднее		211,7	478,9	40,0	131,5	21,8	—	7,6	31,0*	1,0

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR+Y	La/Yb
-------------	-------------------------------	--------------------------------------	----	----	----	----	----	-----	---	-------	-------

Сибирская провинция

Кимберлиты

Мало-Боту- обинское	Мир	9 [16, 82]	Сл.	0,45	Сл.	0,55	Сл.	153	63	216	59
	Спутник (Б-5)	1 [a]	0,9	2,2	0,44	1,8	0,43	407,5	11,4	418,9	58
	Таежная (Б-4)	1 [a]	1,7	5,2	0,26	0,9	0,26	801,2	20,5	821,7	202
	Аномалия 21 (Б-6)	1 [a]	0,6	1,2	0,18	0,3	—	577,9	9,4	587,3	517
	Имени XXIII съезда КПСС (Б-7)	1 [a]	0,9	3,1	0,44	1,3	0,22	399,4	10,3	409,7	62
Среднее			0,80	2,49	0,22	0,76	0,12	502,92	25,8	528,72	148
Алакитское	Айхал, брекчия	3 [82, 96]	0,2	0,7	0,05	0,5	0,05	—	—	263,63	116
	Айхал, туф	3 [82, 96]	0,03	0,2	Сл.	—	—	—	—	294,56	—
	Айхал, среднее		0,1	0,45	0,03	0,25	0,025	—	—	279,09	266
	Искорка (Д-19)	1 [a]	0,3	0,8	0,10	0,3	0,05	245,4	5,2	250,6	437
	Снежинка	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	17	—
	Сувенир (А-4)	1 [a]	0,4	1,3	0,04	0,4	0,09	413,4	10,3	423,7	266
	Сытыканская	1 [96]	—	0,4	—	0,4	—	—	—	376	186
Среднее			0,16	0,53	0,03	0,27	0,03	—	—	268,97	236

Далдынское	Аэросъемочная (Д-18)	1 [a]	0,2	0,5	0,05	0,1	—	167,6	2,8	170,4	474
	Геофизическая	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	531	—
	Дальняя, брекчия	3 [96]	0,13	0,3	0,03	0,3	0,04	—	—	214,8	188
	Дальняя, порфиоров.	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	120	—
	Дальняя, среднее		0,07	0,15	0,02	0,15	0,02	—	—	167,46	300
	Зарница	10 [a, 16, 96]	0,21	0,44	0,02	0,72	0,02	199,41	10	210	62
	Ленинградская	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	291	—
	Удачная-Западная	5 [a, 2, 16]	0,28	0,7	0,01	0,3	0,02	298,86	12,6	311,46	52
	Удачная-Восточная	8 [a, 16]	0,03	0,3	0,01	0,2	—	231,44	5,7	237,14	239
	Якутская	2 [96]	—	—	—	—	—	—	—	172,35	—
Среднее			0,09	0,27	0,01	0,30	0,01	239,73	7,8	247,53	204

Верхне- Мунское	Заполярная	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	188	—
	Новинка	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	223	—
	Поисковая	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	34	—
	Среднее			—	—	—	—	—	—	—	148,53

Чомурдах- ское	Дайка Бортовая	1 [96]	—	2,3	—	—	—	—	—	2280	—
	Дайка Водораздельная	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	394	—
	Светлая	1 [96]	—	0,2	—	—	—	—	—	188	—
	Чомур	1 [96]	—	0,6	—	0,6	—	—	—	600	—
	Среднее			—	0,78	—	0,15	—	—	—	1000,23

Поле, район	Трубка, порода, (№ образца)	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Омонос-Кутунское	Ленинград (О-4) Эгиэнтей (О-5)	1 [a]	93,6	164	2,7	37,4	6,6	1,4	14,2	—	2,4
		1 [a]	136,6	312	10,8	152,5	25,6	8,7	27,3	3,1	8,7
	Среднее		115,1	238	6,75	94,95	16,1	5,05	20,75	1,55	5,55
Огоньор-Моторчунское	Аэрогеологическая	1 [96]	70,5	127,0	9,9	46,5	5,6	3,7		18,0*	0,8
Верхне-Молодинское	Унга	1 [96]	154,5	259,5	42,6	97,4	16,1	16,7		25,3*	3,7
Куойское	Муза (К-10) Обнаженная	1 [a]	46,7	85,9	—	20,8	—	0,9	5,4	—	0,9
		3 [a, 2, 68]	110,2	145,75	17,6	78,4	14,5	4,13	12,8	0,94	5,9
Среднее			80,0	115,8	8,8	49,6	7,25	2,5	9,1	0,47	3,4
Средне-Куонамское	Баргыдамалах-Южная (КМ-3)	1 [a]	93,5	217	3,8	61,4	7,8	2,6	11,3	1,3	3,1

Среднее для сибирских кимберлитов	Космическая (КМ-13) Незабудка	1 [a]	72,3	175,5	2,7	42,8	6,2	1,0	13,9	1,4	3,5
		1 [12]	94,2	159,5	15,5	73,2	8,5	2,6	6,3	0,9	3,4
	Среднее		86,7	184,0	7,3	59,1	7,5	2,07	10,5	1,2	3,33
Среднее для сибирских кимберлитов			85,2	179,5	13,5	65,7	9,7	2,76	10,27	0,85	2,07

Родственные кимберлитовые породы
(пикритовые порфириды, ингилиты)

Чомурдахское	Дайка Горняцкая	1 [82]	5,4	13,4	2,2	7,6	0,6	0,1		3,6*	0,1
Куойское	Дайка Великан Дайка Монтичеллитовая	3 [a, 2, 12]	235,3	402,7	25,6	137,9	19,2	3,9	20,4	1,67	8,17
		3 [12, 82, 84]	104,6	174,8	20,6	78,0	15,1	2,3	8,1	1,4	5,0
Среднее			170,0	288,75	23,1	108,0	17,15	3,1	14,25	1,54	6,59
Средне-Куонамское	Баргыдамалах-Северная (КМ-4) Бета (автолит) (КМ-6) Небайбыт	1 [a]	61,5	114,1	2,1	32,7	7,0	2,9	8,6	0,8	2,9
		1 [a]	98,0	204	9,2	122,6	20,2	8,3	23,4	2,1	7,3
		1 [12]	110,0	187,4	17,5	82,5	9,4	2,7	6,8	0,9	3,5
Среднее			89,8	168,5	9,6	79,3	12,2	4,6	12,9	1,27	4,57
Нижне-Куонамское	Предмайская	1 [12]	340,1	615,0	60,2	214,0	24,3	5,1	14,1	—	5,1

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR+Y	La/Yb
Омонос- Кутугунское	Ленинград (О-4)	1 [a]	0,7	1,4	0,18	0,7	0,14	325,4	6,9	323,3	134
	Эгизентей (О-5)	1 [a]	2,4	4,7	0,47	2,4	0,32	695,6	34,7	730,3	57
	Среднее		1,55	3,05	0,33	1,55	0,23	510,51	20,8	531,31	74
Огоньор- Моторчун- ское	Аэрогеологическая	1 [96]	—	—	—	—	—	—	—	282	—
Верхне-Мо- лодинское	Унга	1 [96]	—	0,6	—	0,6	—	—	—	617	432
Куйское	Муза (К-10)	1 [a]	0,2	0,4	0,07	0,2	—	161,5	5,1	166,6	233
	Обнаженная	3 [a, 2, 68]	0,35	2,37	0,18	1,57	0,09	394,78	31,1	425,88	70
	Среднее		0,28	1,39	0,13	0,89	0,05	279,66	18,1	297,76	90
Средне- Куонамское	Баргыдамалах- Южная (КМ-3)	1 [a]	0,65	1,3	0,13	0,4	0,09	404,4	8,3	412,7	234

	Космическая (КМ-3)	1 [a]	0,7	1,4	0,14	0,4	0,14	322,1	10,7	332,8	181
	Незабудка	1 [12]	1,1	0,7	—	1,8	0,3	368	—	—	89
	Среднее		0,82	1,13	0,09	0,87	0,18	363,71	9,5	373,21	100

Среднее для сибирских кимберлитов			0,32	1,47	0,07	0,43	0,05	371,89	14,5	386,39	198
-----------------------------------	--	--	------	------	------	------	------	--------	------	--------	-----

Родственные кимберлиты породы (пикритовые порфириты, ингилиты)

Чомурдах- ское	Дайка Горняцкая	1 [82]	—	—	—	—	—	—	—	33	—
Куйское	Дайка Великан	3 [a, 2, 12]	1,33	4,73	0,10	3,23	0,47	864,7	38,2	902,9	73
	Дайка Монтичеллитовая	3 [12, 82, 84]	0,87	0,90	—	2,75	0,66	415,08	—	—	38
	Среднее		1,10	2,82	0,05	2,99	0,57	640,01	38	678	57
Средне- Куонамское	Баргыдамалах- Северная (КМ-4)	1 [a]	0,5	5,5	0,11	0,8	0,11	239,7	7,5	247,2	77
	Бета (автолит) (КМ-6)	1 [a]	1,6	3,1	0,11	0,4	0,05	500,4	9,9	510,3	245
	Небайбыт	1 [12]	1,2	1,2	—	3,2	0,7	428	—	—	59
	Среднее		1,10	3,27	0,07	1,47	0,29	388,94	8,7	397,64	61
Нижне- Куонамское	Предмайская	1 [12]	—	2,1	—	—	—	1280	—	—	—

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Ингилий- ское	Нина (И-5)	1 [a]	102,5	212	7,2	108,8	15,0	3,6	21,4	1,6	6,8
	Дайка № 6 (И-8)	1 [a]	180	347	14,1	215,5	26,6	12,4	35,3	3,8	14,4
	Среднее		141,25	279,5	10,65	162,15	20,8	8,0	28,35	2,7	10,6
Арбара- стахское	Дайка	1 [12]	190,4	427,0	63,6	238,2	41,0	13,9	32,0	1,4	11,7
Бело-Зи- минское	Дайка 1	1 [12]	116,2	200,6	17,2	69,5	7,1	1,7	5,0	—	1,7
	Дайка 2	1 [12]	169,1	290,3	29,4	140,5	16,4	4,9	13,0	1,7	8,9
	Среднее		142,65	245,45	23,3	105,0	11,75	3,3	9,0	0,85	5,3
Среднее для пикритовых порфиритов и ин- гилитов			142,8	265,7	22,4	120,7	16,8	7,43	17,10	1,40	6,30

Карбонатитовые породы

Куонамский район	Яблочко (Км-26)	1 [a]	512	978	27,8	337	58,2	13,0	65,0	4,4	15,3
	Аномалия 70 (Км-31)	1 [a]	1335	2541	36,9	445	—	14,0	61,0	—	9,4
	Среднее		923,5	1759,5	32,4	391	29,1	13,5	63,0	2,2	12,35

Африканская провинция

Претория	Премьер	16 [94, 150, 157]	33,2	55,3	9	20	4,4	1,2	5	0,44	Не опр.
	Свартрюгген	4 [181]	245	461	Не опр.		23,4	4,76	Не опр.	2,04	Не опр.
Кимберлей	Беллсбанк, жила Уотер	10 [150, 167]	108	198	Не опр.	70	8,1	2,02	Не опр.	1,00	Не опр.
	Беллсбанк, жила Боббеджан	6 [150, 167]	315	523	Не опр.	152	17,3	4,13	Не опр.	2,02	Не опр.
	Беллсбанк, жила Мэйн	3 [150, 167]	293	500	Не опр.	146	16,2	3,79	Не опр.	1,79	Не опр.
	Весселтон	6 [181]	153	363	Не опр.	Не опр.	20,6	5,38	Не опр.	2,05	Не опр.
	Де-Бирс	2 [19i]	Не опр.	107,5	Не опр.	97,8	14,1	3,80	4,74	Не опр.	4,14
	Дюойтспен Робертс-Виктор	1 [94] 1 [191]	200 Не опр.	510 207	36 Не опр.	134 91,8	11,6 13,5	0,28 3,61	5,3 Не опр.	—	4,27
Ягерсфон- тейн	Коффифонтейн	10 [150, 167]	48,9	102	Не опр.	35	5,5	1,54	Не опр.	0,83	Не опр.
	Эбенецер-Западная	5 [150, 167]	54,9	91	Не опр.	40	5,7	1,45	Не опр.	0,93	Не опр.
	Эбенецер-Восточная	5 [150, 167]	83,9	57	Не опр.	80	8,5	2,17	Не опр.	1,09	Не опр.

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR+Y	La/Yb
Ингилийское	Нина (И-5)	1 [a]	1,0	3,1	0,26	0,5	0,21	484,0	19,4	503,4	205
	Дайка № 6 (И-8)	1 [a]	2,9	6,7	0,96	2,9	0,48	863,1	36,4	899,5	62
	Среднее		1,95	4,9	0,61	1,7	0,35	666,31	27,9	694,21	83
Арбарастахское	Дайка	1 [12]	—	2,9	2,9	—	—	1025	—	—	—
Бело-Зиминское	Дайка 1	1 [12]	—	—	—	—	—	419	—	—	—
	Дайка 2	1 [12]	1,9	3,1	0,3	4,0	0,5	684	—	—	42
	Среднее		0,95	1,55	0,15	2,0	0,25	551,5	—	—	71
Среднее для пикритовых порфиритов и ингилитов			0,94	2,78	0,40	1,48	0,27	606,50	22,3	628,8	96

Карбонатитовые породы

Куонамский район	Яблочко (Км-26)	1 [a]	4,4	9,5	0,87	2,2	0,66	2024,4	53,2	2077,6	232
	Аномалия 70 (Км-31)	1 [a]	4,7	4,7	0,94	1,9	—	4454,6	97,7	4552,3	702
	Среднее		4,55	7,10	0,91	2,05	0,33	3241,49	75,5	3316,99	450

Африканская провинция

Претория	Премьер	16 [94, 150, 157]	0,67	0,87	Не опр.	0,90	0,19	132	11,3	143	37
	Свартрюгенс	4 [181]	Не определялись			1,63	0,18	—	—	—	139
Кимберлей	Беллсбанк, жила Уотер	10 [150, 167]	Не определялись			1,0	0,11	—	9	—	108
	Беллсбанк, жила Боббеджан	6 [150, 167]	Не определялись			2,1	0,20	—	18	—	150
	Беллсбанк, жила Мэйн	3 [150, 167]	Не определялись			1,7	0,16	—	17,5	—	172
	Весселтон	6 [181]	Не определялись			1,48	0,18	—	—	—	103
	Де-Бирс	2 [191]	Не опр.	1,30	Не опр.	0,78	0,136	—	—	—	—
	Дютойтспен	1 [94]	0,63	1,38	0,22	1,20	0,16	900,66	12,9	913,67	166
	Робертс-Виктор	1 [191]	Не опр.	1,36	Не опр.	0,842	0,146	—	—	—	—
Ягерсфонтейн	Кофффонтейн	10 [150, 167]	Не определялись			0,9	0,14	—	13	—	54
	Эбенезер-Западная	5 [150, 167]	Не определялись			1,0	0,14	—	16	—	55
	Эбенезер-Восточная	5 [150, 167]	Не определялись			0,9	0,14	—	15	—	93

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Винбург	Монастерн	1 [181]	97	243	He опр.	12,6	3,70	He опр.	1,30	He опр.	
Лесото- Восточное	Коенаненг	1 [186]	47,1	88,0	He опр.	57,0		He определялись			
	Лайпланенг	1 [186]	130,0	219,0	He опр.	102,0		He определялись			
	Мотае	1 [186]	49,5	49,5	He опр.	55,0		He определялись			
Замбия, Луангва	Ак-1	1 [189]	127,5	230,9	He опр.	101,4	17,5	4,5	12,7	1,42	He опр.
	Ак-2	1 [189]	147,9	286,9	He опр.	118,7	17,9	5,3	17,2	1,61	He опр.
Танзания	Мвадуи Млахан	2 [94, 152] 1 [152]	34,5 106	69 196	7,45 22	35,5 78	4,68 10,6	1,13 2,8	5,62 7,7	0,09 0,83	— He опр.
?	Муллерсвли	2 [150, 167]	174	254	He опр.	150	15,4	3,49	He опр.	0,72	He опр.
Среднее для африканских кимберлитов			128,8	229,0	(18,6)	86,9	12,6	3,06	(8,32)	1,21	(1,68)
Индийская провинция											
Панна	Инота Маджгаван	3 [193]	134	329,3	He опр.	164,4	32,0	7,4	14,4	2,30	He опр.
		4 [193]	171	421,4	He опр.	191,8	27,5	5,8	13,1	1,76	He опр.
	Среднее		152,5	375,35	He опр.	178,1	29,75	6,6	13,75	2,03	He опр.
Ананта-Пур	Вайракарур Латтаварам	2 [193]	130	233,8	He опр.	87,4	16,6	4,05	7,55	1,70	He опр.
		3 [193]	76	134,5	He опр.	49,0	He опр.	2,1	4,13	0,84	He опр.
	Среднее		103	184,15	He опр.	68,2	16,6	3,08	5,84	1,27	He опр.
Среднее для индийских кимберлитов			127,8	279,75	He опр.	123,15	23,18	4,84	9,80	1,65	He опр.
Северо-Американская провинция											
О-в Сомер- сет (Канада)	Дайка (?)	1 [18]	63	107	He опр.	5,6	1,28	He опр.	0,44	He опр.	
Фредерик- шаб (Грен- ландия)	Силл Мидтернаес Дайка Нигердликасик Силл Пирамидефельд Дайка Зондре-Айсорток	2 [189]	69,8	153,15	He опр.	80,9	12,95	3,35	6,05	0,92	He опр.
		1 [189]	128,1	233,5	He опр.	90,1	13,9	3,3	8,1	0,86	He опр.
		1 [189]	62,6	149,1	He опр.	71,5	14,4	3,0	5,7	0,80	He опр.
		1 [189]	74,7	122,9	He опр.	39,3	5,6	1,4	<2,0	0,23	He опр.
	Среднее		83,8	164,6	He опр.	70,4	11,7	2,76	5,2	0,70	He опр.
?	Айзон-Крик	1 [181]	114	226	He опр.	10,3	2,69	He опр.	0,66	He опр.	
Среднее для северо-американских кимберлитов			86,9	165,9	He опр.	75,65	9,2	2,24	5,2	0,60	He опр.
Среднее для кимберлитов в целом			107,0	213,6	16,05	87,9	13,7	3,23	8,40	1,08	1,88

Поле, район	Трубка, порода (№ образца)	Количество анализов (источник)	Но	Ег	Тм	Уб	Lu	ΣTR	У	ΣTR + У	La/Уб
Бинбург	Монастери	1 [18]	Не определялись			0,99	—	358,6	—	—	98
Лесото- Восточное	Коенаненг	1 [186]	Не определялись			—	—	—	<50	—	—
	Лайпланенг	1 [186]	Не определялись			—	—	—	<50	—	—
	Мотае	1 [186]	Не определялись			—	—	—	<50	—	—
Замбия, Луангва	Ак-1	1 [189]	Не опр.	0,26	0,97	Не опр.	—	—	—	—	131
	Ак-2	1 [189]	Не опр.	0,24	1,33	Не опр.	—	—	—	—	111
Танзания	Мвадуи Млахан	2 [94, 152]	0,16	1,03	0,27	2,47	0,37	162,27	9,7	171,97	14
		1 [152]	0,503	1,34	0,14	0,71	0,087	426,74	13,1	439,84	149
?	Муллерсвли	2 [150, 167]	Не определялись			1,8	0,22	—	18	—	97
Среднее для африканских кимберлитов			(0,49)	(1,21)	(0,23)	1,26	0,17	493,53	16,5**	510,03	102

Индийская провинция

Панна	Инота Маджгаван	3 [193]	Не определялись			1,92	0,16	—	—	—	70
		4 [193]	Не определялись			1,40	0,16	—	—	—	122
	Среднее	Не определялись			1,66	0,16	—	—	—	92	

Ананта-Пур	Вайракарур Латтаварам	2 [193]	Не определялись			1,27	0,13	—	—	—	102
		3 [193]	Не определялись			0,75	0,10	—	—	—	103
	Среднее	Не определялись			1,01	0,12	—	—	—	102	
Среднее для индийских кимберлитов			Не определялись			1,34	0,14	—	—	—	95

Северо-Американская провинция

О-в Сомерсет (Канада)	Дайка (?)	1 [18]	Не определялись			0,45	—	—	—	—	140	
Фредерикшаб (Гренландия)	Силл Мидтернаес	2 [189]	Не опр.	0,1	0,55	—	—	—	—	—	127	
	Дайка Нигердли-кастик	1 [189]	Не опр.	—	0,68	<0,3	—	—	—	—	189	
	Силл Пирамидефьелд	1 [189]	Не опр.	—	0,56	—	—	—	—	—	112	
	Дайка Зондре-Айсорток	1 [189]	Не опр.	—	<0,05	—	—	—	—	—	—	
	Среднее	Не опр.			0,02	0,45	—	—	—	—	187	
?	Айзон-Крик	1 [181]	Не опр.			0,68	0,08	—	—	—	168	
Среднее для северо-американских кимберлитов			Не опр.			0,02	0,53	0,08	—	—	—	164
Среднее для кимберлитов в целом			0,41	1,34	0,14	0,89	0,11	455,93	15,5	471,43	120	

Примечания. 1. В графе 3 в скобках буквой «а» обозначены данные авторов (лаборатория ИМГРЭ). 2. Курсивом размечены трубки, содержащие значительную примесь песчаного материала; данные по ним при подсчете средних не учитывались.

* Вместе с иттрием.

** При подсчете среднего содержания иттрия использованы также данные Фергюсона и др. (Ferguson а. о., 1973 г.).

Для некоторых анализов кимберлитов ранее такая аномалия отмечалась [150, 181]. Для основных пород аномалия Eu связана с отсадкой плагиоклаза. В кимберлитовой магме кристаллизации плагиоклаза не происходит и, по предположению Р. Х. Митчела и А. О. Брунфельта

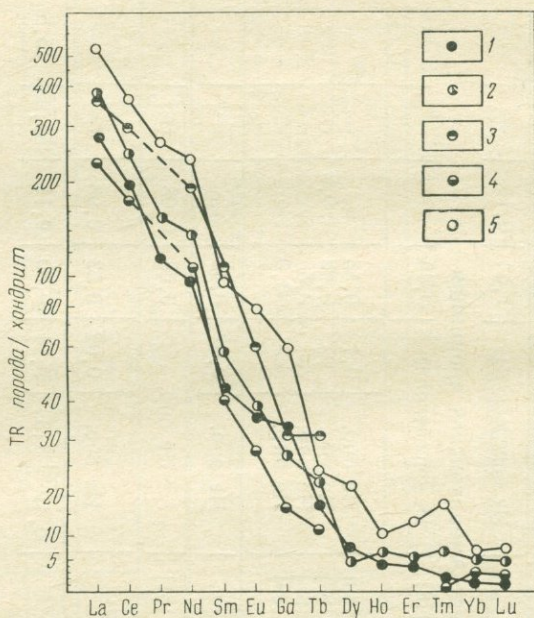


Рис. 15. Распределение редкоземельных элементов в кимберлитовых и родственных им породах; нормализация по хондриту произведена по данным [2].

1 — кимберлиты Сибири; 2 — кимберлиты Африки; 3 — кимберлиты Индии; 4 — кимберлиты Северной Америки; 5 — пикритовые порфириты и ингилиты Сибири

[181], отрицательная аномалия Eu может быть связана с кристаллизацией перовскита, либо флогопита.

Отрицательная аномалия иттербия отмечена для некоторых проб из африканских трубок Де-Бирс, Кимберлей и Премьер [150, 191].

Данные о РЗЭ в глубинных включениях из кимберлитовых трубок суммированы в табл. 51. Содержание в них лантаноидов по сравнению с кимберлитами почти на два порядка меньше (особенно для легких РЗЭ) и близко к содержаниям соответствующих элементов в

хондритах. При этом предположение В. Г. Лутца [68] о том что гранатовые перидотиты из кимберлитовых трубок содержат больше РЗЭ, чем шпинелевые, не подтверждается. Повышенная концентрация РЗЭ оказывается свойственной только пироксенитам (в том числе гранатовым) и измененным перидотитам (не включенным в табл. 51).

Для ультрабазитов, включенных в кимберлиты, характерна еще одна особенность: при близости содержания в них РЗЭ к хондритовым здесь практически отсутствует фракционирование лантаноидов. Это указывает на «примитивизм» ультраосновных включений и дает возможность рассматривать их в качестве малодифференцированных представителей вещества верхней мантии.

Эклогиты более богаты РЗЭ, и в их составе наблюдается аномалия Eu. Положительная аномалия празеодима обусловлена лишь одним анализом для трубки Дютойспен (37 г/т).

К настоящему времени накоплен довольно обширный материал по содержанию и распределению РЗЭ в минералах кимберлитовых пород [172, 156, 82, 84, 14, 48, 121, 7, 150, 17, 192]. Результаты анализов сведены в табл. 52, 53.

Минералами-концентраторами РЗЭ в кимберлитах являются перовскит и апатит, в которых лантаноиды суммарно составляют 1—2%. Этим, в частности, объясняется повышенное содержание РЗЭ в родственных кимберлитам пикритовых порфиритах и ингилитах, в которых количество перовскита может достигать 5% и более.

Некоторое количество РЗЭ содержится в пироксенах (до 350 г/т). В остальных минералах кимберлитов количество РЗЭ весьма невелико, не превышает первых грамм на тонну и нередко находится за пределами чувствительности анализа. В частности, в цирконах из кимберлитов содержания РЗЭ на два порядка ниже, чем в цирконах из других пород [82, 48].

В родственных кимберлитам карбонатитовых брекчиях дополнительное количество РЗЭ присутствует в пирохлоре (больше 1%) и монаците [48].

Имеется несоответствие в распределении РЗЭ между минералами-концентраторами и кимберлитовыми породами в целом. В перовските и апатите доля церия среди

Содержания редкоземельных элементов и иттрия в ультраосновных и эклогитовых включениях из кимберлитовых трубок и в слагающих их минералах, г/т

Порода или минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	
Гранатовые ультрабазиты												
Гранатовые перидотиты	Обнаженная Булфонтейн	1 [68 2] 2 [191, 182]	3,00 2,95	4,65 4,72	0,57 Не опр.	2,85 2,48	1,73 0,47	0,08 0,11	2,41 0,265	(0,29) Не опр.	1,69 0,113	
	Весселтон Робертс-Виктор Ягерсфонтейн	1 [182] 1 [191] 1 [182]	1,69 Не опр. 0,55	Не определялись 2,14 Не определялись	Не определялись [Не опр.] Не определялись	0,33 1,18 0,13	0,263 0,13	Не определялись 0,089 Не определялись	0,32 [Не опр.] Не определялись	Не определялись [Не опр.] Не определялись	0,423	
	Среднее		2,05	3,84	(0,57)	2,17	0,58	0,09	1,00	(0,29)	0,74	
Гранатовые пироксены	Обнаженная	2 [68, 2]	10,58	20,40	2,57	8,00	1,97	0,33	2,46	9,68*	1,57	
Гранаты	Булфонтейн	3 [182, 198]	Не опр.	0,860	Не опр.	3,48	1,29	0,761	2,29	Не опр.	1,58	
	Весселтон Ликобонг	1 [182] 1 [198]	Не опр.	Не определялись 3,85	Не опр. [Не опр.]	3,59	1,11 1,94	Не определялись 0,831	2,44	Не опр. [Не опр.]	1,42	
	Матсоку Мотае Робертс-Виктор Таба-Путсоа Ягерсфонтейн	1 [182] 1 [198] 1 [191] 2 [198] 1 [182]	Не определялись Не опр. Не опр. Не опр. Не определялись	— 1,19 1,26	Не опр. Не опр. Не опр.	1,33 2,93 2,44	0,74 0,912 1,73 1,68 1,27	Не определялись 0,483 0,841 0,81	2,11 3,71 3,05	Не опр. Не опр. Не опр.	3,36 7,11 4,04	
	Среднее		Не опр.	1,43	Не опр.	2,76	1,33	0,74	2,72	Не опр.	3,50	
	Клино-пироксены	Булфонтейн	3 [182, 198]	14,25	20,00	Не опр.	20,65	3,91	1,02	1,86	Не опр.	0,577
	Весселтон Ликобонг	1 [182] 1 [198]	11,94 Не опр.	Не определялись 24,3	Не определялись [Не опр.]	4,97 15,2	3,70	Не определялись 1,06	Не определялись 1,89	Не опр. [Не опр.]	0,545	
	Матсоку Мотае	1 [182] 1 [198]	3,47 Не опр.	Не определялись 3,02	Не определялись [Не опр.]	3,43 6,02	1,51	Не определялись 0,533	Не определялись 1,69	Не опр. [Не опр.]	1,33	
	Робертс-Виктор Таба-Путсоа	1 [191] 2 [198]	Не опр. Не опр.	15,3 6,43	Не опр. [Не опр.]	17,3 5,28	3,65 1,41	0,975 0,504	2,53 1,36	Не опр. [Не опр.]	1,43 0,848	
	Ягерсфонтейн	1 [182]	1,87	Не определялись	Не определялись	1,64	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	
	Среднее		7,88	13,81	Не опр.	12,85	3,03	0,82	1,87	Не опр.	0,97	
	Ортопироксен	Робертс-Виктор	1 [191]	Не опр.	1,39	Не опр.	0,646	0,117	0,029	Не опр.	Не опр.	0,052
	Флогопиды	Булфонтейн	1 [150]	0,9	15,8	Не опр.	0,6	0,15	Не опр.	0,15	Не опр.	Не опр.
Робертс-Виктор		1 [191]	Не опр.	0,995	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	Не определялись	

Порода или минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR+Y	La/Yb
Гранатовые ультрабазиты											
Гранатовые перидотиты	Обнаженная Булфонтейн	1 [68, 2]	0,57	0,97	0,28	0,70	0,07	19,86	—	—	4,3
		2 [191, 182]	Не определялись			0,143	Не опр.	—	—	—	20,6
	Весселтон Робертс-Виктор Ягерсфонтейн	1 [182]	Не определялись			0,11	Не опр.	—	—	—	15,4
		1 [191]	Не опр.	0,204	Не определялись		8	—	—	—	—
	1 [182]	Не определялись		0,05	Не опр.	—	—	—	—	11,0	
	Среднее		(0,57)	0,59	(0,28)	0,25	(0,07)	13,09	—	—	8,2
Гранатовые пироксены	Обнаженная	2 [68, 2]	—	1,59	—	1,77	0,13	—	—	61,05	6,0
Гранаты	Булфонтейн	3 [182, 198]	Не опр.	0,646	Не опр.	1,256	Не опр.	—	—	—	—
	Весселтон	1 [182]	Не определялись			1,09	Не опр.	—	—	—	—
	Ликобонг	1 [198]	Не опр.	0,356	Не опр.	0,355	Не опр.	—	—	—	—
	Матсоку Мотае Робертс-Виктор Таба-Путсоа Ягерсфонтейн	1 [182] 1 [198] 1 [191] 2 [198] 1 [182]	Не определялись		2,36	Не опр.	2,45	Не опр.	—	—	—
			Не опр.	3,50	Не опр.	1,96	0,273	—	—	—	—
			Не опр.	2,63	Не опр.	2,42	Не опр.	—	—	—	—
			Не определялись		1,60	Не опр.	—	—	—	—	—
	Среднее		Не опр.	1,90	Не опр.	1,45	(0,27)	—	—	—	—
Клино-пироксены	Булфонтейн	3 [182, 198]	Не опр.	0,096	Не опр.	0,0612	Не опр.	—	—	—	233
	Весселтон	1 [182]	Не определялись			0,03	Не опр.	—	—	—	398
	Ликобонг	1 [198]	Не опр.	0,0718	Не опр.	0,0236	Не опр.	—	—	—	—
	Матсоку	1 [182]	Не определялись			0,12	Не опр.	—	—	—	29
	Мотае	1 [198]	Не опр.	0,365	Не опр.	0,195	Не опр.	—	—	—	—
	Робертс-Виктор	1 [191]	Не опр.	0,329	Не опр.	0,093	0,010	—	—	—	—
	Таба-Путсоа	2 [198]	Не опр.	0,298	Не опр.	0,187	Не опр.	—	—	—	—
	Ягерсфонтейн	1 [182]	Не определялись			0,03	Не опр.	—	—	—	62
	Среднее		Не опр.	0,232	Не опр.	0,093	(0,010)	—	—	—	85
Ортопироксен	Робертс-Виктор	1 [191]	Не опр.	0,023	Не определялись		—	—	—	—	
Флогопиты	Булфонтейн	1 [150]	Не определялись			<0,10	Не опр.	—	—	—	>9
	Робертс-Виктор	1 [191]					Не определялись		—	—	—

Порода или минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Шпинелевые ультрабазиты											
Лерцолит	Обнаженная Робертс-Виктор	1 [68] 1 [191]	1,43 Не опр.	2,95 7,65	0,49 Не опр.	1,61 3,09	0,67 0,412	— 0,102	1,29 0,229	1,43* Не опр.	0,16 0,136
Эклогитовые породы											
Эклогиты	Обнаженная Дютойтспен Робертс-Виктор	5 [68, 2] 1 [94] 3 [191, 94]	4,51 7,4 4,2	7,00 37 8,52	0,98 5,4 1,6	3,87 20 5,18	1,71 4,9 1,26	0,11 1,44 0,431	1,61 4,7 1,49	5,53* 0,75 0,25	0,92 — 1,20
	Ягерсфонтейн	1 [191]	Не опр.	10,9	Не опр.	6,37	1,08	0,353	0,893	Не опр.	0,568
	Среднее		5,37	15,86	2,66	8,86	2,24	0,58	1,92	0,50	0,67
Гранат	Робертс-Виктор	2 [191]	Не опр.	1,70	Не опр.	1,46	0,85	0,407	1,79	Не опр.	3,21
Клино-пироксен	То же	2 [191]	Не опр.	6,49	Не опр.	5,61	1,14	0,342	0,878	Не опр.	0,561

Порода или минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR+Y	La/Yb
Шпинелевые ультрабазиты											
Лерцолит	Обнаженная Робертс-Виктор	1 [68] 1 [191]	0,06 Не опр.	1,09 0,029	0,03 Не опр.	1,4 Не опр.	0,70 0,0026	— —	— —	13,31 —	1,0 —
Эклогитовые породы											
Эклогиты	Обнаженная Дютойтспен Робертс-Виктор	5 [68, 2] 1 [94] 3 [191, 94]	0,39 1,33 0,45	1,56 2,9 1,49	0,27 0,46 0,22	1,49 2,3 1,62	0,51 — 0,208	— 88,58 28,12	— 23 8,8	30,46 111,58 36,92	3,0 3,2 2,6
	Ягерсфонтейн	1 [191]	Не опр.	0,256	Не опр.	0,193	0,031	—	—	—	—
	Среднее		0,72	1,55	0,32	1,40	0,19	42,84	15,9	58,74	3,8
Гранат	Робертс-Виктор	2 [191]	Не опр.	2,66	Не опр.	2,95	0,526	—	—	—	—
Клино-пироксен	То же	2 [191]	Не опр.	0,207	Не опр.	0,125	0,019	—	—	—	—

* Вместе с иттрием.

Содержания редкоземельных элементов и иттрия в минералах кимберлитовых пород, г/т

Минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	
Кимберлиты												
Перовскит	Аэросъемочная	1 [7]	1792	3393	794	1995	279	64	318	—	31	
	Баргыдамалах-Южная	1 [7]	1105	2414	503	1605	261	49	271	—	25	
	Космическая	1 [7]	802	1781	161	1088	189	75	238	—	38	
	Маршрутная	1 [7]	2900	4800	1720	3100	356	97	389	—	52	
	Молодо	1 [7]	2765	7253	He опр.		703	79	814	—	120	
	Поисковая	1 [48]	3815	6840	1250	3200	457	—	759	—	245	
	Полярная	1 [7]	1905	3608	He опр.		300	76	335	—	63	
	Туманность	1 [7]	1000	2198	418	1092	249	77	290	—	62	
	Де-Бирс	1 [156]										He определялись
	Койду	1 [156]										He определялись
Среднее			2010,5	4036,0	807,7	2013,3	349,3	64,6	426,8	—	79,5	
Пикритовые порфиры												
Перовскит	Альфа	1 [48]	2405	4 630	600	2140	508	—	825	—	192	
	Дайка Великан	3 [84, 7]	4535	10 030	2125	4640	539,7	73	493	243,5*	190	
	Дайка Монтичеллитовая	1 [84]	3220	8 020	753	3760	233	—	149	266*	199	
	Тело Оригинальное	1 [84]	2030	6 150	460	2190	238	—	248	115*	69	
Среднее			3040,8	7208,3	984,5	3157,5	379,7	(18,3)	431,4	208,2*	162,5	
Кимберлиты												
Апатит	Амакинская-Южная	1 [17]									He определялись	
	Дайка Бортовая	1 [17]	390	1870	218	715	141	He опр.	144		42*	
	Коллективная	1 [17]	472	1567	243	700	164	He опр.	144		130*	
	Маричка	1 [48]	539	1159	157	624	115	22	82	—	53	
	Русловая	2 [48, 17]	1855	4757	537	2495	351	84	250	74	106	
	Светлая	2 [48, 17]	564	1511	183	735	111	39	90	He опр.	84	
	Снежинка	2 [48, 17]	464	1116	137	628	145	40	136	23	87	
	Хризолитовая	3 [48, 121, 17]	878	1750	234	1018	231	46	178	3	48	
	Среднее			737,4	1961,4	249,3	987,8	179,7	46,2	146,7	25	75,6
	Пикритовый порфирит											
Апатит	Куонамский р-н	1 [48]	706	1542	181	860	147	34	128	—	83	
Карбонаты												
Апатит	Бетехтина	1 [17]									He определялись	
	Гамбурцева	1 [17]									He определялись	
	Аномалия 39	1 [17]	662	1225	188	780	89	He опр.	80	46*	15	
	Аномалия 47/2-А	1 [17]	1658	2396	431	1171	120	He опр.	90		114*	
Среднее			1160	1806	310	976	105	He опр.	85		85*	
Гранат	Премьер	1 [167]	0,25	0,8	He опр.	0,91	0,58	He определялись				
Диопсид	Монастери	1 [182]	97	243	He опр.	12,58	3,70	He опр.	1,30	He опр.		
Хром-диопсиды	Премьер	1 [167]	2,4	18,4	He опр.	1,44	0,47	He опр.	0,21	He опр.		
	Африканские трубки	16 [167]	7,5	34,0	He опр.	3,02	0,96	He опр.	0,52	He опр.		
	Мир	1 [82]	2,2	2,4	0,26	1,6	1,6	1,35		12,5*		

Минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	Но	Er	Tm	Yb	Lu	ΣTR	Y	ΣTR + Y	La/Yb
---------	--------	--------------------------------	----	----	----	----	----	-----	---	---------	-------

Кимберлиты

Перовскит	Аэросъемочная	1 [7]	—	31	—	4	—	8 701	299	9 000	448
	Баргыдамалах-Южная	1 [7]	—	52	—	4	—	6 289	211	6 500	276
	Космическая	1 [7]	—	28	—	5	—	4 412	288	4 700	161
	Маршрутная	1 [7]	—	65	—	7	—	13 186	514	13 700	415
	Молодо	1 [7]	—	65	—	6	—	—	595	—	461
	Поисковая	1 [48]	—	—	—	—	—	15 566	734	16 300	—
	Полярная	1 [7]	—	37	—	4	—	—	472	—	476
	Туманность	1 [7]	—	42	—	7	—	5 441	259	5 700	143
	Де-Бирс	1 [156]	Не определялись		—	—	—	20 550	—	—	—
Койду	1 [156]	Не определялись		—	—	—	26 600	—	—	—	
Среднее			—	40,0	—	4,63	—	9832,33	421,5	10 253,83	435

Пикритовые порфириты

Перовскит	Альфа	1 [48]	—	—	—	—	—	11 300	568	11 868	—
	Дайка Великан	3 [84, 7]	—	51,7	—	11,5	—	—	—	22 932,4	394
	Дайка Монтичеллитовая	1 [84]	—	—	—	—	—	—	—	16 600	—
	Тело Оригинальное	1 [84]	—	—	—	—	—	—	—	11 500	—
Среднее			—	(12,9)	—	(2,9)	—	—	—	15 607	—

Кимберлиты

Апатит	Амакинская-Южная	1 [17]	Не определялись					—	—	2 395	—
	Дайка Бортовая	1 [17]	—	—	—	—	—	—	3 520	—	
	Коллективная	1 [17]	—	—	—	—	—	—	3 420	—	
	Маричка	1 [48]	—	34	—	25	—	2 810	256	3 060	21,6
	Русловая	2 [48, 17]	—	42	—	21	—	10 572	605	11 177	88,4
	Светлая	2 [48, 17]	—	31	—	20	—	3 368	400	3 768	28,2
	Снежинка	2 [48, 17]	—	19	—	14	—	2 809	304	3 136	33,2
	Хризолитовая	3 [48, 121, 17]	—	16	—	8	—	4 410	264	4 674	110
	Среднее			—	26,4	—	17,6	—	4453,1	365,8	4818,9

Пикритовый порфирит

Апатит	Куонамский р-н	1 [48]	—	49	—	30	—	3 760	340	4 100	23,5
--------	----------------	--------	---	----	---	----	---	-------	-----	-------	------

Карбонатиты

Апатит	Бетехтина	1 [17]	Не определялись					—	—	3 420	—
	Гамбурцева	1 [17]	Не определялись					—	—	4 710	—
	Аномалия 39	1 [17]	—	—	—	—	—	—	3 080	—	
	Аномалия 47/2-А	1 [17]	—	—	—	—	—	—	5 980	—	
Среднее									4 527	—	

Гранат	Премьер	1 [167]	Не определялись		3,1	0,44	—	—	—	—	0,57
--------	---------	---------	-----------------	--	-----	------	---	---	---	---	------

Диопсид	Монастери	1 [182]	Не определялись		0,985	—	—	—	—	—	98,5
---------	-----------	---------	-----------------	--	-------	---	---	---	---	---	------

Хром-диопсид	Премьер	1 [167]	Не определялись		Не опр.		—	—	—	—
	Африканские трубки	16 [167]	Не определялись		Не опр.		—	—	—	—
	Мир	1 [82]	0,25	1,1	0,25	8,1	0,65	—	—	32

* Вместе с иттрием.

Содержания редкоземельных элементов и иттрия в минералах кимберлитовых пород

Минерал	Трубка	Количество анализов (источник)	Суммарные содержания TR, г/т, для алмаза мг/т
Флогопит	Светлая	1 [82]	21*
Пикроильменит	Сибирские трубки	3 [82]	<8*
Цирконы	Мир	5 [82, 48]	4,0*
	Дружба (Оленекский район)	1 [82]	40,0*
	То же	1 [48]	<25*
Кальцит	Зарница	1 [14]	320
Серпентин	Зарница	1 [14]	150
Алмазы	Премьер	13 [192]	0,15
	Финш	9 [192]	0,18
	Ягерсфонтейн	10 [192]	0,24
	Среднее		0,19

* Вместе с иттрием.

лантаноидов значительно меньше (35—40%) чем в кимберлитах, где церий составляет не менее 50% от суммы редких земель. Вероятно, определенная часть Се концентрируется в другой минеральной фазе — скорее всего в слюде.

Отношение La/Yb в перовскитах из кимберлитов весьма высоко (в среднем 435) и существенно превышает это отношение в самих кимберлитах. Это можно рассматривать как свидетельство поздней кристаллизации перовскита в условиях очень высокой щелочности остаточного расплава, обогащенного наиболее основным из редкоземельных элементов — лантаном.

В апатите из кимберлитов отношение La/Yb значительно ниже (23,5) и даже меньше, чем в кимберлитах. Это подтверждает правомерность представлений И. П. Илупина и В. Ф. Кривоноса о том, что апатит является глубинным минералом кимберлитов.

Содержание РЗЭ в кимберлитовых породах значительно превышает концентрации этих элементов во всех ультраосновных (0,х г/т) и основных (95—130 г/т) породах [81, 205]. Близки они только к щелочным базальтоидам, распределение в которых РЗЭ аналогично распределению их в кимберлитах. Но даже по сравнению с щелочными базальтоидами кимберлиты содержат РЗЭ больше. При этом РЗЭ в кимберлитах характеризуются очень высокой долей (90—95%) цериевой группы [16]. По этим признакам кимберлиты могут быть сопоставлены только с перовскитсодержащими ультрабазиитами из щелочно-ультраосновных комплексов с карбонатами.

Резкая обогащенность РЗЭ в кимберлитах легкими элементами, выражающаяся в высоком отношении La/Yb , может быть объяснена механизмом селективного плавления мантийного вещества. Степень обогащенности выплавляемой магмы теми или иными элементами зависит от коэффициента распределения элемента между жидкой и кристаллическими фазами и от степени плавления пиролита. Для РЗЭ подсчеты были выполнены Р. Х. Митчелом и А. О. Брунфельтом [181] на основании экспериментально определенных коэффициентов с использованием известной формулы П. Гаста. Ими было показано, что отношение La/Yb равное 100—140 в кимберлитах может быть получено в результате 0,3—0,9%-ного плавления исходного мантийного вещества с хондритовым соотношением РЗЭ. Уменьшение этого коэффициента является признаком большей степени плавления пиролита, как это и имеет место в действительности для щелочно-базальтоидных пород и базальтоидов нормального ряда.

ТОРИЙ И УРАН

Первые сведения о содержании тория и урана в кимберлитах приведены А. Холмсом (Holmes, 1936 г.). Определения выполнены радиохимическим методом и к настоящему времени устарели. Данные об этих элемен-

тах в отечественных кимберлитах имеются в нескольких работах [1, 5, 69, 59, 12], а также в материалах А. П. Акимова, любезно предоставившего их нам. Содержание урана и тория в кимберлитах Сибири определялось методом гамма-спектрометрии, нейтронной активации и химическим путем.

В сводную таблицу (табл. 54) помещены данные А. П. Акимова и Г. С. Семенова [1], Б. Г. Лутца, И. Г. Минеевой [69] и А. Н. Комарова и И. П. Илупина [59], так как у них сходимость результатов хорошая. Л. С. Бородин и др. [12] приводят более высокие значения как по торию, так и по урану, особенно высокие для Мало-Ботуобинского поля; здесь, по-видимому, вкралась систематическая аналитическая ошибка.

Содержание радиоактивных элементов в кимберлитовых породах зарубежных провинций отражено в табл. 55.

Анализ таблиц 54 и 55 позволяет сделать следующие выводы.

Концентрация тория и урана увеличивается к окраинным северо-восточным кимберлитовым полям Сибирской провинции.

Кимберлиты центральных районов характеризуются наиболее низкими содержаниями урана, тория и калия. Правда, в Мало-Ботуобинском поле содержание калия несколько повышено по сравнению с Далдынским и Алакитским полями.

Тенденция увеличения концентрации радиоактивных элементов от центральных районов к окраинным — северо-восточным сопряжена, с одной стороны, с увеличением калия в кимберлитах окраины платформы, а с другой, — с появлением и увеличением количества разностей, обогащенных перовскитом и апатитом.

Так, повышенные концентрации тория и урана в кимберлитах Верхне-Молодинского поля, по-видимому, обусловлены повышенным содержанием перовскита в некоторых трубках (Гранатовая) и апатита (Хризолитовая) в других, а также наложенным процессом карбонатизации в кимберлитах отдельных тел. Это поле характеризуется устойчиво повышенными содержаниями тория и величинами торий-уранового и калий-уранового отношений.

Аномально повышенные содержания радиоактивных элементов и калия наблюдаются в трубке Загадочная

Далдынского поля, на что уже обращали внимание Л. С. Бородин и др. [12].

Резко обогащены радиоактивными элементами карбонатиты Нижне-Куонамского поля (Th 50,0; U 8,3 г/т), к сожалению представленные в нашей коллекции единственной аномалией.

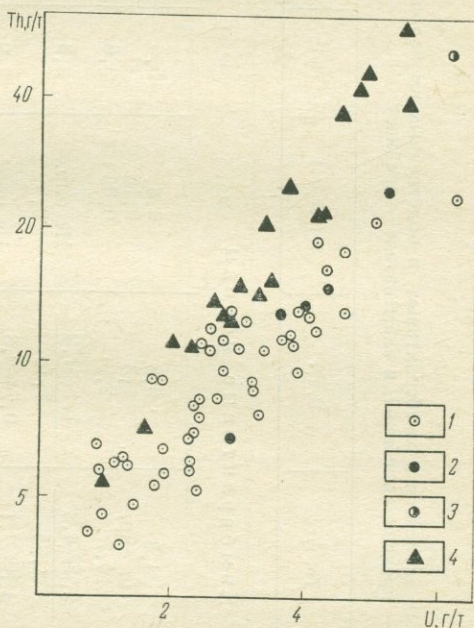


Рис. 16. Распределение урана и тория в кимберлитах (без Куойского поля).

1 — кимберлиты Сибирской провинции; 2 — пикритовые порфириды, сопряженные с ними; 3 — карбонатиты, сопряженные с ними; 4 — кимберлиты Африки

Щелочные базальтоиды Минусинской котловины и Онежского полуострова характеризуются низкими концентрациями тория и урана, причем в первом случае оказывается аномально низким уран, а во втором — торий. Правда, в силу малочисленности выполненных анализов по этим объектам выводы могут быть только предварительными.

Торий-урановое отношение для кимберлитовых пород колеблется в широких пределах и заметно увеличивается от центральных полей к окраинным, северо-восточным (рис. 16), достигая для пикритовых порфиритов (жила Великан, жила Монтичеллитовая, соответственно) 8,3 и 12,4, что вызвано резким увеличением тория в этих разностях. Калий-урановое отношение ведет себя

Содержание радиоактивных элементов в кимберлитовых и родственных им породах
(в числителе — пределы колебаний, в знаменателе — среднее)

Поле, трубка, № образца	Th, г/т	U, г/т	K (вес. %)	Th/U	K/U	Источник
Кимберлитовые породы						
Малоботуобинское						
Амакинская	4,5	0,8	0,8	5,6	1,1	[5]
Жила Таежная, Т-3/1	He опр.	1,8	0,15	—	0,08	[59]
Имени XXIII съезда КПСС	10,7	2,9	0,06	3,6	0,02	[5]
Интернациональная, ЛК-6, б/н	$\frac{3,4-4,3}{3,85}$	$\frac{1,1-1,2}{1,15}$	He опр., 0,8	3,3	0,7	[5, 69]
Мир, ЛК-16, б/н	$\frac{4,8-7,1}{5,95}$	$\frac{0,7-0,8}{0,75}$	He опр., 0,4	7,9	0,54	[5, 69]
Спутник	4,1	0,6	1,8	6,8	3,0	[5]
Таежная	6,5	0,7	0,8	9,3	1,1	[5]
Среднее	5,93	1,24	0,7	6,08	0,93	
Моркокинское поле						
Моркока, БМ-62, б/н	He опр., 11,3	$\frac{2,1-4,1}{3,7}$	$\frac{0,05-0,05}{0,05}$	3,6	0,016	[5, 59]
Алакитское						
Айхал, ЛК-14, б/н	$\frac{7,6-10,7}{9,15}$	$\frac{1,7-1,8}{1,75}$	He опр., 0,23	5,2	0,013	[5, 69]
Веселая	10,1	3,2	0,25	3,1	0,08	[5]
Искорка	5,9	2,2	0,2	2,7	0,09	[5]
Кира	6,9	2,2	0,1	3,1	0,05	[5]
Коллективная, ш-1	He опр.	3,6	0,15	—	0,04	[59]
Лира	7,3	3,1	0,23	2,4	0,07	[5]
Мархинская, ш-1	He опр.	2,3	0,09	—	0,04	[59]
Маршрутная, ш-1	He опр.	2,7	0,13	—	0,05	[59]
Начальная	8,2	2,3	0,20	3,6	0,09	[5]
Смежная	10,5	2,4	0,15	4,4	0,06	[5]
Снежинка-Западная, ш-38	He опр.	2,4	0,28	—	0,12	[59]
Сытыканская, скв. 26/84, б/н	He опр., 6,6	$\frac{1,4-3,1}{2,25}$	$\frac{0,10-0,20}{0,15}$	3,0	0,06	[5, 59]
Сувенир	11,5	2,4	0,1	4,8	0,04	[5]
Юность	5,1	2,3	0,1	2,2	0,04	[5]
Среднее	8,12	2,25	0,17	3,45	0,07	
Далдынское						
Геофизическая	13,0	4,0	0,46	3,2	0,11	[5]
Дальняя	9,0	2,9	0,1	3,1	0,04	[5]
Загадочная	20,2	5,0	0,6	4,0	0,12	[5]
Зарница, ЛК-9, б/н	$\frac{5,7-10,3}{8,0}$	$\frac{1,0-3,4}{2,2}$	He опр., 0,06	3,6	0,03	[5, 69]

Поле, трубка, № образца	Th, г/т	U, г/т	K (вес. %)	Th/U	K/U	Источник
Молодежная, ш-13	He опр.	2,3	0,13	—	0,06	[59]
Осенняя	6,0	1,3	0,3	4,6	0,23	[5]
Сибирская, ш-7	He опр.	4,3	0,02	—	0,004	[59]
Удачная (в целом)	5,7	1,8	He опр.	3,2	—	[69]
Удачная-Восточная	7,5	2,3	0,20	3,3	0,08	[5]
Удачная-Западная, 206/184, б/н	He опр., 9,6	<u>1,8—3,4</u> 2,6	<u>0,31—0,35</u> 0,33	3,7	0,13	[5, 59]
Удачная-Западная (автолит)	He опр.	1,8	0,41	—	0,23	[59]
Якутская, ш-23, б/н	He опр., 6,4	<u>1,6—2,0</u> 1,8	<u>0,02—0,08</u> 0,05	3,6	0,03	[5, 59]
Среднее (без Загадочной)	8,15	2,48	0,20	3,54	0,10	
Верхне-Мунское						
Заполярная, Л2-Ш-11	He опр.,	<u>1,4—5,2</u>	<u>0,03—0,42</u>	3,9	0,06	[5, 59]
Л-2-Ш-4	10,3	2,7	0,17			
Зимняя	12,6	4,6	0,54	2,7	0,12	[5]
Комсомольская	9,6	3,8	1,3	2,5	0,34	[5]
Легкая	12,7	4,8	0,3	2,6	0,06	[5]
Новинка	8,7	3,0	0,8	2,9	0,26	[5]
Поисковая, Л6-Ш-2	He опр.	2,0	0,20	—	0,10	[59]
Среднее	10,8	3,5	0,55	2,9	0,16	

Чомурдахское						
Светлая	12,0	4,2	0,18	3,0	0,04	[5]
Снежинка	13,5	4,8	1,2	2,9	0,25	[5]
Чомур, Ш-2, б/н	He опр., 10,0	<u>1,1—2,8</u> 1,95	<u>0,14—1,67</u> 1,40	5,0	0,71	[5, 59]
Среднее	11,8	3,65	0,93	3,6	0,33	
Омонос-Кутугунское						
Ленинград, ЛК-29	11,4	2,6	He опр.	4,4	—	[69]
Эгиэнтэй, ЛК-30	21,0	2,2	He опр.	9,5	—	[69]
Среднее	16,2	4,4	He опр.	6,9	—	
Верхне-Молодинское						
Гранатовая	11,83	2,08	0,57	5,7	0,27	[5]
Хризолитовая	22,39	8,57	1,03	2,6	0,12	[5]
Чамайа	21,68	2,03	0,47	10,6	0,23	[5]
Среднее	18,6	4,19	0,69	6,3	0,21	
Куойское						
Второгодница	18,0	1,1	0,6	16,0	0,54	[5]
Муза, 802	He опр.	1,0	0,20	—	0,20	[59]
Осенняя	20,3	3,8	0,5	5,3	0,13	[5]

Поле, трубка, № образца	Th, г/т	U, г/т	K (вес. %)	Th/U	K/U	Источник
Обнаженная, ЛК-17, б/п	$\frac{16,0-20,85}{18,42}$	$\frac{2,7-1,6}{2,5}$	He опр., 0,2	8,5	0,09	[5, 69]
Русловая ОЛ-52, б/п	5,3; не опр.	$\frac{1,4-1,9}{1,65}$	$\frac{0,11-0,12}{0,11}$	3,2	0,06	[5, 59]
Среднее	21,22	2,3	0,39	9,0	0,18	
Среднее для кимберлитов	11,46	2,82	0,46	5,01*	0,28	

Пикритовые порфириты

Куойское Великан, ЛК-205, б/п	$\frac{30,0-30,0}{30,0}$	$\frac{3,6-3,6}{3,6}$	He опр. 0,8	8,3	0,22	[5, 69]
Монтичеллитовая	35,3	2,8	0,3	12,4	0,10	[5]
Лучаганское Аномалия 89, Ш-14093	He опр.	4,4	0,28	—	0,06	[59]
Куонамский район Бета Аномалия 22а, Ш-9959	13,0 He опр.	3,5 4,2	1,06 1,21	3,7 —	0,30 0,29	[5] [59]

Аномалия 54	25,0	6,0	1,1	4,2	0,18	[5]
Аномалия 83	6,8	2,7	0,83	2,4	0,30	[5]
Аномалия 90н, Ш-2227	He опр.	5,7	1,06	—	0,12	[59]
Аномалия, 141н Ш-11710	He опр.	4,0	0,69	—	0,17	[59]
Среднее	14,9	4,4	0,90	3,4	0,20	
Ингилийское Нина, ЛК-27	10,3	1,3	He опр.	7,9	—	[69]
Среднее для пикритовых порфиритов	13,8	3,9	0,90	4,5	0,20	

Карбонатиты

Нижне-Куонамское Аномалия 32	50,0	8,3	1,83	6,0	2,20	[5]
---------------------------------	------	-----	------	-----	------	-----

Щелочные базальтоиды

Минусинская котловина Бараджувльская, БРЖ-11 Тергешская, ТРГ-1	8,5 6,0	0,2 0,2	1,8 1,0	42,5 30	9,0 5,0	[5] [5]
Онежский полуостров Куртаево Львозеро	0,9 1,0	1,85 0,27	1,4 0,6	0,05 4,0	0,75 2,2	[5] [5]

Содержание радиоактивных элементов в кимберлитовых породах
зарубежных провинций (в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Район, трубка (число образцов)	Th, г/т	U, г/т	K, вес. %	Th/U	K/U	Источник
Африканская провинция						
Базальтоидные кимберлиты						
Кимберлей						
Кимберлей (2)	10,7—11,0	2,86—2,69	Не опр.	3,9	—	[184]
	10,8	2,78				
Булфонтейн (13)	7—18	1,6—4,4	1,1—2,1	3,5—5,4	0,6	[160]
	12,5	2,7	1,62	4,7		
Дютойтопен (3)	10—11	2,1—2,2	0,6—1,3	4,8—5,1	0,4	[160]
	10,8	2,2	0,95	4,9		
Ле-Бирс (4)	8—22	1,3—5,0	0,3—1,3	4,3—5,0	0,3	[160]
	14,2	3,1	0,80	4,6		
Весселтон (5)	7—11	1,4—2,0	1,5—2,0	4,7—6,2	—	[160]
	9	1,7	1,7	5,4		
Ягерсфонтейн						
Ягерсфонтейн (12)	9—21	1,1—4,0	0,7—2,2	3,8—6,1	0,60	[160, 184]
	15,6	3,33	1,61	4,7		
Корфифонтейн (ОФС)						
Корфифонтейн (14)	8,6—20	2,0—4,0	0,3—1,3	4,7—6,1	0,31	[160, 192]
	13,3	2,7	1,01	5,4		
Премьер (7)	6,1—8,2	1,2—1,7	Не опр.	3,6—5,8	—	[192]
	7,1	1,5		4,7		
Премьер (4)	4,7—6,7	0,6—1,1	Не опр.	5,0—8,5	—	[192]
	5,5	0,8		6,9		
То же (4)	4,8—5,7	0,6—1,0	Не опр.	5,1—9,5	—	[192]
	5,3	0,8		6,6		
Эбенецер-Западный (5)	13,4	1,6	Не опр.	8,4	—	[192]
Эбенецер-Восточный (5)	15,0	2,8	Не опр.	5,4	—	[192]
Марквард ОФС						
Монастери (1)	13,5	2,6	1,01	5,1	0,39	[160]
Лесото, ЮАР, (17)	—	0,7—2,5	—	—	—	[169]
		1,4				
Среднее для базальтоидных кимберлитов	11,23	2,04	1,26	5,44	0,43	[169]
Слюдяные кимберлиты						
Родезия, Лохард, Бишоф ОФС						
Веселс силл (3)	20—24	3,9—5,2	0,7—1,0	4,0—6,6	0,18	[169]
	22,1	4,6	0,84	4,8		

Район, трубка (число образцов)	Th, г/т	U, г/т	K, вес. %	Th/U	K/U	Источник
Робертс-Виктор (8)	$\frac{30-54}{43,7}$	$\frac{4,0-7,1}{5,1}$	$\frac{1,8-4,7}{3,34}$	$\frac{5,7-10,7}{8,5}$	0,65	[169]
Жила Южная (2)	$\frac{23-25}{24,2}$	$\frac{2,8-4,2}{3,5}$	$\frac{2,1-2,5}{2,34}$	$\frac{9,7-11,1}{6,9}$	0,69	[169]
Западный Беркли, группа Белбенк Ньюлендс (6)	$\frac{23-38}{33,8}$	$\frac{2,5-4,4}{3,8}$	$\frac{0,9-1,5}{1,15}$	$\frac{7,9-9,7}{9,0}$	0,30	[169]
Белбенк (1)	57,9	6,2	1,37	9,3	0,22	[169]
Жила Уотер (10)	13,9	2,5	Не опр.	5,6	—	[192]
Жила Боббеджан (6)	46,4	5,3	Не опр.	8,8	—	[192]
Муллерсвли (1)	22,0	4,3	Не опр.	5,1	—	[192]
О.Ж.382 (3)	39,2	6,7	Не опр.	5,9	—	[192]
Де-Бруйн	630,0	15,0	Не опр.	42,0	—	[192]
Сьерра Леоне Конду № 1 (2)	$\frac{25,7-24,8}{25,3}$	$\frac{3,92-3,25}{3,58}$	Не опр.	7,1	—	[192]
Лесото, ЮАР (17)	—	$\frac{0,7-2,5}{1,4}$	—	—	—	[169]

Лесото, ЮАР (10)	—	$\frac{3,1-12,2}{6,1}$	—	—	—	[169]
Среднее для слюдяных кимберлитов (без Де-Бруйн, ОЖ-381)	37,9	4,70	1,80	7,1	0,40	
США						
Мерфрисборо (Арканзас)	$\frac{9,8-10,1}{10,0}$	$\frac{2,31-2,15}{2,23}$	Не опр.	4,5	—	[184]
Округ Эллиот (Кентукки)	$\frac{4,4-4,3}{4,3}$	$\frac{1,02-1,08}{1,05}$	Не опр.	4,1	—	[184]
Среднее для кимберлитов США	7,1	1,64		4,3		
Индия						
Панна (2)	$\frac{12,1-12,0}{12,0}$	$\frac{2,32-2,42}{2,36}$	Не опр.	5,1	—	[184]
Южная Индия	$\frac{12,2-26,3}{19,7}$	$\frac{0,48-0,75}{0,60}$	—	$\frac{22,8-44,6}{32,3}$	—	[153]
Среднее для кимберлитов Индии	15,85	1,48	—	18,17	—	

менее закономерно и колеблется в очень широком интервале.

Распределение тория, урана и калия в кимберлитовых породах контролируется петрографическим типом кимберлитов, о чем особенно наглядно свидетельствует сравнение контрастных типов этих пород из трубок Русловая и Муза Куойского поля, с одной стороны, и жил Великан и Монтичеллитовая, с другой. Можно констатировать накопление радиоактивных элементов в массивных разностях, приближающихся по своим петрохимическим особенностям к щелочным базальтоидам, по сравнению с типичными ультраосновными типами кимберлитов, сопоставимыми по петрографическим и петрохимическим особенностям с эруптивными брекчиями пироповых перидотитов.

Ультраосновные породы включений характеризуются очень низкими содержаниями радиоактивных элементов на один и даже два порядка ниже, чем в кимберлитах (табл. 56, 57).

В ультраосновных породах из отечественных кимберлитов эти элементы были определены А. П. Акимовым и Г. С. Семеновым [1] методом гамма-спектрометрии, но их данные, по-видимому, завышены и потому нами не приводятся.

Содержание урана определялось И. Г. Берзиной и др. [5] методом треков деления урана. Результаты этих определений помещены в табл. 56 и хорошо совпадают с данными зарубежных исследователей (см. табл. 57).

Следует подчеркнуть, что в неизмененных образцах пироповых перидотитов содержание урана наиболее низкое (0,05—0,04 г/т). При постмагматических изменениях оно заметно увеличивается. Так, в образце пиропового перидотита с серпентинизированным оливином из трубки Мир оно равно 0,14 г/т. Средние значения для наименее измененных образцов гранатовых перидотитов равны 0,10 г/т U, 0,28 г/т Th; Th : U = 2,8; K : U = $2,8 \cdot 10^{-3}$. По зарубежным данным, содержание урана в пироповых перидотитах равно 0,2 г/т, эти цифры, вероятно, несколько завышены. Содержание урана в шпинелевых перидотитах равно 0,09 г/т, а в эклогитах оно колеблется от 0,06 до 0,36 г/т (см. табл. 56).

Резкая обогащенность ураном и торием кимберлитов по сравнению с ультрабазитами включений связана

Распределение урана в породах и минералах глубинных включений
из кимберлитов (метод осколкордиографии) [5]

Поле, трубка (№ образца)	Порода	Минерал	U, г/т
Мало-Ботуобинское, Мир (БМ-1050)	Пироповый перидотит	—	0,034
То же (БМ-114)	То же	—	0,135
То же (БМ-1041)	Эклогит	—	0,394
То же (ЗМ-84)	Алмазсодержа- щий эклогит	—	0,229
Далдынское, Загадочная (983)	Гроспидит	—	0,024
Куойское, Обнаженная (ОА-5А)	Пироповый перидотит	— Оливин Гранат Диопсид	0,053 0,043 0,145 0,117
Куойское, Обнаженная (209)	Шпинелевый перидотит	—	0,098
То же (18)	То же	—	0,086
То же (АО-1)	Пироп-шпинеле- вый пироксе- нит	— Энстатит Диопсид Оливин Шпинель Гранат	0,032 0,030 0,049 0,021 0,067 0,165
Куойское, Обнаженная (АО-3)	Эклогит	— Гранат Диопсид	0,097 0,119 0,062
То же (219)	Рубинсодержа- щий эклогит	—	0,061
Куойское, Слюдянка (Сл-1)	Пироп-шпинеле- вый перидотит	— Энстатит Диопсид Оливин Шпинель	0,033 0,028 0,042 0,026 0,072

Содержание урана и тория во включениях глубинных пород
и кумулятах из кимберлитов, г/т (в числителе — пределы колебаний, в знаменателе — среднее)

Трубка (кол. ан.)	Порода	Th	U	Th/U	Источник
Южная Африка					
Булфонтейн (2)	Гранатовый перидотит	$\frac{0,175-0,203}{0,189}$	$\frac{0,057-0,047}{0,052}$	3,6	[184]
Кимберлей (1)	То же	$0,44 \pm 15\%$	$0,25 \pm 10\%$	1,8	[164]
Среднее для пироповых перидотитов		0,32	0,15	2,7	
Кимберлей (2)	Перидотит	$0,65 \pm 2,0$	$0,27 \pm 0,7$	2,3	[162]
Ягерсфонтейн	Дунит	—	0,035	—	[162]
Робертс-Виктор (2)	Эклогит	$\frac{0,223-0,304}{0,270}$	$\frac{0,041-0,137}{0,087}$	4,0	[184]
Робертс-Виктор (7)	То же	$0,42 \pm 16\%$	$0,41 \pm 10\%$	1,7	[164]
Кимберлей (1)	„ „	Не опр.	$0,30 \pm 0,5$	—	[162]
Булфонтейн (1)	„ „	$0,31 \pm 18\%$	$0,07 \pm 0,25$	4,4	[164]
Ягерсфонтейн (1)	„ „	$0,17 \pm 50\%$	$0,07 \pm 30\%$	2,4	[164]
Силл Бенфонтейн (2)	Магнетит-перовскитовый кумулят	80	$\frac{18-23}{20,5}$	$\frac{3,48-4,44}{3,96}$	[145]
Де-Бирс (2)	Амфиболит	$\frac{0,290-0,261}{0,276}$	$\frac{0,421-0,401}{0,411}$	0,7	[184]
Восточная Африка					
Додома (2)	Эклогит	$\frac{0,082+0,084}{0,083}$	$\frac{0,107-0,104}{0,105}$	0,8	[184]
То же (1)	То же	$0,45 \pm 20\%$	$0,20 \pm 12\%$	2,1	[164]
Среднее для эклогитов		0,28	0,18	2,57	
Австралия					
Австралия (1)	Гранатовый перидотит	0,18	0,052	3,6	[164]
То же (1)	Роговообманковый эклогит	0,29	0,073	3,9	[164]
То же (1)	Эклогит (оливинсодержащий)	0,15	0,043	3,5	[164]

главным образом с наложенными постмагматическими процессами (в постмагматически измененных участках включений характерно существенное увеличение содержания урана).

Сведения о содержании тория и урана в минералах кимберлитов и гипербазитовых включений из этих пород весьма ограничены, в то время как высокая подвижность тория и урана, являющихся чувствительнейшими индикаторами многих петрологических процессов, делает изучение закономерностей их распределения в минеральных фазах важной геохимической проблемой.

И. Г. Берзиной, Б. Г. Лутцем и А. П. Акимовым [5] методом осколкордиографии определялось распределение урана в минералах ультрабазитов из включений (см. табл. 56). Для исследованных пород установлены три формы вхождения урана.

Первая — фоновое распределение урана, очень равномерное и низкое в первичных минералах. Содержание урана последовательно уменьшается в ряду: гранат — шпинель — диопсид — энстатит — оливин. Основным концентратором является гранат, в диопсиде урана в 2 раза меньше. Эта закономерность иллюстрируется микрофотографией (рис. 17), где в корундсодержащем эклогите наблюдаются повышенные содержания урана во включениях и оторочках граната вокруг кристаллов корунда, причем уран в гранате распределен равномерно.

Вторая — связана с вторичными минералами — повышенные концентрации урана отмечаются в трещинах, в участках вторичного изменения породы. Это уран наложенный.

Третья — концентрация урана в акцессорных минералах.

Аналогичная работа для ксенолитов ультраосновного состава из базальтов выполнена А. Н. Комаровым и А. С. Житковым [58]. Эти авторы показали, что валовое содержание урана в ксенолитах колеблется в широких пределах (от $n \cdot 10^{-3}$ до $n \cdot 10^{-1}$ г/т), но большинство значений — порядка $n \cdot 10^{-2}$ г/т. При этом 54—99,8% урана приурочено к межзерновым промежуткам, трещинам, зонам изменения, прожилкам вторичных минералов, что, по-видимому, связано с привнесом урана из вмещающих базальтов, так как его концентрация возрастает от центра включения к периферии.

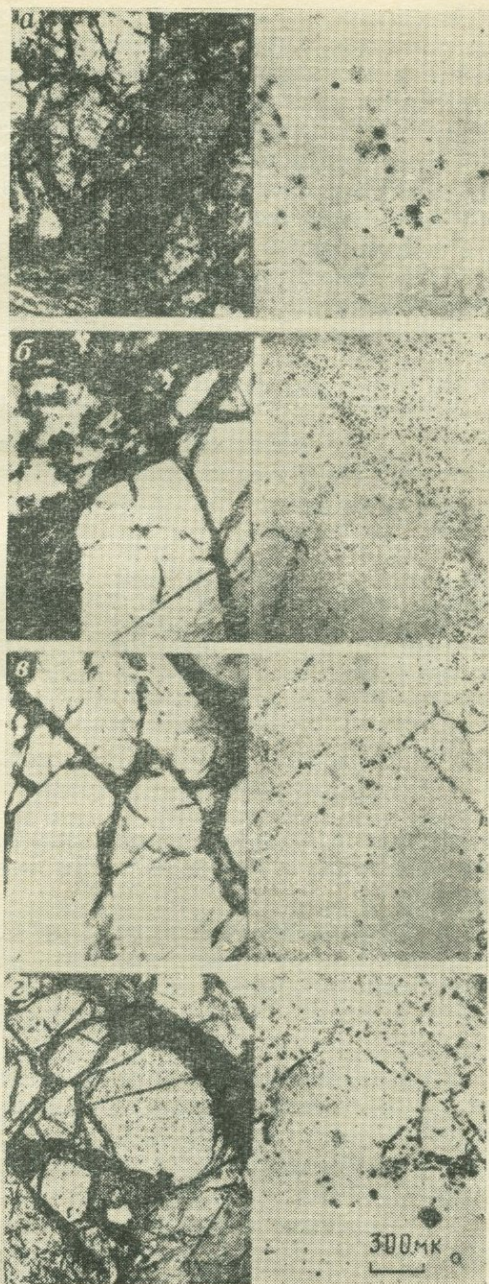


Рис. 17. Микрофотографии прозрачных шлифов эклогитов и соответствующих им детекторов после облучения в потоке нейтронов $1,2 \times 10^{16}$ н/см² (по А. П. Акимову).
а — рубиновый эклогит; *б* — эклогит; участок шлифа на контакте с кимберлитом; *в* — тот же образец эклогита в 1 см от контакта с кимберлитом; *г* — эклогитоподобная порода из трубки Удачной, скопления урана приурочены к межзерновым пространствам

Содержание урана в неизмененных породообразующих оливинах, пироксенах и шпинели определяется порядком $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-4}$ г/т. Концентрация урана снижается в ряду: моноклинный пироксен — шпинель — ромбический пироксен — оливин. Урансодержащие акцессорные минералы практически отсутствуют; предполагается, что уран входит в структуру моноклинного пироксена, изоморфно замещая кальций.

О концентрации тория и урана в акцессорных минералах свидетельствуют данные по цирконам из кимберлитов Южной Африки (табл. 58), а также известные по

Таблица 58

Содержание тория и урана в цирконах из кимберлитов Южной Африки [128] (метод нейтронной активации)

Кимберлитовое тело	№ образца	Th, г/т	U, г/т	Th/U
Кимберлей	KKIMZ-4	$7,2 \pm 1,1$	$28,0 \pm 0,4$	0,26
Кимберлей	KKIMZ-5	$6,0 \pm 0,9$	$26,4 \pm 0,4$	0,23
Ягерсфонтейн	KJAGZ-3	$1,8 \pm 0,3$	$7,0 \pm 0,2$	0,26
Ягерсфонтейн	KJAGZ-2	$2,1 \pm 0,3$	$7,0 \pm 0,2$	0,30
Площадь Нзегга	80KgDARK	$6,6 \pm 0,9$	$22,4 \pm 0,4$	0,29
Площадь Нзегга	80KgLJGHT	$6,6 \pm 0,9$	$9,4 \pm 0,2$	0,70
Среднее		5,1	16,7	0,34

другим магматическим породам сведения о том, что носителями тория и урана являются перовскит, циркон и апатит.

По содержанию урана среди цирконов из Африканских кимберлитов можно выделить две разновидности: существенно обогащенную (22—28 г/т) и относительно бедную ураном (7,0 г/т) из трубки Ягерсфонтейн (см. табл. 58).

Содержание тория в цирконах практически такое же, как в кимберлитовых породах (5,1 г/т), а потому и торий-урановое отношение для цирконов низкое (0,26—0,70). Очевидно, уран накапливается в ранних кристаллизатах, а торий — на конечных этапах.

О повышенном содержании тория и урана в перовскитах (и магнетитах?) из кимберлитовых пород косвен-

но свидетельствует концентрация этих элементов в магнетит-перовскитовых нодулях (кумулятах) из силла Бенфонтейн (см. табл. 57).

Следует подчеркнуть, что для кимберлитовых и родственных им пород существует тенденция, свойственная и другим магматическим породам: чем больше распространенность минерала в магматической породе, тем меньше в ней содержание радиоактивных элементов. В процессе кристаллизационной дифференциации, а на последних стадиях, по-видимому, и фракционирования в кимберлитах происходит интенсивная деконцентрация урана и тория в пороодообразующих минералах относительно расплава и концентрация в аксессуарных минералах и особенно в постмагматических продуктах. С этим связано контрастное распределение урана и тория в минералах и породах (содержание радиоактивных элементов в разновидностях кимберлитовых пород изменяется в 10 раз и более) и высокая информативность этих элементов относительно стадий и этапов формирования пород.

В кимберлитах наблюдается явное, устойчивое преобладание тория над ураном, свойственное породам щелочно-ультраосновных формаций. Для этих пород характерно накопление тория и в меньшей степени урана в процессе магматической дифференциации. Содержание урана и особенно тория и рост торий-уранового отношения происходит при формировании кимберлитов от более ранних фаз к более поздним, достигая максимума на постмагматической стадии, особенно если последняя выражена не только повышенной, но и наложенной карбонатитизацией.

Содержание радиоактивных элементов возрастает в ряду пироповый перидотит — эклогит — разновидность кимберлитовых пород, представленная катаклазированным пироповым перидотитом — разновидность кимберлитов, примыкающая по своим петрохимическим особенностям к щелочным базальтоидам — пикритовый порфирит — кимберлит с наложенной карбонатитизацией.

Концентрация тория и урана происходит также с увеличением щелочности кимберлитовых пород, при переходе от бесщелочных (базальтоидных) к наиболее щелочным членам пород этой группы. В этой же последовательности увеличивается величина торий-уранового отношения.

По поводу различий в содержании радиоактивных элементов в алмазоносных и безрудных кимберлитах, о которых говорилось в ряде опубликованных работ [69, 12 и др.], следует сказать следующее: содержание урана и особенно тория увеличивается от алмазоносных кимберлитовых тел и особенно полей к безрудным. Тенденция такой связи вполне естественна, так как факторы, с которыми связано накопление тория и урана в кимберлитах,— нарастание свойств, характерных для щелочных базальтоидов, увеличение щелочности и процесс карбонатизации этих пород — отрицательно влияют на алмазоносность.

Вопреки установленному факту — крайне низкой радиоактивности ультраосновных пород, кимберлиты характеризуются повышенными содержаниями урана и тория. Количество этих элементов в кимберлитах превышает таковое в большинстве континентальных гипербазитов и базитов. Близкие значения имеются для анкаритов и пикритовых порфиритов. Максимальные значения содержаний, характерные для слюдяных разностей, сопоставимы с содержаниями этих элементов в щелочных базальтоидах и гранитах.

ГРУППА ЖЕЛЕЗА

Железо, титан и марганец постоянно определяются в ходе химического силикатного анализа горных пород. Для многих образцов кимберлитов одновременно были определены хром и никель, иногда кобальт. Железо и титан рассмотрены в главе II. Здесь остановимся на остальных элементах этой группы (ванадий, хром, марганец, кобальт, никель).

Результаты 300 количественных спектральных анализов элементов группы железа в кимберлитах Якутии обобщены Ю. И. Томановской [110]. Данные примерно по 40 трубкам и дайкам Сибирской провинции приводят Л. С. Бородин с соавторами [12]. Кроме сведений, заимствованных из этих двух работ, нами собраны многочисленные данные химических анализов; больше всего «комплексных» определений элементов группы железа (кроме ванадия) было сделано в химической лаборатории Якутского ТГУ. Несколько десятков образцов на никель и кобальт проанализированы химиками ВНИИЯГГ. Хром и кобальт в ряде образцов определены в ЦНИГРИ

(метод ИНАА). Результаты количественного спектрального анализа (ИМГРЭ) предоставлены нам В. В. Ивановым. Слабо освещенным остался ванадий.

В табл. 59 сопоставлены данные разных лабораторий для нескольких кимберлитовых тел. Некоторые отклонения от среднего носят явно закономерный характер. Так, данные Ю. И. Томановской для никеля почти всегда заметно выше, а для кобальта — ниже, чем цифры других лабораторий для тех же металлов. Лаборатория Якутского ТГУ дает низкие содержания никеля. Для хрома и марганца определенных тенденций заметить не удалось, но наши средние по кимберлитам Якутии для этих элементов несколько выше, чем кларки, вычисленные Ю. И. Томановской. Для титана и общего железа использованы данные, помещенные в таблицах главы II.

Не отдавая предпочтение результатам какой-то одной лаборатории, мы рассчитали средние данные, приведенные в табл. 60 как средние арифметические из всех имевшихся в нашем распоряжении цифр. Для каждой трубки вначале было вычислено среднее арифметическое по анализам каждой лаборатории, а затем — среднее арифметическое из этих средних. Если сведения для сложной трубки приведены в литературе без указания разновидностей, то в таблице указано, что трубка рассматривается «в целом».

По зарубежным кимберлитам имеется гораздо меньше данных (табл. 61), чем по кимберлитам Якутии. Сведения о содержании элементов этой группы в глубинных включениях приведены в табл. 62.

Ванадий. Средние содержания ванадия в кимберлитах Якутии (85 г/т для центральных и 158 г/т для северных полей) близки к содержаниям в перидотитах (100 г/т), пироксенитах (50—270 г/т) и основных изверженных породах (200—250 г/т) и заметно превосходят средние содержания, приводимые разными авторами для дунитов (17—40 г/т).

Сопоставление средних данных по отдельным полям Сибирской провинции (рис. 18) выявляет четкую прямую связь концентраций титана и ванадия. Единственное резкое исключение — Мало-Куонамское поле, где среднее содержание ванадия по 7 объектам 266 г/т, при умеренном содержании титана (1,0%).

Содержание элементов группы железа в кимберлитах
Якутии (г/т)

Источник (количество обр.)	V	Cr	Mn	Co	Ni
----------------------------------	---	----	----	----	----

Начальная — Алакитского поля

1 (4)	142	1190	350	52	1020
2 (1)	90	900	500	50	800
3 (1)	—	960	230	47	650
4 (1)	—	—	—	60	800

Дальняя — брекчия Далдынского поля

1 (4)	118	1030	1150	49	920
3 (3)	—	990	1060	71	610
4 (1)	—	—	—	70	860
5 (3)	—	1200	—	75	—

Зарница — Далдынского поля

1 (5)	80	750	680	46	1050
2 (7)	90	1010	740	75	900
3 (5)	—	680	1160	80	560
4 (32)	—	—	—	76	850
5 (1)	—	840	—	68	—

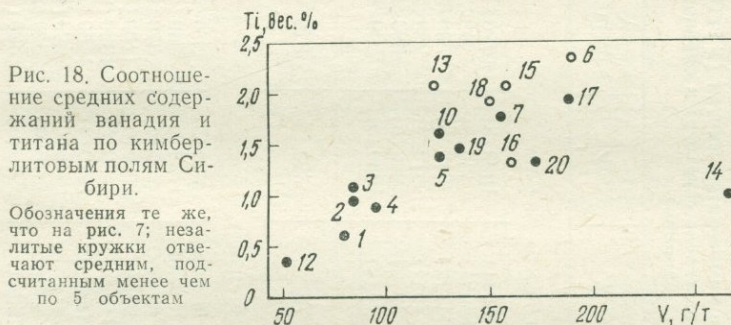
Зимняя — Верхне-Мунского поля

1 (3)	31	950	1040	46	1440
2 (1)	52	1000	1000	90	930
3 (1)	—	1230	1240	94	890
5 (1)	—	1050	—	82	—

1 — из [110]; 2 — из [2]; 3 — данные химической лаборатории Якутского ТГУ; 4 — данные химической лаборатории ВНИИЯГГ; 5 — данные метода ИНАА, ЦНИГРИ.

Содержания ванадия в кимберлитах зарубежных провинций (см. табл. 61, 62) варьируют в тех же пределах, что и в кимберлитах Сибири — от 100 до 200 г/т. Для перидотитовых включений характерны значения 50—100 г/т, для эклогитов — порядка 200 г/т.

Из числа глубинных минералов максимальные содержания ванадия установлены к пикроильмените. Как химический, так и количественный спектральный анализ показали в ильменитах из кимберлитов Сибири 1500—



2000 г/т ванадия. По данным И. П. Илупина (1971 г.), наблюдается слабая положительная связь ванадия в ильменитах с содержанием в них окисного железа. Количественным спектральным анализом обнаружено от 55 до 180 г/т ванадия в гранатах (5 образцов), от <3 до 6 г/т в оливинах (3 образца), 280 г/т в хромдиопсиде (1 образец); все упомянутые образцы — из кимберлитов Сибирской провинции.

Довольно систематически изучен ванадий в серии образцов минералов-включений в алмазах; содержание ванадия в гранатах — от 140 до 480 г/т, в пироксенах — от 70 до 600 г/т, в хромдиопсиде 2200 г/т, в магнетитах — от 70 до 2700 г/т [192, pp. 797—815].

Хром. Распределение содержаний хрома в кимберлитах и пикритовых порфиридах отдельных полей Сибири показано на рис. 19; концентрации хрома варьируют от 300 до 1500 г/т, редко выходя за эти пределы. Иногда четко выступают различия между отдельными полями: так, в Мало-Куонамском (14) и Лучаканском (15, 16) полях не встречены тела с содержанием хрома ниже 600 г/т, а в Средне-Куонамском (17, 18)

Содержание элементов группы железа и скандия в кимберлитах Якутии (Σ FeO и Ti — вес. %, остальные — г/т; в скобках — число лабораторий; в строке «среднее» в скобках — число объектов для скандия и ванадия)

Кимберлитовое тело, разновидность	Σ FeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Мало-Ботубинское поле								
Амакинская, сев. часть	6,23	10,8 (1)	0,52	80 (1)	1090 (3)	770 (1)	89 (3)	980 (3)
Амакинская, южн. часть	5,13	10,8 (1)	0,83	140 (1)	430 (3)	1240 (3)	84? (4)	590 (4)
Интернациональная	4,86	9,0 (2)	0,30	54? (2)	640 (3)	580 (3)	64 (3)	790 (3)
Мир	7,19	9,4 (2)	0,77	76 (1)	810 (4)	720 (2)	88 (4)	980 (4)
Таежная	6,64	15,8 (2)	0,77	72 (2)	960 (5)	660 (4)	76 (6)	690 (5)
Им. XXIII съезда КПСС	4,69	10,0 (2)	0,41	54 (2)	1000 (5)	940 (4)	62? (2)	450 (2)
Среднее (из 6)	5,79	11,0	0,60	79	820	820	77	750
Алакитское поле								
Айхал, с.-в. часть	3,65	8,5 (1)	0,20	He опр.	600 (5)	570 (3)	39 (3)	400 (3)
Айхал, центр. часть	4,09	7,7 (1)	0,24	He опр.	1130 (5)	540 (4)	60 (3)	750 (2)
Веселая	5,64	10,0 (2)	0,68	60 (1)	750 (4)	870 (4)	76 (4)	640 (3)
Дружба	8,94	He опр.	1,13	98 (1)	1500 (3)	1100 (3)	81 (2)	1160 (3)
Искорка, апофиза	11,70	10,8 (1)	2,34	110 (2)	460 (6)	1320 (6)	88? (5)	640 (6)
Кира	8,24	12,9 (1)	1,25	He опр.	1020 (3)	1150 (2)	79 (3)	600 (2)
Коллективная, ЮЗ	3,31	9,7 (1)	0,054	27 (2)	940 (6)	600 (4)	60 (3)	760 (3)
Коллективная, СВ	5,11	He опр.	0,25	He опр.	870 (3)	620 (2)	72 (3)	910 (3)
Магистральная	5,66	He опр.	0,65	89 (1)	960 (3)	500 (3)	52 (2)	720 (2)
Мархинская	7,32	He опр.	0,74	90 (1)	810 (3)	1020 (3)	67 (3)	640 (3)
Маршрутная, брекчия	8,51	9,7 (1)	1,45	He опр.	1090 (5)	1000 (4)	71 (2)	700 (3)
Маршрутная, порф. кимб.	9,64	He опр.	1,53	120 (2)	1300 (4)	1200 (5)	85 (2)	910 (4)
Москвичка	8,63	He опр.	1,09	98 (2)	1040 (4)	1030 (4)	72 (3)	860 (4)
Начальная	3,40	9,6 (1)	0,76	116 (2)	1140 (4)	310 (4)	52 (4)	800 (5)
НИИГА, центр. часть	6,64	He опр.	1,36	78 (1)	1040 (4)	870 (5)	101 (5)	1100 (5)
Октябрьская	6,39	8,0 (1)	0,73	63 (1)	1000 (5)	550 (5)	52 (2)	1040? (2)
Светлая	4,23	7,1 (2)	0,44	42 (2)	640 (4)	580 (4)	64 (4)	870 (4)
Смежная	4,62	10,8 (1)	0,95	140 (2)	1380 (4)	370 (4)	64 (2)	920 (3)
Снежинка, зап. часть	8,03	10,4 (1)	0,72	112? (2)	1110 (5)	770 (2)	84 (4)	1070 (4)
Снежинка, центр. часть	5,87	He опр.	0,61	He опр.	790 (2)	500 (2)	74 (2)	860 (2)
Снежинка, вост. часть	4,56	He опр.	0,59	He опр.	700 (1)	430 (1)	50 (1)	580 (1)
Сувенир	8,87	12,7 (1)	1,21	65 (1)	1040 (5)	1880 (4)	80 (4)	770 (4)
Сытыканская, с.-в. часть	6,92	He опр.	1,11	He опр.	950 (1)	850 (1)	84 (1)	830 (1)
Сытыканская, центр. часть	7,67	7,0 (1)	0,99	He опр.	1230 (1)	910 (1)	90 (1)	940 (1)
Талисман, порф. кимб.	7,73	He опр.	1,02	40 (1)	1280 (3)	1180 (3)	93 (3)	980 (3)
Юность	7,04	7,0 (1)	0,77	He опр.	1260 (3)	760 (2)	80? (2)	1020 (1)
Среднее (из 26)	6,63	9,5 (15)	0,88	84 (16)	1000	825	72	825
Далдынское поле								
Академическая	6,56	7,7 (1)	1,10	83 (2)	830 (6)	870? (6)	63 (4)	780 (4)
Аэросъемочная	7,86	7,5 (1)	1,50	He опр.	1100 (3)	850 (2)	86 (2)	640 (1)
Геофизическая, брекчия	6,15	12,9 (1)	0,88	86 (2)	580 (5)	780 (4)	63 (3)	740? (4)
Геофизическая, порфировый кимберлит	9,88	9,7 (1)	1,19	50 (3)	820 (4)	1100 (4)	78 (4)	1060 (4)

Кимберлитовое тело, разновидность	ΣFeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Дайковая, трубка	5,94	He опр.	0,69	He опр.	810 (3)	660 (4)	52 (2)	590 (2)
Дальняя, брекчия	7,56	8,7 (1)	1,39	98 (2)	1040 (4)	1050 (3)	66 (4)	760 (4)
Дальняя, порф. кимб.	9,41	12,9 (1)	1,71	189 (3)	1280 (6)	1230 (6)	92 (5)	970 (5)
Долгожданная	6,05	8,2 (1)	0,92	74 (2)	980 (5)	460 (4)	64 (3)	960 (3)
Зарница	7,48	8,7 (2)	1,14	85 (2)	820 (4)	860 (3)	69 (5)	840 (4)
Зимняя	5,34	5,9 (1)	0,60	49 (1)	1140? (3)	640 (2)	56 (2)	1060 (2)
Ленинградская, центр. часть	6,18	10,3 (2)	1,23	71 (1)	1060 (4)	920? (4)	70 (4)	890 (3)
Ленинградская, западн. часть	5,48	He опр.	1,01	He опр.	410 (1)	390 (1)	50 (2)	580 (2)
Ленинградская, вост. часть	5,55	He опр.	1,29	He опр.	550 (1)	310 (1)	52 (2)	640 (2)
Малютка	6,37	9,0 (1)	1,25	He опр.	1250 (3)	930 (2)	63 (2)	900 (2)
Молодежная, брекчия	5,72	8,4 (2)	1,11	66 (2)	760 (5)	550? (4)	49 (3)	750? (4)
Молодежная, порф. ким- берлит	7,73	He опр.	1,37	80 (1)	1380 (2)	1120 (2)	42 (2)	940? (2)
Невидимка	7,20	6,8 (1)	1,09	He опр.	960 (2)	620 (2)	67 (2)	790 (2)
Осенняя	5,76	6,6 (1)	0,67	46 (1)	800 (5)	880 (4)	56 (3)	800 (4)
Полярная	9,75	12,5 (2)	1,25	148 (2)	1200 (4)	1280 (4)	76 (4)	720 (4)
Удачная-Западная	5,30	10,4 (2)	0,44	71? (2)	810 (4)	730 (3)	65 (5)	1050 (4)
Удачная-Восточная	7,00	8,4 (2)	0,66	72? (2)	720 (3)	950 (3)	73? (4)	1080 (4)
Фестивальная	7,76	9,8 (2)	1,24	75 (2)	740 (4)	1000 (3)	58 (4)	590 (3)
Якутская (в целом)	6,93	8,4 (2)	1,05	80 (2)	780 (4)	950 (4)	80 (5)	900 (5)
Среднее (из 23)	6,91	9,1 (19)	1,08	84 (17)	905	830	65	830

Верхне-Мунское поле

Верхняя	6,31	He опр.	0,82	160 (1)	580? (2)	420? (2)	57 (2)	1120 (2)
Заполярная	6,96	He опр.	0,70	41 (2)	1090 (3)	1010 (3)	88 (3)	1460 (4)
Зимняя	8,60	He опр.	1,07	52 (3)	1060 (4)	1090 (3)	80? (5)	1000 (5)
Комсомольская, осн. часть	8,03	8,3 (1)	0,77	76 (3)	1100 (4)	1100 (5)	88 (4)	1180 (4)
Магнитная, ш. 4	7,95	12,9 (1)	1,01	101 (2)	1030 (5)	1120 (3)	92 (4)	980 (4)
Легкая	5,55	13,8 (2)	0,97	94 (3)	1060 (4)	990 (4)	79 (4)	1180 (4)
Малая	4,49	He опр.	0,64	103 (1)	460 (2)	580 (2)	22? (1)	480 (2)
Новинка	7,25	9,6 (2)	0,83	78 (3)	1240 (5)	980 (4)	88 (4)	1240 (5)
Поисковая	7,44	He опр.	1,26	114 (2)	1280 (3)	590 (3)	96 (5)	1270 (4)
325 лет Якутии	5,60	He опр.	0,65	120 (1)	660 (3)	1030 (3)	88 (3)	990 (3)
Среднее (из 10)	6,82	11,2 (4)	0,87	94	955	890	78	1090

Чомурдахское поле — кимберлиты

Бортовая	7,78	10,8 (2)	1,00	175 (2)	350 (3)	1020 (5)	32 (2)	240 (3)
Водораздельная	4,37	12,0 (1)	0,28	He опр.	820 (4)	940 (3)	43 (2)	650 (2)
Дружба, разн. богатая слудой	7,81	He опр.	0,90	74 (2)	780 (2)	830? (3)	81 (1)	1000 (3)
Дружба, разн. бедная слудой	10,57	He опр.	1,98	53 (1)	730 (2)	930 (1)	80 (1)	665 (2)
Ильменитовая	9,17	He опр.	1,34	71 (1)	420 (2)	1340 (2)	81 (1)	710 (2)
Каменная	7,00	He опр.	0,58	21 (1)	820 (2)	970 (3)	93 (1)	1520 (2)
Надежная	4,66	He опр.	0,49	60 (2)	880 (3)	630 (5)	82 (2)	1060 (5)
Рассвет	9,47	He опр.	1,53	170 (1)	960 (4)	920 (4)	66? (2)	555 (2)
Светлая, трубка	7,81	He опр.	0,85	130 (1)	870 (2)	770 (3)	90 (1)	915? (2)
Светлая, ш. 71	10,89	13,0 (1)	1,65	240 (2)	1010 (5)	1160 (4)	106 (2)	870 (3)
Светлая, ш. 73, порф. кимберлит	10,07	13,7 (1)	1,50	160 (1)	1020 (4)	1240 (2)	110 (2)	1270 (2)

Кимберлитовое тело, разновидность	ΣFeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Светлая, ш. 76	5,76	20,9 (1)	2,40	250 (1)	600 (3)	1160 (1)	77 (2)	360? (2)
Снежинка, трубка	9,22	9,2 (1)	1,51	140 (1)	480 (4)	1040 (4)	88 (2)	400? (3)
Уральская	11,19	He опр.	2,35	115 (2)	450 (4)	1170 (3)	99 (5)	620 (4)
Чомур, разные шурфы	—	11,1 (2)	—	He опр.	880 (3)	990 (2)	83 (3)	1240 (2)
Чомур, ш. 7	8,87	He опр.	1,17	100 (1)	790 (3)	960 (4)	95 (2)	1090 (3)
Чомур, ш. 2	8,13	He опр.	1,25	He опр.	550 (2)	1080 (3)	84 (2)	970 (2)
Среднее (из 16)	8,30	13,0 (7)	1,30	126 (14)	730	1010	82	830
Чомурдахское поле — пикритовые порфириды								
Сопка	11,83	24 (1)	2,10	205 (2)	780 (3)	1580 (3)	95 (2)	420 (3)
Горняцкая	13,33	22 (1)	2,58	170 (1)	580 (3)	1620 (3)	85 (2)	640 (2)
Среднее (из 2)	12,58	23	2,34	188	680	1600	90	530
Омонос-Кутугунское поле — кимберлиты								
Ленинград	5,68	8,5 (2)	0,41	84 (1)	860 (3)	700 (3)	56 (2)	740 (1)
Омонос	4,67	16,9 (1)	0,56	157 (1)	660 (2)	670 (1)	51 (2)	700 (1)
Аномалия 15, ш. 47; 49; 50	14,03	He опр.	3,24	170 (1)	740 (2)	1100 (2)	86 (1)	740 (1)
Аномалия 18а, ш. 45	8,04	He опр.	1,37	83 (1)	420 (2)	970 (1)	54 (1)	300 (1)
Аномалия 23, ш. 58; 59; 60	10,88	He опр.	2,99	190 (1)	610 (2)	1320 (2)	103 (2)	660 (2)
Аномалия 46а, ш. 76	11,32	He опр.	2,44	210 (1)	600? (3)	1340 (3)	92 (2)	490 (1)
Аномалия 48, ш. 22 и 23	9,59	He опр.	1,98	130 (1)	310 (3)	1010 (3)	69 (2)	580 (3)
Аномалия 65, ш. 275 и 276	12,84	He опр.	1,98	160 (1)	310 (2)	1100 (2)	65 (2)	390? (2)
Аномалия 71, ш. 203 и 204	9,50	He опр.	1,11	205 (1)	385 (2)	1250? (2)	59 (1)	390 (1)
Среднее (из 9)	9,62	12,7 (2)	1,79	154	545	1050	71	555
Огоньор-Моторчунское поле								
Аэрогеологическая (в целом)	8,74	10,8 (1)	1,20	93 (1)	740 (2)	1060 (2)	68 (1)	930 (2)
Сестры, ан. «А» (прочн. кимб.)	10,10	7,3 (1)	2,02	He опр.	490 (3)	1060 (3)	94 (1)	1080 (3)
Сестры, ан. «Б»	9,52	11,3 (1)	2,66	He опр.	530 (2)	1700 (1)	55 (2)	350 (1)
Среднее (из 3)	9,45	9,8	1,96	—	590	1270	73	790
Мерчимденское поле								
Безымянная, ш. 1504 и 1505	11,85	13,2 (1)	2,54	185 (2)	800 (3)	1390 (3)	86 (2)	730? (2)
Безымянная, брекчия	6,16	15,0 (1)	2,11	He опр.	510 (2)	310 (1)	105 (2)	300 (1)
Буратино	11,30	14,3 (1)	2,43	He опр.	350 (4)	1590 (3)	90 (1)	790 (2)
Восток-5	8,70	14,8 (1)	2,26	He опр.	790 (2)	700 (1)	90 (2)	660 (1)
Восток-6	7,03	9,9 (1)	0,26	75 (1)	980 (4)	780 (3)	61 (3)	900 (2)
Львиная, лапа, ш. 271	8,36	He опр.	0,59	90 (1)	1420 (2)	820 (2)	85 (1)	810 (2)
Неуловимая	10,86	17,0 (1)	2,14	170 (1)	500? (4)	1220 (3)	66 (1)	650? (2)

Кимберлитовое тело, разновидность	ΣFeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Операторская-Южная	8,18	13,4 (1)	1,41	100 (1)	820 (4)	550 (3)	89 (3)	880 (2)
Операторская-Северная, ш. 4	11,32	15,8 (1)	3,01	115 (2)	850 (3)	1020 (3)	102 (3)	980? (3)
Солнечная (тело 7), ш. 2	7,93	10,6 (1)	1,37	150 (1)	280 (3)	1880 (3)	49 (2)	610? (2)
Флогопитовая, порф. кимберлит	10,16	13,6 (1)	2,23	He опр.	1000 (3)	1080? (3)	84 (2)	940? (3)
Флогопитовая, брекчия	7,05	13,6 (1)	1,40	He опр.	420 (1)	1010 (1)	42 (1)	220 (1)
Тело № 6	4,56	16,0 (1)	2,28	He опр.	700 (3)	890 (3)	85 (2)	420 (2)
Среднее (из 13)	8,73	13,9 (12)	1,85	126 (7)	725	1020	80	685

Верхне-Молодинское поле

Алдыкан	7,56	13,1 (1)	1,40	He опр.	930 (3)	350 (2)	85 (2)	1140 (2)
Апатитовая	6,24	34,1 (1)	0,58	He опр.	1465 (2)	4100 (1)	68 (2)	640 (1)
Гранатовая, черн. ким- берлит	11,98	15,7 (2)	2,42	He опр.	660 (3)	1860 (2)	238 (1)	980 (1)
Молодо, ш. 5 (центр. тело)	7,03	10,4 (1)	1,35	140 (1)	430 (4)	2200 (4)	61 (2)	320 (3)
Молодо, ш. 7 (ЮЗ тело)	9,57	13,4 (1)	1,96	He опр.	620 (4)	1550 (3)	64 (1)	500 (3)
Унга, кимб. с миндали- нами	7,26	14,7 (1)	1,38	He опр.	790 (3)	2090? (3)	86 (2)	820 (2)
Унга, кимб. без минда- лин	3,65	15,7 (1)	1,08	He опр.	660 (2)	2320 (1)	84 (1)	730 (1)
Хмурая	10,17	14,3 (1)	1,15	He опр.	520 (3)	1510 (2)	81 (2)	760 (2)

Хризолитовая	7,49	16,2 (1)	0,34	He опр.	680 (3)	1470 (2)	65 (2)	1090 (2)
Чамайа	6,34	10,2 (1)	0,64	He опр.	650 (4)	1350? (3)	40 (1)	750 (3)
Среднее (из 10)	7,73	15,8	1,23	—	740	1880	87	775

Толуопское поле

Закат	7,89	9,2 (1)	1,15	He опр.	350 (3)	950 (3)	7 (2)	720 (2)
Ява	2,35	11,6 (1)	0,61	He опр.	210 (4)	500 (4)	32? (2)	300? (2)
Ясная	10,31	14,1 (1)	2,52	He опр.	660 (3)	360? (2)	110 (2)	670 (2)
Среднее (из 3)	6,85	11,6	1,43	—	410	600	73	580

Куойское поле—кимберлиты

Второгодница	6,99	11,8 (1)	0,56	98 (3)	820 (5)	1250 (6)	84 (5)	940 (5)
Муза	7,77	7,5 (1)	0,066	37 (2)	740 (5)	780 (5)	105 (4)	1400 (3)
Обнаженная	7,02	7,2 (1)	0,27	49 (1)	1100 (6)	1040 (7)	80 (1)	1490? (3)
Оливиновая	7,74	13,4 (1)	0,67	He опр.	1080 (2)	1430? (4)	105 (2)	1340 (2)
Пятница	9,24	8,3 (1)	0,92	He опр.	765 (3)	1240 (4)	120? (2)	1650 (1)
Русловая	6,58	5,2 (1)	0,072	16? (2)	530 (7)	1040 (7)	108 (5)	1640? (4)
Слюдянка	10,15	7,1 (1)	0,77	56 (1)	800 (5)	1150 (5)	100 (4)	1010 (2)
Среднее (из 7)	7,93	8,6	0,48	51 (5)	830	1130	100	1350

Кимберлитовое тело, разновидность	ΣFeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Куойское поле—пикритовые порфириты								
Великан-1	10,62	22,9 (2)	1,97	106 (1)	430 (3)	1580 (2)	80 (2)	390 (2)
Монтичеллитовая	14,30	27,7 (2)	2,24	137 (1)	660 (3)	1830 (2)	89 (3)	560 (2)
Среднее (из 2)	12,46	25,3	2,10	122	545	1700	84	475
Мало-Куонамское поле								
Им. Комарова	8,66	He опр.	1,37	He опр.	1370 (1)	1240 (1)	70 (1)	590 (1)
Куранахская, ш. 3440	9,26	He опр.	1,32	760 (1)	1660 (2)	1040 (2)	72 (2)	870? (2)
Куранахская, осн. часть	9,18	10,8 (1)	1,13	85 (1)	1180 (2)	1120 (2)	70 (2)	660? (2)
Малокуонамская, с.-з. часть	8,36	He опр.	0,84	660 (1)	685 (2)	1260 (2)	64 (2)	760? (2)
Малокуонамская, ю.-з. часть	9,07	He опр.	1,12	110 (1)	1060 (2)	1460 (2)	72 (2)	730? (2)
Малокуонамская, ю.-в. часть	8,31	11,5 (1)	0,89	84 (1)	980 (2)	1220 (2)	66 (2)	740 (2)
Сенко-Северная, ш. 42	8,62	18,1 (1)	1,37	He опр.	1410 (2)	1240 (1)	68 (2)	460 (1)
Сенко-Южная, ш. 37; 38; 39	8,12	He опр.	0,95	100 (1)	1140 (2)	940 (2)	80 (2)	940 (2)
Университетская (в целом)	8,59	16,1 (1)	0,72	62 (1)	1010 (2)	1200 (2)	72 (2)	1020? (2)
Среднее (из 9)	8,69	14,1 (4)	1,08	266 (7)	1165	1190	70	750

Лучаканское поле—кимберлиты

Двойная	9,55	15,3 (1)	1,63	109 (1)	990 (3)	1540 (3)	70 (1)	860 (2)
Лыхчан, вост. часть	9,30	He опр.	1,84	He опр.	640 (3)	1290 (3)	58 (1)	290 (1)
Лыхчан, зап. часть, брекчия	10,52	He опр.	2,68	He опр.	720 (2)	1200 (2)	80 (1)	400 (1)
Лыхчан, зап. часть, порф. кимберлит	11,94	18,1 (1)	3,26	300 (1)	1300 (3)	1510 (2)	106 (3)	670 (3)
Отрицательная, ш. 14060 и др.	9,69	He опр.	1,37	86 (1)	910 (4)	1000 (4)	80 (2)	870 (3)
Поздняя, ш. 14001 и др.	9,85	13,6 (1)	2,08	134 (2)	630 (5)	1140 (5)	77 (4)	730 (4)
Среднее (из 6)	10,14	15,7 (3)	2,14	157 (4)	865	1280	78	640

Лучаканское поле—пикритовые порфириты

Оригинальная	10,91	He опр.	1,64	172 (2)	760 (2)	1750 (3)	86 (2)	700 (2)
Тройное	11,94	He опр.	1,74	150 (1)	680 (3)	1790 (3)	68 (2)	530? (3)
Улахан-Лучакан (дайка)	12,32	He опр.	1,41	160 (1)	1540 (2)	1370 (2)	80 (1)	480 (1)
Юлегир-Чарас	7,70	He опр.	0,51	76 (1)	1220 (2)	980 (2)	68 (1)	1300 (1)
Среднее (из 4)	10,72	—	1,32	160	1050	1470	76	750

Средне-Куонамское поле—кимберлиты

Арктика	11,49	14,1 (2)	2,37	200 (2)	800 (5)	1200 (4)	95 (3)	980 (3)
Баргыдамалах-Южная	11,44	He опр.	2,44	280? (1)	520 (4)	1320 (3)	84 (2)	705 (2)
Вечерняя	10,25	15,0 (1)	1,85	158 (1)	560 (3)	2440 (2)	87? (2)	750 (1)

Кимберлитовое тело, разновидность	ΣFeO	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Мукунская	8,06	He опр.	1,16	He опр.	550 (1)	1390 (1)	58 (1)	260 (1)
Невская	8,11	18,8 (1)	1,88	He опр.	345 (5)	1700? (3)	80 (1)	630 (1)
Незабудка	10,34	10,8 (2)	1,79	120 (4)	580 (5)	1240 (5)	83 (6)	650 (6)
Полярная	11,16	17,4 (1)	1,25	180 (1)	370 (5)	1600 (4)	66 (2)	420 (2)
Характах	11,13	11,5 (1)	1,51	He опр.	590 (3)	1240 (2)	72 (2)	510 (1)
Чолбон	9,21	He опр.	1,51	He опр.	1090 (1)	1320 (1)	65 (1)	700 (1)
Среднее (из 9)	10,13	14,6 (6)	1,75	188 (5)	600	1490	77	620

Средне-Куонамское поле — пикритовые порфириты

Альфа	12,83	16,0 (2)	2,89	150 (1)	880 (5)	1490 (4)	77 (2)	370 (1)
Бета	7,59	16,8 (3)	0,84	100 (1)	310 (4)	1030 (3)	64 (2)	300 (1)
Геофизическая	9,72	He опр.	1,40	190 (1)	420 (4)	1130 (3)	67 (2)	590 (1)
Небайбыт	11,44	14,5 (2)	2,53	161 (2)	490 (4)	1340 (3)	75 (2)	530? (3)
Аномалия 6	11,59	He опр.	2,02	He опр.	550 (1)	1700 (1)	71 (1)	510 (1)
Аномалия 9	8,94	He опр.	1,38	He опр.	960 (1)	1470 (1)	70 (1)	530 (1)
Среднее (из 6)	10,35	15,8 (3)	1,84	150 (4)	600	1360	71	470

Нижне-Куонамское поле — кимберлиты

Июльская	10,06	He опр.	1,37	120 (1)	670 (2)	1190 (2)	52 (1)	470 (1)
Майская	10,03	He опр.	1,67	99 (1)	1260 (2)	1160 (2)	71 (1)	940 (2)
Мачала	10,72	7,3 (2)	1,71	160 (2)	830 (5)	1520 (4)	93 (3)	900 (2)

Ухтинская	7,74	He опр.	0,85	120 (1)	460? (3)	1430 (3)	52 (2)	400 (2)
Аномалия 14	11,79	He опр.	1,69	170 (1)	1100 (1)	1600 (2)	88 (1)	600 (1)
Среднее (из 5)	10,07	—	1,46	134	860	1380	71	660

Нижне-Куонамское поле — пикритовые порфириты

Лесная	8,58	He опр.	1,19	150 (1)	550 (3)	1350 (3)	78 (1)	760 (2)
Предмайская	7,20	He опр.	0,94	130 (1)	770 (3)	1200 (3)	53 (1)	400 (1)
Привет	8,66	23,9 (2)	1,40	280 (1)	930 (4)	1100 (4)	89 (2)	630? (2)
Тылкача	10,63	He опр.	1,50	180 (1)	615 (5)	1750 (5)	80 (2)	710 (1)
Улыбка, «палеотипн.» разн.	8,00	34 (2)	1,04	100 (1)	420 (2)	910 (2)	41 (1)	415 (2)
Улыбка, «кайнотипн.» разн.	13,46	23,5 (1)	1,87	190 (2)	1000 (4)	2000 (4)	78 (3)	610 (3)
Среднее (из 6)	9,42	27,1 (3)	1,32	172	710	1385	72	590

Средние данные по группам кимберлитовых полей Якутии

А. Центральные поля (среднее по 65 объектам, для скандия — по 44, для ванадия — по 49)	6,68	9,7	0,92	85	945	835	71	860
Б. Северные поля (без Куойского) (по 102 объектам, для скандия — по 58, для ванадия — по 69)	9,17	15,0	1,56	158	745	1260	77	685
В. Кимберлиты Куойского поля (по 7 объектам, ванадий — по 5)	7,93	8,6	0,48	51	830	1130	100	1350

Содержание элементов группы железа в кимберлитах
зарубежных провинций (титан — вес. %, остальные — г/т)

Объекты	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Источник
Базутоленд (Лесото), среднее из 14	—	140	1440	—	78	1140	[140]
Лесото, область Бута- Буте	—	100	864	—	80	510	[172, t, 58]
Липеланенг	—	100	635	—	80	790	
Коенаненг	—	100	781	—	80	865	
Мотае	—	100	781	—	80	865	
Лесото, трубка Као	—	220	500	—	80	455	[172, t. 134]
Карьер	—	125	900	—	96	900	
Остальная часть трубки «Сателлитная» трубка	—	140	1630	—	60	1230	
Южная Африка							
1. Разновидности в труб- ке Премьер							
коричневый	1,02	—	890	1080	72	870	[150]
серый	1,06	—	1060	1160	73	950	
черный	1,26	—	1210	1160	86	1170	
2. Группа Коффифон- тейн-Эбенезер							
Коффифонтейн	0,54	—	690	1010	71	1090	
Эбенезер-восточный	0,52	—	710	770	55	760	
Эбенезер-западный	0,47	—	520	620	40	475	
3. Группа Белсбенк							
Жила Уотер	0,30	—	1190	850	53	1010	[150]
Боббеджан	0,39	—	1270	2780	60	1050	
Жила Мейн	0,47	—	1320	2560	62	1150	
Среднее из 71 тела Юж- ной Африки	—	—	1010	—	66	—	[172]
Рудник Верхняя Кана- да, среднее из двух	1,26	130	1550	1550	78	1100	[171]
Гренландия, Найгердли- касик							
обр. 59 199	—	190	1300	—	130	1200	[148]
обр. 59 197	—	160	2600	—	100	1100	

Таблица 62

Содержание элементов группы железа в глубинных включениях из кимберлитов и базальтов (титан — вес. %, остальные — г/т)

Объекты	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Источ- ник
Перидотиты в кимберли- тах	0,044	52	3720	920	84	1980	[151]
Перидотиты в базальтах	0,17	105	2640	1050	83	1530	
Гранат-шпинелевые вер- литы и лерцолиты (из 7)	0,38	115	2500	—	140	830	[105]
Эклогиты (из 6)	0,23	160	2100	—	74	560	
Гранатовый перидотит (из 5)	—	85	3700	800	130	2240	[68]
Эклогит (из 6)	—	170	2700	—	77	820	
Гранатовые лерцолиты из трубок Южной Аф- рики: среднее из 41	—	—	2400	870	89	2910	[136]
среднее из 4	—	—	3140	990	89,6	2690	
(MgO/Σ FeO < 4,90)	—	—					
Эклогиты трубки Ро- бертс-Виктор, среднее из 40	—	226	—	—	70	270	[135]

поле большая часть изученных объектов характеризуется содержаниями менее 600 г/т. Средние данные для хрома в кимберлитах Якутии (945 г/т для центральных и 745 г/т для северных полей) заметно уступают кларкам для дунитов и перидотитов (по данным разных авторов — от 1600 до 3500 г/т) [95, 20, 151], но остаются более высокими по сравнению со средними цифрами для базальтов (170—200 г/т). Кимберлиты Африки несколько богаче хромом (500—1600 г/т), чем сибирские кимберлиты.

Геохимию хрома в глубинных включениях из кимберлитовой трубки Обнаженная детально изучил А. В. Уханов [112], сделавший вывод о вертикальной неоднород-

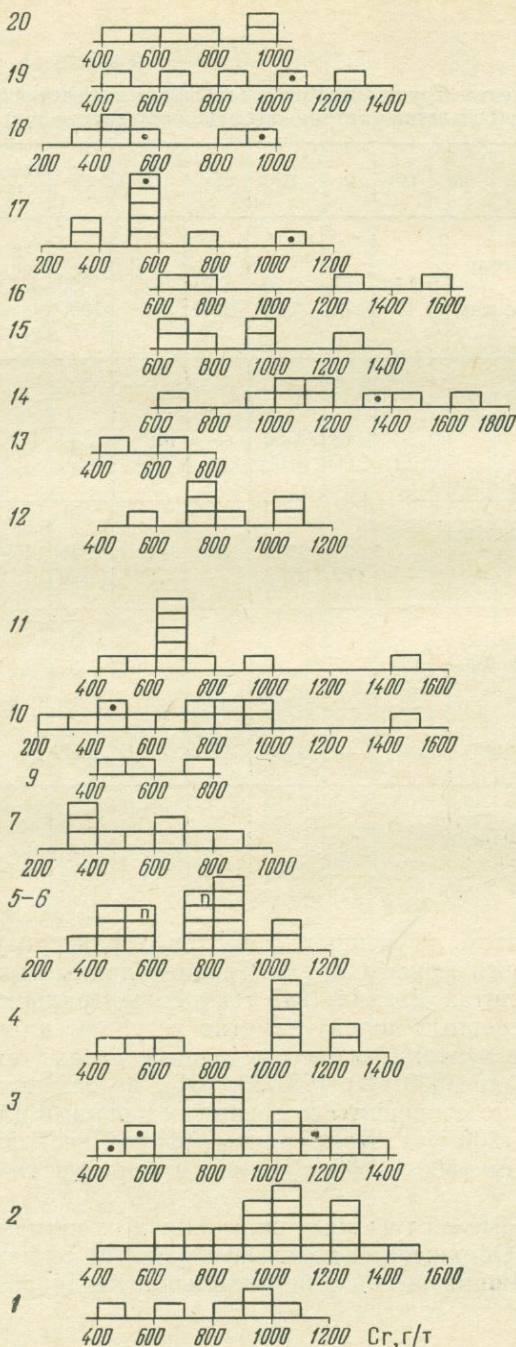


Рис. 19. Содержа-
ния хрома в ким-
берлитах и пикри-
товых порфири-
тах отдельных полей
Сибири.

Обозначения те же,
что на рис. 7

ности верхней мантии по содержанию хрома. Перидотитовые включения по концентрации хрома практически не отличаются от средних дунитов и перидотитов — 2000—4000 г/т, иногда более. В эклогитах содержания несколько ниже.

Хром в переменных количествах входит во многие первичные минералы кимберлитов — хромшпинелиды, гранаты, моноклинные пироксены (хромдиопсид), пикроильменит. Особенно высокие содержания хрома обнаружены в некоторых минералах, находимых в виде включений в алмазах [104].

Сопоставление данных о содержании хрома в аналогичных минералах кимберлитов Якутии и Южной Африки позволило высказать мнение о неоднородности мантии (более хромистый состав в Южной Африке). Впервые об этом написал П. Риквуд [195]. Более представительная выборка по ильменитам (рис. 20) подтверждает эту закономерность [44].

Марганец. Этот элемент присутствует в кимберлитах примерно в тех же концентрациях (обычно от 400 до 2000 г/т), что и в гипербазитах (1000—1600 г/т) и базальтах (1500—2000 г/т). Наиболее тесно марганец связан с железом. Корреляция марганца с суммарным железом гораздо выше, чем с закисным: соответствующие коэффициенты 0,722 против 0,246 для 25 объектов Алакитского поля; 0,720 против — 0,155 для 22 объектов Далдынского поля. Очевидно, вторичные процессы, сильно влияющие на соотношение закисного и окисного железа в кимберлитах, не сказываются на концентрации марганца. Для кимберлитов Чомурдахского и Верхне-Молодинского полей найдена прямая зависимость между содержанием в породе кальция и отношением марганца к железу (рис. 21), что говорит о вхождении марганца также в минералы кальция (скорее всего, в кальцит).

Содержание марганца в глубинных ультраосновных включениях — порядка 800—1000 г/т. Важнейшие порообразующие минералы кимберлитов в порядке роста концентрации марганца располагаются в следующий ряд: перовскит — слюда — оливин — ильменит, что примерно отвечает возрастанию содержания железа. Несколько обогащены марганцем гранаты (в нарушение связи с железом).

Кобальт. Этот элемент в кимберлитах варьирует в небольших пределах; единственное исключение — Верхне-Молодинское поле (от 40 до 238 г/т). Те же колебания средних, что и для Якутии (60—80 г/т), характерны для кимберлитов Африки. По кобальту кимберлиты за-

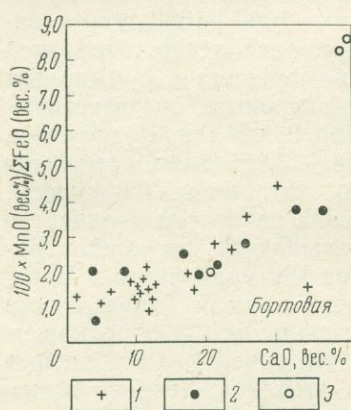
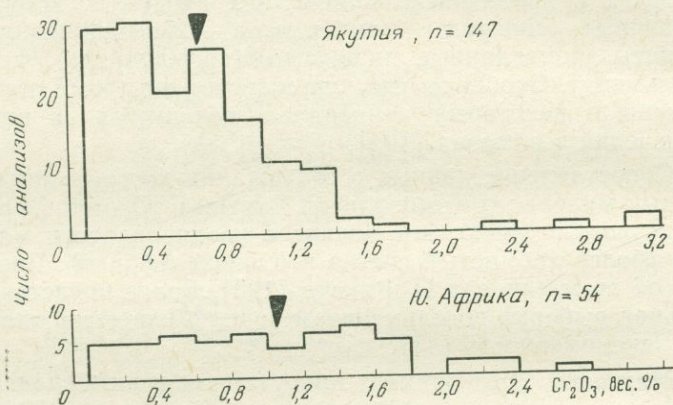


Рис. 20. Содержания хрома в ильменитах из кимберлитов Сибири и Южной Африки. Стрелками показаны средние арифметические

Рис. 21. Зависимость между содержанием кальция и отношением марганца к железу в кимберлитах. 1 — Чомурдахское поле; 2 — Верхне-Молодинское поле; 3 — то же, по данным единичных анализов

нимают среднее положение между гипербазитами (100—200 г/т) и базитами (45 г/т). В глубинных перидотитовых включениях кобальта примерно столько же или немного больше (80—140 г/т), чем в кимберлитах. Из глубинных минералов кобальт несколько накапливается в оливинах и ильменитах (120—160 г/т). В гранатах из кимберлитов 40—60 г/т кобальта, в моноклинных пироксенах — около 20 г/т. Максимальные концентрации ко-

бальта встречены в глубинных сульфидах — 8000 г/т (0,8%) в пентландите из шпинелевого перидотита из трубки Де-Бирс [131]; до 6% в пентландите из кимберлитов Якутии (А. И. Цепин, Е. Е. Лазько, 1976 г.); до 2200 г/т — в джерфшерите [108].

Никель. Распределение никеля в разных полях Сибирской провинции показано на рис. 22. Колебания содержаний для большинства изученных объектов укладываются в интервал от 200 до 1200 г/т. Заметно выделяется повышенным никелем Куойское поле, менее четко — Верхне-Мунское.

Кимберлиты Сибири по концентрации никеля (в среднем 860 г/т для центральных и 685 г/т для северных полей провинции) заметно уступают дунитам и перидотитам (1500—2500 г/т), превосходят пироксениты (400 г/т) и резко превосходят базальты (130—160 г/т). Для кимберлитов Африки намечается тенденция некоторого обогащения никелем (500—1200 г/т), по сравнению с Сибирью.

Геохимии никеля в кимберлитах Сибири посвящена работа А. В. Уханова [111]; средние содержания никеля в изученных им перидотитах и дунитах (главным образом из трубки Обнаженная) варьируют от 1390 до 3120 г/т, в пироксенитах 1100—1430 г/т, в эклогитах 680—1160 г/т. Средние данные для оливина из разных групп пород 3360—3770 г/т, для энстатита 840—1510 г/т, для моноклинного пироксена 560—840 г/т, для граната 110—180 г/т никеля.

В перидотитовых включениях из кимберлитов Южной Африки примерно столько же никеля (2000—2900 г/т), сколько в среднем дуните; перидотитовые ксенолиты из кимберлитов Сибири обнаруживают более низкие содержания (800—2200 г/т). В ильменитах из кимберлитов Сибири средние (по группам полей) [49] варьируют от 430 до 820 г/т никеля. Заметно более высокие содержания (1100—2100 г/т) приводят для ильменита из кимберлитов Южной Африки Р. Х. Митчелл [179] и Ч. Фрик (1974 г.).

Концентраторами никеля являются глубинные сульфиды. В упоминавшемся выше (см. кобальт) пентландите из шпинелевого лерцолита трубки Де-Бирс около 40% никеля; в пентландитах из кимберлитов Сибири 26—38% Ni; в джерфшеритах из кимберлитов Якутии — от 11 до 20% [108]. Из вторичных сульфидов ни-

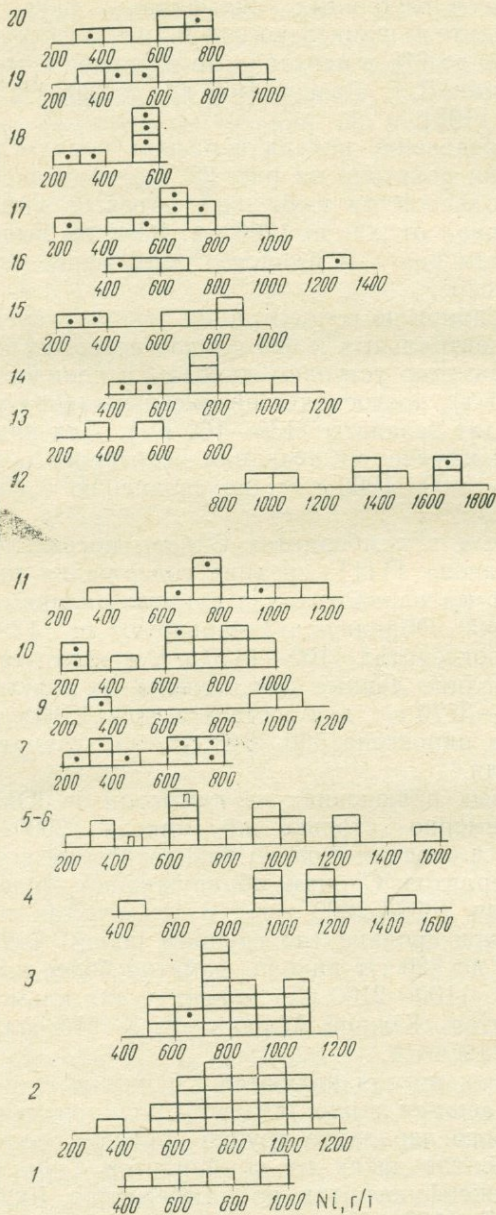


Рис. 22. Содержание никеля в кимберлитах и пикритовых порфиритах отдельных полей Сибири.

Обозначения те же, что на рис. 7

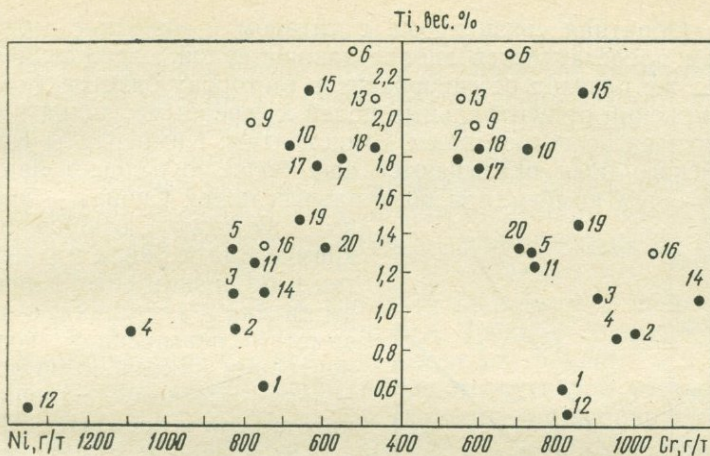


Рис. 23. Соотношение средних содержаний титана, хрома и никеля в кимберлитах отдельных полей Сибири.

Обозначения те же, что на рис. 7. Незалитые кружки отвечают средним, подсчитанным менее чем по 5 объектам

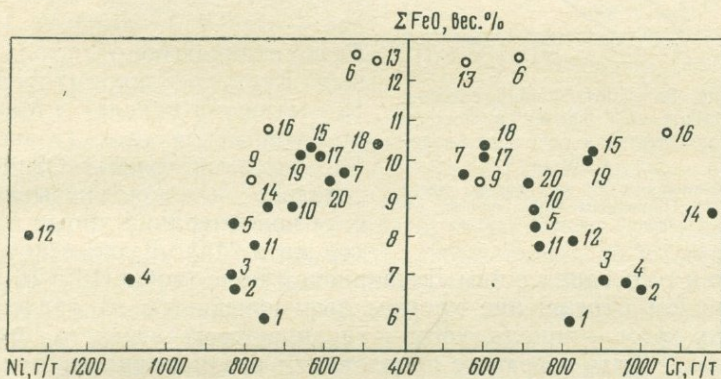


Рис. 24. Соотношение средних содержаний общего железа, хрома и никеля в кимберлитах отдельных полей Сибири.

Обозначения те же, что на рис. 7 и 23

келя в кимберлитах Сибири довольно часто (хотя и в мизерных количествах) встречается миллерит.

Соотношение хрома, никеля и других компонентов.

На рис. 23 показано соотношение хрома и никеля с титаном, на рис. 24 — тех же двух элементов с железом, на рис. 25 — хрома и никеля для средних по кимберлитовым полям Сибири.

Обратная связь хрома с титаном и никеля с титаном представляется вполне закономерной, отражающей тот же переход от гипербазитов в сторону базитов (при движении от центральных полей к северным), какой намечился по петрогенным компонентам. Кимберлиты Куойского поля оказываются еще более «ультраосновными», чем кимберлиты центральных полей Сибири — как

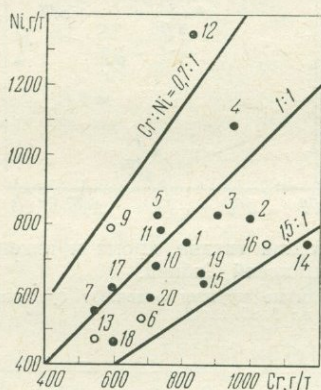


Рис. 25. Соотношение средних содержаний хрома и никеля в кимберлитах отдельных полей Сибири.

Обозначения те же, что на рис. 7 и 23. Приведены линии равных отношений хрома к никелю

по низкому отношению кремнезема к окиси магния, так и по низким содержаниям титана и алюминия, и по заметно повышенной концентрации никеля, и по довольно высокому отношению никеля к кобальту.

По величине отношения хрома к никелю большинство кимберлитовых полей Сибири укладываются в сравнительно узкий интервал — от 0,9:1 до 1,35:1. Резко отличаются от остальных Куойское поле (точка 12 — высокий никель) и Мало-Куонамское поле (точка 14 — высокий хром). Относительно высокой оказывается концентрация хрома не только в Мало-Куонамском,

но и в соседнем с ним Лучаканском поле (точки 15 и 16), причем обогащение хромом вырисовывается на графиках хром — никель, хром — титан, и хром — железо, что может быть связано с проявлением неоднородности мантии в пределах Сибирской провинции.

Внутри кимберлитовых полей Сибири намечаются локальные участки, отличающиеся друг от друга по величине отношения хрома к никелю. Так, в Алакитском поле в трубках Искорка, Коллективная и Светлая это отношение колеблется от 0,72 до 1,24; среднее по 4 объектам 0,92. Для группы Дружба—Снежинка—Сытыканская от 0,92 до 1,31; среднее из 6 — 1,15. В группе от Веселой и Начальной до Мархинской и Киры от 1,17 до 1,70; среднее из 7 — 1,37. В Далдынском поле картина менее четкая, но и здесь в Удачной-Западной и

Удачной-Восточной отношение хрома к никелю 0,67 и 0,72; а в соседней группе трубок от Полярной до Малютки от 1,25 до 1,67. По-видимому, сведения о соотношении элементов группы железа, наряду с другими геохимическими данными, позволят уточнить группировку кимберлитовых тел и дадут возможность делать обоснованные заключения о наличии или отсутствии генетического родства между трубками, расположенными по соседству друг с другом.

Отношение никеля к кобальту практически пропорционально концентрации никеля. Средние отношения для кимберлитов Сибири (12 : 1 для центральных и 9 : 1 для северных полей) занимают промежуточное положение между соответствующими данными для перидотитов (15 : 1) и пироксенитов (6 : 1). Уменьшение этого отношения от центра провинции к северу (исключая аномальное Куойское поле) согласуется с изменением в том же направлении других петрохимических и геохимических особенностей кимберлитов Сибири.

СКАНДИЙ

Скандий в отечественных кимберлитах изучался В. К. Маршинцевым и Л. С. Сукневой [24] — среднее по 20 определениям — 15 г/т при колебаниях от 10 до 27 г/т; Л. С. Бородиным с соавторами [12]. Среднее содержание для 53 трубок центральных полей, по их данным [12], 10 г/т при колебаниях от 4 до 22 г/т, а для кимберлитов северных полей 20 г/т при колебаниях от 9,2 до 34 г/т. Приводимые нами данные о содержании скандия получены в ЦНИГРИ В. М. Кулигиным методом ИНАА (149 проб) и во ВНИИЯГГе М. В. Коровиной методом спектрального количественного анализа (46 проб).

При сопоставлении наших данных и цифр Л. С. Бородина и др. [12] выявляется хорошая сходимость между ними для большинства кимберлитовых полей, и лишь для массивных разностей кимберлитов северных полей и особенно для пикритовых порфиритов данные Л. С. Бородина и др. [12] в 1,2—1,5 раз выше, чем у нас. Сводные данные по содержанию скандия в кимберлитовых и родственных им породах помещены в табл. 60.

Из анализа результатов следует, что наблюдается явная тенденция увеличения содержания скандия от кимберлитовых тел центральных районов к северным. В Далдынском поле аномально высокие содержания скандия оказались в трубке Загадочной (17 г/т), что увязывается с особенностями ее состава, выраженными в повышенном содержании клинопироксена и пироба. Повышенным содержанием скандия характеризуются

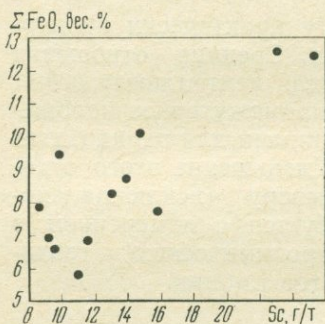


Рис. 26. Соотношение содержаний скандия и общего железа в кимберлитах и родственных им породах Сибири.

массивные разности кимберлитовых пород. В слюдяных кимберлитах концентрация скандия выше, чем в бесслюдяных. Особенно повышается количество скандия в пикритовых порфиритах поля кимберлитов (23—25 г/т против 10—15 в кимберлитах). Вполне возможно, что это связано как с повышенным содержанием общего железа (рис. 26), так и с несколько повышенным содержанием пироксена в этих разностях. Особенно характерным представляется повышенное количество скандия (см. табл. 60) в ингилитах (15,3—31,8 г/т,

среднее из 9—23,2 г/т), что находит объяснение в их существенно пироксеновом составе, поскольку оливин в отношении скандия характеризуется пониженной изоморфной емкостью. В пироксенах же, в особенности моноклинных, скандий легко замещает Mg и Fe^{2+} благодаря одновременному замещению Si на Al.

Для оценки возможного влияния ксенолитов осадочных пород на содержание скандия в кимберлитах было проанализировано 8 проб осадочных пород палеозоя (среднее — 2,7 г/т при вариациях от 1,4 до 4,2 г/т) и общая проба ксенолитов осадочных пород из кимберлитов Алакитского поля (2,0 г/т). Очевидно ксенолиты осадочных пород, попадая в анализируемые пробы, могут несколько занижать истинные содержания скандия в кимберлитах. Сказанное иллюстрируется данными для кимберлитовых брекчий некоторых трубок Верхне-Молодинского поля, содержащих песчаный материал (трубки Гранатовая, Маричка, Одиночка, Снежная). В них ко-

личество скандия (6—10 г/т по 4 образцам) оказывается несколько ниже, чем в других кимберлитовых телах этого поля.

Сведения о содержании скандия в кимберлитах Африки имеются в нескольких публикациях: Е. Д. Кейбл, Х. В. Феск, Дж. Дж. Гурни [167], А. М. Штюбера и Г. Г. Гольса [200], Дж. Ц. Нормана и Л. Хаскина [185], Дж. Б. Даусона [140], А. Джанс [166] и Р. Х. Митчелла и А. О. Брунфельта [181]. Из перечисленных авторов А. Джанс [166] определял скандий методом спектрального анализа. В остальных работах, сведения из которых помещены в табл. 63, использован метод ИНАА.

Содержание скандия в африканских кимберлитах колеблется от 7,7 до 24 г/т, при этом среднее значение для бесслюдяных разностей равно 9,6 г/т, а для слюдистых 19,4 г/т. Наибольшее содержание (24 г/т) обнаружено в слюдистом кимберлите тела Муллерсвли. Таким образом, здесь, как и в отечественных кимберлитах, количество скандия увеличивается от бесслюдяных к слюдяным разностям.

Скандий в ультраосновных включениях из Сибирских кимберлитов (табл. 64) изучался Б. Г. Лутцем [71] в 19 образцах (количественный спектральный метод) и А. В. Ухановым [113]. Наиболее низкими содержаниями характеризуются оливиниты, дуниты и перидотиты (8 г/т) — существенно оливинсодержащие породы. В гранатовых перидотитах скандия больше (19 г/т), особенно резко его количество увеличивается в эклогитах (29—91 г/т) — породах, состоящих из минералов-носителей скандия. В ультраосновных включениях из кимберлитов и базальтов зарубежных провинций как будто наблюдается та же тенденция (табл. 65). Однако часть перидотитов характеризуется резко повышенной концентрацией скандия (34—55 г/т). Концентрация скандия в эклогите из трубки Стокдейл оказалась неожиданно низкой (14 г/т). Сростки ильменита и пироксена характеризуются средними значениями (21—23 г/т), хорошо коррелирующимися с содержанием скандия в составяющих сростки минералах.

Скандий в минералах кимберлитов изучался В. В. Бурковым [14], В. К. Маршинцевым и Л. С. Сукневой [24] методом количественного спектрального анализа (табл. 66).

Содержание скандия в кимберлитах зарубежных провинций, г/т
(в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Провинция, трубка (количество анализов)	Sc	Источ- ник	Провинция, трубка (количество анализов)	Sc	Источ- ник
Южная Африка			Холлидей и Де-Бруйн (1)	23,6	[167]
Премьер, коричневый кимберлит (7)	$\frac{9,0-12,5}{11,4}$	[167]	Де-Бруйн (3)	$\frac{21,0-24,5}{22,3}$	[167]
	$\frac{8,3-9,3}{8,8}$			$\frac{16,1}{16,0-18,6}$	
Премьер, серый кимберлит (4)	$\frac{8,4-10,3}{9,5}$	[167]	Мартин и Де-Бруйн (1)	16,1	[167]
	11,4		Де-Бруйн (3)	17,6	[167]
Премьер, черный кимберлит (4)	$\frac{9,8-11,6}{10,6}$	[167]	Муллерсвли (1)	23,4	[167]
	17,1		Свартруггенс (4)	$\frac{16-24}{21}$	[181]
Кимберлей (1)	19	[181]	Лесото		
Коффифонтейн (10)	15	[181]	Као	12,9	[200]
Дютойтспен (1)	$\frac{9,4-10,4}{9,9}$	[185]	Таба-Путсоа	17,8	[200]
Весселтон (6)	$\frac{7,7-10,3}{9,4}$	[167]	Среднее	14	
Монастери (1)	$\frac{7,8-9,0}{8,8}$	[167]	Восточная Африка		
Эбенезер-Восточный (5)	$\frac{17,1-20,8}{18,9}$	[167]	Мвадуи (Танзания) (2)	$\frac{3,4-3,7}{3,6}$	[185]
	18,9		Западная Африка		
Эбенезер-Западный (5)			Габон (8)	15	[166]
Жила Уотер (10)			Северная Америка		
			Изон-Крик (1)	14	[181]
Жила Боббеджан (2)			Исландия		
			Сомерсет (1)	8	[181]

Содержание скандия во включениях глубинных пород
из Сибирских кимберлитов, г/т
(в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Поле, трубка	Порода (количество образцов)	Sc	Источ-ник
Куойское, Обнаженная	Оливиниты, дуниты, пе- риidotиты	8	[113]
	Гранатовые перидотиты	19	
	То же (5)	$\frac{10-39}{26}$	
	Среднее для перидотитов	22,5	
Куойское, Обнаженная	Гранатовый энстатит (2)	$\frac{52-54}{53}$	[71]
	Эклогит (5)	$\frac{26-75}{49}$	
Далдынское, Удачная	Эклогитоподобная поро- да (3)	$\frac{30-92}{52}$	[71]
	Шпинелевый лерцолит (2)	$\frac{24-26}{25}$	

Дж. Дж. Гурни и др. [159] скандий определялся мето-
дом ИНАА в клинопироксене и ильмените из кимберли-
та трубки Монастери (соответственно 26,7 и 22,6 г/т).
Скандий в виде примеси входит в состав многих мине-
ралов кимберлитов и распределен в них крайне нерав-
номерно, что обусловлено геохимическими особенностя-
ми этого элемента. Содержание скандия в оливинах (по
Гольдшмидту) равно 7 г/т, а в пироксенах 100 г/т. Со-
ответственно дуниты характеризуются низким по срав-
нению с пироксенитами содержанием скандия. В оливи-
нах из кимберлитов скандий содержится в количестве
10—12 г/т, в серпентине его количество несколько сни-
жается (7,5 г/т), а в хромдиопсиде (и вероятно, вообще
в пироксенах из кимберлитов) скандия в среднем 41 г/т.
Во флогопите скандия в два раза больше, чем в оливи-
нах. Отсюда очевидно, что в наименее измененных раз-
ностях кимберлитов содержание скандия будет увеличи-

Содержание скандия в глубинных включениях
из кимберлитов и базальтов зарубежных провинций, г/т

Трубка, регион	Порода (№ обр.)	Sc	Источник
Весселтон (Южная Африка)	Гранатовый перидотит (А-7, А-8)	5,3	[200]
Робертс-Виктор (Южная Африка)	Перидотит (А-9)	1,4	
Бултфонтейн (Южная Африка)	Перидотит (А-20)	8,4	
Мвадуи (Танганьика)	Перидотит (А-11)	9,0	
Мвадуи (Танганьика)	Перидотит (А-12)	33,8	
Юго-Западная Африка	Гранатовый перидотит (А-18)	9,8	
Виссер (Восточная Африка)	Эклогит (А-21)	60,0	
Монастири (Южная Африка)	Сростки ильменита с клинопироксеном (201)	23,5	[172]
То же	То же (206)	21,3	
" "	То же (212)	23,0	
" "	Клинопироксен (212)	24,4	
" "	Ильменит (212)	20,5	
Стокдейл, Канзас (Северная Америка)	Эклогит (б/н)	14	[204]
Зона рифта Кергулен (Уганда)	Перидотит (А-19)	47,0	[200]
Новый Южный Уэльс (Австралия)	Перидотит (10-1)	7,5	
Мексика	Перидотит (6)	13,0	
Гавайи 1801	Перидотит (Мех-1)	8,5	
Гвадалупа	Перидотит	50,7	
Галапагос	Перидотит	9,7	
Кипр	Перидотит (2-1)	55,0	
	Перидотит	9,3	

ваться от ультраосновных-дунитовых (или перидотитовых) разностей этих пород к щелочно-ультраосновным, по петрохимическим особенностям примыкающим к щелочным базальтоидам, так как в этом направлении увеличивается содержание слюды и пироксенов.

Характерной геохимической чертой этого элемента также является его родство по ряду физических и хими-

Содержание скандия в минералах кимберлитов, г/т

Минерал	По В. К. Маршинцеву и Л. С. Сукневой [24]				По В. В. Буркову [14]			
	Количе- ство анали- зов	От	До	Сред- нее	Количе- ство анали- зов	От	До	Сред- нее
Оливин	3	10	14	10	5	—	2	2
Серпентин	1	—	—	—	12	3	9	6
Хромдиопсид и диопсид	10	32	57	41	1	—	—	52
Флогопит	2	10	30	20	2	—	—	39
Гранат	84	50	165	99,6	18	3	91	27
Хромшпинелид	4	10	14	11	—	—	—	—
Ильменит	13	10	39	27	12	2	27	12
Перовскит	1	—	—	30	—	—	—	—
Магнетит	14	21	51	39	2	—	—	—
Бадделейт	1	—	—	400	—	—	—	—

ческих свойств с редкоземельными элементами, особенно с элементами иттриевой группы [8]. Эта особенность проявилась в концентрации скандия в бадделеите (400 г/т) и в меньшей мере в перовските (30 г/т скандия при TR 2,02%). Бадделейт — скандиеносный минерал карбонатитового типа. Поскольку бадделейт в кимберлитах крайне редок, повышенные концентрации скандия в нем не повышают его содержание в валовой пробе породы. В трубке Айхал содержание скандия остается на том же уровне, что и в других кимберлитовых телах Алакитского поля (см. табл. 60).

Повышенные содержания скандия наблюдаются также в гранатах (от 50 до 165 г/т), что объясняется особенностями их состава. Гранаты из кимберлитов характеризуются высоким содержанием пиропового компонента (до 70%) и 15—20% альмандинового компонента. Кроме того, для них характерно высокое содержание редкоземельных элементов иттриевой группы (YTR 82%; TR 3,7 г/т). Как показано В. К. Маршинцевым, с ростом интенсивности окраски гранатов наблюдается тенденция увеличения в них содержания скандия, что объясняется связью окраски с концентрацией хрома и железа. Аналогичная картина наблюдается и по данным Дж. Дж. Гурни и др. [172] (табл. 67); с ростом хрома в гранатах повышается содержание скандия.

Содержание скандия в гранатах разных цветовых групп, г/т

Группы гранатов по окраске	По В. К. Маршнцеву и Л. С. Сукневой, [24]				По Дж. Дж. Гур- ни и др. [172]
	Число опре- делений	От	До	Сред- нее	
Розовые с оранжевым оттенком	12	50	100	76	—
Оранжево-красные и оранжевые	20	60	110	81	86,5
Розовые с фиолетовым оттенком	15	62	150	100	—
Красные	17	75	140	96	92,9
Фиолетово-красные и фиолетовые	20	75	165	124	99,5

Количество скандия в ильменитах из кимберлитов Южной Африки колеблется в интервале 12—27 г/т [172]. Примесь скандия (от $<0,004$ до $4,15 \cdot 10^{-7}\%$) определена в алмазах [165].

В цирконах из кимберлитов скандий, к сожалению, не определялся, хотя этот минерал может оказаться носителем скандия.

Распределение скандия в породообразующих и акцессорных минералах кимберлитов, а также известные общие закономерности его распределения в породообразующих минералах ультраосновных и основных пород позволяют оценить его поведение при формировании кимберлитов. Главная масса скандия концентрируется в минералах ранних этапов становления кимберлитов. Некоторое количество этого элемента концентрируется в гипабиссальных условиях — в оливинах второй генерации, пироксенах, слюде и перовскитах, а на заключительных этапах при формировании карбонатитов, ассоциирующих с кимберлитами, скандий накапливается в бадделците, а, возможно, также в пирохлоре и монаците.

Кимберлиты по сравнению с хондритами (6—9 г/т) и дунитами (3—9 г/т) оказываются несколько обогащенными скандием. Наиболее близки по содержанию скандия к кимберлитам перидотиты (11—14 г/т), а массивные разности кимберлитовых пород, ассоциирующие

с кимберлитами пикритовые порфириды и особенно ингилиты по количеству скандия приближаются к некоторым разностям основных пород (24—46 г/т) и пироксенитам (32—91 г/т).

ЦИРКОНИЙ И ГАФНИЙ, НИОБИЙ И ТАНТАЛ

Цирконий и гафний. Первые оценки содержаний циркония и гафния в кимберлитовых породах базировались на данных полуколичественного спектрального анализа [67, 140, 51, 6]. В последнее время они пополнились более точными результатами количественного спектрального анализа [110, 12]. В. В. Бурков и Е. К. Подпорина [15] первыми произвели химические определения содержаний циркония в кимберлитах Якутии. Их цифры оказались меньшими по сравнению с данными спектральных анализов. Для африканских кимберлитов определения содержания Zr и Hf немногочисленны [172, 181, 167 и др.].

В дополнение к имевшимся результатам нами были определены содержания Zr и Hf в 21 пробе кимберлитовых и родственных им пород. Анализ выполнялся В. Д. Цыханским (ГЕОХИ СО АН СССР) спектрохимическим методом с предварительным химическим концентрированием Zr и Hf. Кроме того, использованы данные химического определения циркония в 48 пробах кимберлитов Якутии, произведенного в ИГПИ АН УССР (аналитики Ю. В. Шевченко и Б. М. Туркович). Результаты спектрохимического и химического анализов близки между собой, тогда как количественные спектральные определения лаборатории ИМГРЭ [12] меньше их в 1,5—3 раза. С другой стороны, количественные спектральные определения лаборатории НИИГА [110] часто дают более высокие цифры. Поэтому для вычисления средних содержаний циркония нами за основу приняты данные спектрохимического анализа. Химические и спектральные определения даются нами только в качестве ориентировочных цифр.

Содержания гафния для якутских кимберлитов получены нами впервые, поэтому они приняты для оценки без корректировки.

Все результаты определения Zr и Hf в кимберлитах сведены в табл. 68—70. В них, помимо данных авторов, учтены материалы Ю. И. Томановской [110], Л. С. Бо-

Таблица 68

Содержание циркония и ниобия в кимберлитах и родственных им породах Сибирской провинции, г/т

Трубка	Zr	Nb	Zr в ильмените
Кимберлиты			
Алакитское поле			
Веселая	92	142	Не опр.
Дружба	143	141	290
Искорка	94	152	410
Коллективная	42	53	399
Липа	190	190	Не опр.
Магистральная	127	92	Не опр.
Мархинская	220	173	Не опр.
Маршрутная	234	164	255
Москвичка	78	114	Не опр.
Начальная	144	138	Не опр.
НИИГА	175	117	309
Октябрьская	221	110	Не опр.
Светлая	101	57	428
Смежная	184	153	Не опр.
Снежинка	147	129	Не опр.
Сытканская	100	141	426
Далдынское поле			
Академическая	162	84	560
Аэромагнитная	135	121	Не опр.
Аэросъемочная	Не опр.	83	610
Геофизическая	218	66	430
Дайка Геофизическая	Не опр.	63	177
Дайковая	102	93	Не опр.
Дальняя (порфир. кимб.)	112	Не опр.	Не опр.
Загадочная	254	290	447
Зимняя	110	57	Не опр.
Иксовая	69	32	Не опр.
Ленинградская	124	105	285
Малютка	82	119	708
Молодежная	113	95	280
Невидимка	65	61	Не опр.
Осенняя	72	70	479
Полуночная	124	96	Не опр.
Полярная	159	128	Не опр.
Сибирская	141	98	Не опр.
Соседняя	68	72	Не опр.
Украинская	Не опр.	107	543
Фестивальная	109	120	540
Якутская	92	91	405

Продолжение табл. 68

Трубка	Zr	Nb	Zr в ильмените
Верхне-Мунское поле			
Верхняя	132	85	Не опр.
Заполярная	102	111	Не опр.
Зимняя	163	157	799
Комсомольская-			
Магнитная	127	124	Не опр.
Легкая	212	177	Не опр.
Малая	227	Не опр.	Не опр.
Новинка	190	90	792
Поисковая	125	140	Не опр.
325 лет Якутии	178	137	672
Чомурдахское поле			
Дайка Бортовая	Не опр.	353	Не опр.
Дайка Водораздельная	Не опр.	180	Не опр.
Дружба	400	118	Не опр.
Ильменитовая	350	146	Не опр.
Надежная	91	95	100
Снежинка	Не опр.	83	290
Уральская	502	131	619
Омонос-Кутугунское поле			
Омонос	316	170	Не опр.
Русловая	Не опр.	152	Не опр.
Северная	Не опр.	53	Не опр.
Южная	Не опр.	89	Не опр.
Аномалия 15	375	Не опр.	Не опр.
Аномалия 18а	605	Не опр.	Не опр.
Аномалия 23	363	Не опр.	Не опр.
Аномалия 48	370	Не опр.	Не опр.
Аномалия 52	340	Не опр.	Не опр.
Аномалия 65	500	Не опр.	Не опр.
Аномалия 71	740	Не опр.	Не опр.
Нижне-Укукитское поле			
Дайка рч. Дружеского	Не опр.	138	Не опр.
Кубанская	Не опр.	108	437
Широтная	Не опр.	100	Не опр.
Огоньор-Моторчунское поле			
Аэрогеологическая	163	39	175
Петроградская	Не опр.	29	Не опр.

Продолжение табл. 68

Трубка	Zr	Nb	Zr в иль- мениите
Мерчимденское поле			
Крошка	Не опр.	81	Не опр.
Львиная лапа	380	100	Не опр.
Надежда	351	127	Не опр.
Немагнитная	186	37	Не опр.
Неуловимая	366	189	Не опр.
Подснежная	570	118	Не опр.
Флогопитовая	223	131	257
Куойское поле			
Второгодница	296	135	301
Глубокая	326	83	Не опр.
Оливиновая	Не опр.	115	Не опр.
Пятница	200	51	268
Русловая	330	28	Не опр.
Слюдянка	148	48	463
Мало-Куонамское поле			
Куранахская	323	Не опр.	Не опр.
Малокуонамская	295	Не опр.	Не опр.
Сенкю-Южная	340	Не опр.	Не опр.
Университетская	310	159	510
Лучаканское поле			
Двойная	247	55	260
Отрицательная	150	Не опр.	294
Поздняя	297	89	358
Флажок	170	Не опр.	Не опр.
Средне-Куонамское поле			
Арктика	263	150	Не опр.
Вечерняя	320	Не опр.	Не опр.
Незабудка	240	150	Не опр.
Полярная	1300	Не опр.	Не опр.
Нижне-Куонамское поле			
Июльская	460	Не опр.	Не опр.
Майская	290	Не опр.	Не опр.
Мачала	210	124	Не опр.
Ухтинская	470	Не опр.	Не опр.
Аномалия 14	360	Не опр.	Не опр.

Продолжение табл. 68

Трубка	Zr	Nb	Zr в иль- мениите
Пикритовые порфириды			
Чомурдахское поле			
Дайка Горняцкая	400	150	Не опр.
Дайка Сопка	300	176	Не опр.
Куойское поле			
Дайка Монтичеллитовая	284	211	Не опр.
Мало-Куонамское поле			
Синийская	Не опр.	118	Не опр.
Дайка Тамах	60	100	Не опр.
Лучаканское поле			
Оригинальная	315	220	Не опр.
Тело Тройное	280	Не опр.	Не опр.
Улахан-Лучакан	280	280	Не опр.
Юлегир-Черас	160	Не опр.	Не опр.
Средне-Куонамское поле			
Альфа	130	110	Не опр.
Бета	185	140	Не опр.
Геофизическая	370	Не опр.	Не опр.
Зенит	410	Не опр.	Не опр.
Небайбыт	333	270	Не опр.
Нижне-Куонамское поле			
Виктория	480	200	Не опр.
Лесная	180	Не опр.	Не опр.
Джо-Северная	233	Не опр.	210
Предмайская	390	Не опр.	Не опр.
Привет	420	190	Не опр.
Тылкача	300	48	Не опр.
Улыбка	305	160	Не опр.

Таблица 69

Содержание циркония, гафния, ниобия и тантала в кимберлитовых и родственных им породах Сибирской провинции, г/т

Трубка	Zr	Hf	Nb	Ta	Zr/Hf	Nb/Ta
Кимберлитовые породы						
Мало-Ботуобинское поле						
Интернациональная	122	1,95	131	2,9	62,5	45,2
Мир	67,3	1,6	47,5	1,75	42,1	27,2
Спутник *	Не опр.	Не опр.	90	6,0	—	15,0
Таежная	221	3,4	153	8,1	65,0	18,9
Им. XXIII съезда КПСС	144,5	2,3	125	2,9	62,7	43,1
Среднее	138,7	2,3	114,1	3,9	60,3	29,3
Алакитское поле						
Айхал	119	2,3	108	4,4	51,8	24,5
Сувенир	178	4,0	219	11,4	44,5	19,2
Среднее	148,5	3,15	163,5	7,9	47,2	20,7
Далдынское поле						
Дальняя (брекчия)	163	3,7	151	14,4	44,0	10,5
Зарница	121	2,7	49,2	3,6	44,8	13,7
Удачная-Восточная	56,8	1,9	85,7	5,3	29,9	16,2
Удачная-Западная	66	1,6	94	4,7	41,3	20,0
Среднее	101,7	2,5	95,0	7,0	40,7	13,6
Чомурдахское поле						
Чомур	190	4,0	170	3,5	47,5	48,5
Омонос-Кутугунское поле						
Ленинград	102	1,0	112	5,0	102,0	22,4
Эгиэнтэй	239	4,0	252	5,0	60,0	50,4
Среднее	170,5	2,5	182	5,0	68,2	36,4

Продолжение табл. 69						
Трубка	Zr	Hf	Nb	Ta	Zr/Hf	Nb/Ta

Нижне-Укукитское поле						
Дайка Укукит	229	3,0	206,5	9,0	76,3	22,9
Огоньор-Моторчунское поле						
Фестивальная	160	5,0	150	7,0	32,0	21,4
Куойское поле						
Муза	100	2,0	44	1,2	50,0	36,7
Обнаженная	90	2,0	125	5,0	45,0	25,0
Среднее	95	2,0	84,5	3,1	47,5	27,3
Средне-Куонамское поле						
Баргыдамалах-Южная	Не опр.	Не опр.	80	9,0	—	8,9
Среднее для кимберлитов	133,6	2,73	121,9	5,79	48,9	21,1
Пикритовые порфириды, ингилиты						
Мерчимденское поле						
Буратино	334	7,4	212	11,5	45,2	18,4
Куойское поле						
Дайка Великан	Не опр.	Не опр.	250	7,0	—	35,7
Ингилийское поле						
Нина	500	7,0	120	5,0	71,4	24,0
Дайка № 6	620	13,0	180	6,0	47,7	30,0
Среднее	560	10,0	150	5,5	56,0	27,3

* Образец содержит обильный песчаный материал; данные по этому образцу не включены в подсчет средних.

Таблица 70

Содержание циркония, гафния, ниобия и тантала
в кимберлитах зарубежных провинций, г/т

Поле, кимберлитовое тело	Zr	Hf	Nb	Ta	Zr/Hf	Nb/Ta
Африканская провинция						
Поле Луангва (Замбия)						
АК-1	Не опр.	6,1	Не опр.	9,8	—	—
АК-2	Не опр.	4,6	Не опр.	6,4	—	—
Среднее	—	5,35	—	8,1	—	—
Поле Претория						
Премьер	106	2,5	67,9	9,5	42,4	7,15
Свартрюнгенс	Не опр.	11	Не опр.	9	—	—
Среднее	106	6,75	67,9	9,25	15,7	7,3
Поле Кимберлей						
Жила Боббеджан (Беллсбанк)	291	6,6	169	10,8	44,0	15,6
Весселтон	Не опр.	12	Не опр.	12	—	—
Дютойтспен	218	Не опр.	101	Не опр.	—	—
Жила Мейн (Беллсбанк)	300	6,6	157	8,4	45,5	18,7
Жила Уотер (Беллсбанк)	140	3,0	41	1,9	46,7	21,6
Среднее	237	7,05	117	8,3	34,6	14,1
Поле Ягерсфонтейн						
Коффифонтейн	118	2,7	50	3,1	47,3	16,1
Эбенезер-Восточная	141	3,1	82	4,2	45,5	19,5
Эбенезер-Западная	130	3,1	43	2,6	44,0	16,5
Среднее	130	3,0	58,3	3,3	44,0	17,7
Поле Винбург						
Монастери	Не опр.	16	Не опр.	18	—	—

Продолжение табл. 70

Поле, кимберлитовое тело	Zr	Hf	Nb	Ta	Zr/Hf	Nb/Ta
Поле Лесото-Западное						
Нгопетсоу (автолит)	565	Не опр.	355	Не опр.	—	—
Поле Лесото-Восточное						
Као-1	150	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Као-1 (автолит)	324	Не опр.	145	Не опр.	—	—
Мотае	144	Не опр.	88,5	5,33	—	20,6
Мотае (автолит)	233	Не опр.	113	Не опр.	—	—
Дайка 95 (Коеаненг)	170	Не опр.	80	4,58	—	17,5
Дайка 99 (Лайпланенг)	265	Не опр.	250	11,40	—	21,9
Трубка 200 (автолит)	431	Не опр.	289	Не опр.	—	—
Среднее (без автолитов)	182,3	—	146,7	7,10	—	20,7
Муллерсвли	304	6,8	105	6,6	44,7	15,9
Среднее для Африканской провинции (без автолитов)	190,5	6,47	102,9	7,73	29,4	13,3
Индийская провинция						
Поле Панна						
Инота	Не опр.	27,7	Не опр.	13,8	—	—
Маджгаван	Не опр.	21,1	Не опр.	13,9	—	—
Среднее	—	24,35	—	13,85	—	—
Поле Ананта-Пур						
Вайракарур	Не опр.	4,9	Не опр.	14,5	—	—
Латтаварам	Не опр.	3,3	Не опр.	13,1	—	—
Среднее	—	4,1	—	13,8	—	—
Среднее для Индийской провинции	Не опр.	14,25	Не опр.	13,83	—	—

Поле, кимберлитовое тело	Zr	Hf	Nb	Ta	Zr/Hf	Nb/Ta
Северо-Американская провинция						
Поле Фредерикшаб (Гренландия)						
Дайка Зондре						
Изорток	Не опр.	7,4	Не опр.	80,6	—	—
Силл Мидтернаес	Не опр.	3,0	Не опр.	8,1	—	—
Дайка Нигердликасик	Не опр.	4,4	Не опр.	10,2	—	—
Силл Пирамидерфельд	Не опр.	4,0	Не опр.	8,7	—	—
Среднее	—	4,7	—	9,0	—	—
О. Сомерсет						
Дайка	Не опр.	Не опр.	Не опр.	6	—	—
Поле Киркленд						
Дайка Киркленд-Лейк	130	Не опр.	215	Не опр.	—	—
Айзон-Крик	Не опр.	Не опр.	Не опр.	15	—	—
Среднее для Северо-Американской провинции	130	4,70	215	9,60	27,7	22,4
Среднее для Сибири и Африки	162,0	4,60	112,4	6,76	35,2	16,6

Примечание. При подсчете средних не учитывались также «ураганные» содержания тантала в дайке Зондре-Изорток Северо-Американской провинции. В скобках указаны данные по Zr и Nb, надежные определения которых выполнены не для всех провинций.

родина с соавторами [12] и любезно переданные нам данные В. А. Кудрявцева. Содержания Zr и Hf в зарубежных кимберлитах приведены по литературным данным.

На рис. 27 фигуративные точки, отвечающие кимберлитам Сибири, образуют довольно обширное поле с вариациями отношения Zr/Hf от 30 до 100. Намечается тенденция уменьшения этого отношения от центральных

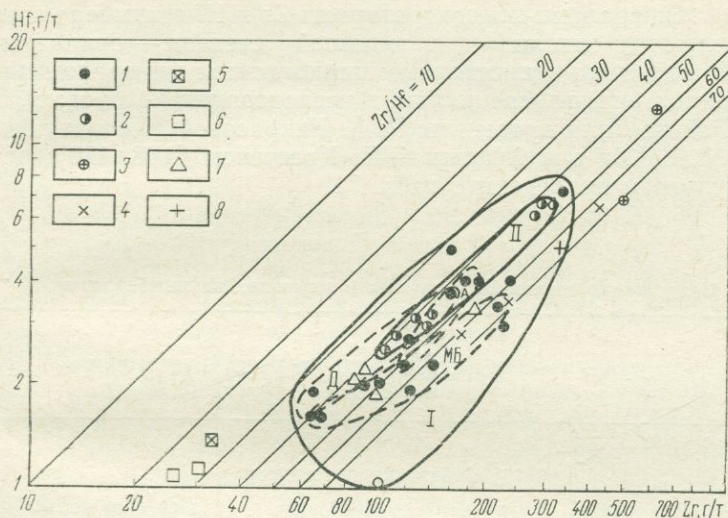


Рис. 27. Содержания циркония и гафния в кимберлитовых и других породах.

1 — кимберлиты Сибири; 2 — кимберлиты Африки; 3 — ингилиты; 4 — щелочные базальтоиды; 5 — каменные метеориты; 6 — ультрабазиты; 7 — базальты и толенты; 8 — щелочно-ультраосновные породы. Поля: I — сибирских кимберлитов; II — африканских кимберлитов. Районы: МБ — Мало-Ботубинский, А — Алакитский, Д — Далдынский

районов Сибирской платформы к северо-востоку. Африканские кимберлиты образуют более узкое поле и в среднем характеризуются более низкими величинами отношения Zr/Hf , главным образом благодаря повышенному содержанию Hf. Обособляются поля кимберлитовых брекчий и жильных кимберлитов; последние резко обогащены цирконием и гафнием.

В целом содержания Zr и Hf в кимберлитах ниже, а отношение Zr/Hf выше, чем в кислых и средних коровых породах [83]. С другой стороны, содержания этих элементов в кимберлитах выше, чем в ультрабазитах и каменных метеоритах. По содержанию Zr и Hf кимберлиты наиболее близки к щелочным базальтоидам, значительная часть точек которых попадает в поле кимберлитов. В среднем же щелочные базальтоиды обогащены этими элементами, как и родственные кимберлитам ингилиты.

Немногочисленные анализы Zr во включениях из кимберлитов и базальтов дают низкие концентрации (5—100 г/т) [68, 194].

Минералами-концентраторами Zr и Hf в кимберлитах являются окислы и, в меньшей степени,— силикаты. Практически единственным циркониевым минералом является циркон, специальные исследования которого для Сибири были проведены Р. А. Некрасовой с соавторами [82, 83], а для Африки — П. Крестеном [168, 170]; результаты приведены в табл. 71.

Таблица 71

Содержания циркония и гафния в цирконах из кимберлитов, %

Трубка	Количество анализов	ZrO ₂	Zr	HfO ₂	Hf	Zr/Hf	Источник
Сибирская провинция							
Мир	12	62,6	45,7	1,1	0,92	49,6	46, 82
Сытыканская	1	64,8	43,7	1,8	1,51	31,3	46
325 лет Якутии	3	62,8	45,8	1,5	1,26	36,4	46, 82
Дружба (Чомурдах)	3	63,9	46,7	1,8	1,56	29,9	46, 82
Чомур	3	65,2	47,7	2,0	1,70	28,0	46
Надежная	1	65,3	47,7	1,8	1,55	30,8	46
Среднее		64,1	46,9	1,7	1,41	33,2	
Африканская провинция							
Антошка	1	59,0	43,1	1,2	1,02	43,2	82
Бонанкоро	1	60,2	43,9	1,8	1,53	28,7	82
Летсенг-ла-терае	2	—	—	—	—	48	168
Дайка № 170 (Лесото)	5	—	—	—	—	39	168
Мотае	5	—	—	—	—	35	168
Као-1	4	—	—	—	—	21	168
Нзета	5	—	—	—	—	46	168
Среднее	73	—	—	—	—	38,2	170

По сравнению с широко распространенными цирконами из кислых пород кимберлитовые цирконы обеднены гафнием и благодаря этому характеризуются более высоким отношением Zr/Hf [83]. С другой стороны, они отличаются от цирконов из карбонатитов, где отношение Zr/Hf = 61 ÷ 70 [46]. Цирконы из кимберлитов наиболее близки к цирконам из щелочно-ультраосновных пород Кольского полуострова [50].

Отношение Zr/Hf в цирконах, варьирующее для каждой трубки в узких пределах, различно для Сибирской и Африканской провинций. В сибирских цирконах отношение Zr/Hf заключено в пределах 32—58 (для трубки Мир — 49,6 по 12 анализам), тогда как у африканских цирконов это отношение значительно ниже и составляет в среднем (по 73 определениям) 38,2 [170].

Другими концентраторами циркония в кимберлитах являются пикроильменит и перовскит (табл. 72). Ильмениты, содержащие такие же количества циркония, были встречены только в лунных базальтах и в породах Скаергардской интрузии.

Многочисленные данные по распределению циркония в пикроильменитах из якутских кимберлитов были получены недавно И. П. Илупиным с соавторами [49]. Проанализировав более 350 пикроильменитов из различных трубок количественно-спектральным методом, они установили колебания содержания циркония в этом минерале от 100 до 1000 г/т. Ильмениты из кимберлитов оказались несколько обеднены цирконием по сравнению с ильменитами из ингилитов и пикритовых порфириров.

В целом, судя по имеющимся данным, в ильменитах из африканских кимберлитов циркония содержится в 1,5—2 раза больше, чем в сибирских ильменитах.

В силикатах содержания Zr не превышают первых десятков грамм на 1 т [14]. Из них наиболее обогащен цирконием флогопит (70 г/т). Вероятно, этим объясняется повышенное содержание Zr в слюдяных кимберлитах, отмеченное Е. Кейблом с соавторами [167]. Не исключено также наличие некоторой примеси Zr в пироксенах кимберлитов.

Некоторая часть циркония в кимберлиты попадала во время постмагматического этапа. Об этом свидетельствует находка в трубке Айхал постмагматического бадделеита в ассоциации с апатитом и баритом (В. К. Маршинцев, 1970 г.).

Выявленные содержания циркония в силикатах не могут создавать концентрации этого элемента, устанавливаемые в породе в целом. Циркон также не может определить их, так как в этих породах является ультрааксессуарным минералом. Следует предположить, что основная часть циркония (и, вероятно, гафния) рассеяна в основной массе кимберлитовых пород.

Ниобий и тантал. До последних лет содержания нио-

Содержания циркония и гафния в минералах кимберлитовых пород, г/г
(в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Минерал	Провинция	Трубка	Количество анализов	Zr	Hf	Zr/Hf	Источник
Ильменит	Сибирская	В целом	356	$\frac{(100-1000)}{447}$	Не опр.	—	[49]
	То же	?	2	(30)	Не опр.	—	[14]
	Африканская	Као	2	$\frac{906-1089}{998}$	$\frac{24-32}{28,0}$	35,6	[181]
	То же	Монастери	3	$\frac{546-896}{754}$	$\frac{17-28}{22,7}$	33,2	
	„ „	Секаменг	2	$\frac{1094-1190}{1142}$	$\frac{37-38}{37,5}$	30,5	
	„ „	Солане	1	912	30	30,4	
	„ „	Таба-Путсоа	2	$\frac{1013-1023}{1018}$	$\frac{29-32}{30,5}$	33,4	
	Среднее			965	29,7	32,5	

Магнетит	Сибирская	Дайка Маймеча-Котуя	1	60	Не опр.	—	[36]
	Северо-Американская	О. Сомерсет	1	220	Не опр.	—	[137]
Перовскит	Сибирская	Туманность	1	340	Не опр.	—	[7]
Пироп	Сибирская	?	6	$\frac{7-22}{15}$	Не опр.	—	[14]
	Африканская	Као-1	2	$\frac{15-20}{17,5}$	Не опр.	—	[172]
Оливин	Сибирская	?	5	$\frac{0-15}{10}$	Не опр.	—	[14]
Диопсид	Сибирская	?	1	30	Не опр.	—	[14]
Флогопит	Сибирская	?	2	70	Не опр.	—	[14]
Серпентин	Сибирская	?	3	Н. о.	Не опр.	—	[14]

бия в кимберлитовых породах определялись методом полуколичественного спектрального анализа. Уже эти определения показали повышенные концентрации ниобия в кимберлитах по сравнению с вмещающими породами, что послужило основанием для использования этого явления при геохимических поисках кимберлитовых тел [67, 140]. В. А. Кудрявцевым [62] с использованием количественного спектрального метода анализа был исследован большой материал по распределению Nb в кимберлитах Якутии.

Результаты химических определений Nb и Ta для кимберлитов трубок Мир, Зарница и Удачная были опубликованы В. В. Бурковым и Е. К. Подпориной [15]; они отметили, что кимберлиты по сравнению с обычными ультрабазитами обогащены редкими элементами, в том числе Nb и Ta.

В последнее время появились новые результаты химических и инструментальных анализов Nb и Ta в кимберлитах Сибири и Африки, а также в ультраосновных включениях [93, 167, 181, 64]. Показано, что в ультраосновных включениях из кимберлитов отношение Nb к Ta уменьшается за счет сильно пониженного содержания ниобия.

Нами было произведено определение ниобия и тантала в 21 пробе кимберлитов, пикритовых порфиритов, ингилитов и щелочных базальтоидов (см. табл. 69). Анализ был выполнен В. Д. Цыханским (ГЕОХИ СО АН СССР) спектрохимическим методом с предварительным химическим концентрированием Ta и Nb. Чувствительность метода для обоих элементов 0,2 г/т из навески 10 г, ошибка определения для Nb 16%, для Ta 19%. Определения тантала, полученные нами и выполненные хроматографическим методом в ИМГРЭ [12], весьма близки между собой. Для определений ниобия, выполненных спектрохимическим методом, обнаруживаются систематически более высокие (почти в полтора раза) содержания, чем полученные хроматографическим методом. Не имея оснований отдать предпочтение какой-либо одной из этих серий определений, мы принимаем их для подсчета средних как равнозначные.

В табл. 68, 69 представлены оценки средних содержаний ниобия и тантала в кимберлитах Сибири с использованием всех имеющихся в настоящее время анализов. При этом за основу брались химические опреде-

ления. Результаты количественных спектральных определений Nb (см. табл. 68) при подсчете средних не учитывались.

Согласно полученным данным, среднее содержание Nb и Ta в сибирских кимберлитах составило соответственно 169,2 г/т и 7,38 г/т.

Содержания ниобия и тантала и их соотношение в кимберлитовых породах графически представлены на рис. 28. Сибирские кимберлиты образуют довольно широкое поле с колебаниями содержаний Nb от 35 до 250 г/т и Ta от 1 до 15 г/т, при вариациях отношения $Nb/Ta = 8 \div 50$. Африканские кимберлиты характеризуются заметно меньшим отношением $Nb/Ta = 6 \div 20$ как за счет меньших концентраций ниобия, так и за счет несколько более высоких содержаний тантала.

Средние содержания ниобия и тантала в африканских кимберлитах, вычисленные по опубликованным данным (см. табл. 70), составляют 102,9 и 7,73 г/т соответственно. Считая эти цифры и полученные раньше для кимберлитов Сибири равнозначными, мы оцениваем средние содержания Nb и Ta для кимберлитовых пород в целом в 162,3 и 9,64 г/т соответственно. Отношение Nb/Ta при этом случае составляет 16,8, что весьма близко к отношению $Nb/Ta = 15,0$ для каменных метеоритов, согласно оценке А. П. Виноградова [20].

На рис. 28 видны некоторые закономерности распределения Nb и Ta в кимберлитах отдельных районов в пределах Сибирской провинции. Пунктирными линиями околтурены участки, соответствующие Мало-Ботуобинскому, Алакитскому и Далдынскому полям (по остальным полям имеются лишь единичные определения). В этой последовательности закономерно уменьшается отношение Nb/Ta .

Ниобий в кимберлитах обнаруживает прямую и значимую корреляцию с титаном, установленную в 1967 г. В. С. Гладких и М. Е. Викторовой практически для всех типов пород. По отношению $Nb/(Na+K)$ кимберлиты попадают в III группу бесполевошпатовых щелочных пород, иногда уклоняясь к полю II океанических толеитов согласно классификации, применяемой Л. С. Бородиным, В. С. Гладких и И. К. Пятенко.

По сравнению с другими ультраосновными и основными породами кимберлиты обогащены ниобием и танталом [81, 205]. Наиболее близки к ним щелочные ба-

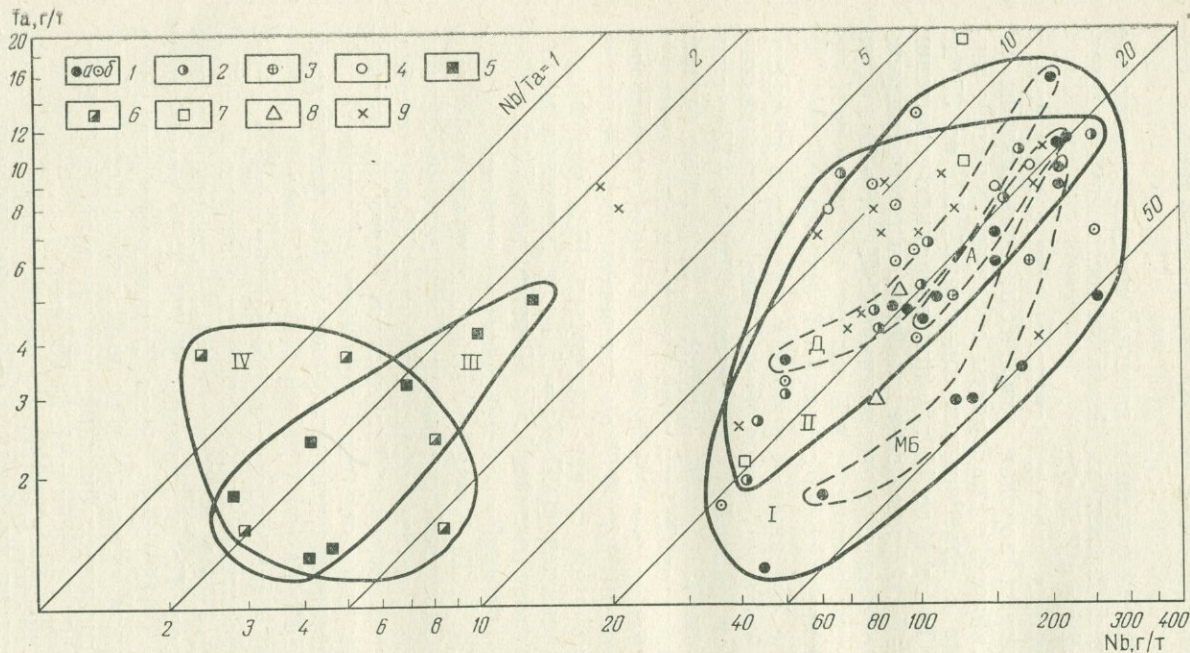


Рис. 28. Содержания ниобия и тантала в кимберлитовых и других породах.

1 — кимберлиты Сибири (а — наши определения, б — по Б. Г. Лутцу и др. [93]; 2 — кимберлиты Африки; 3 — ингильты; 4 — щелочные базальтоиды, 5 — включения ультрабазитов в кимберлитах; 6 — включения эклогитовых пород в кимберлитах; 7 — хондриты; 8 — базальты и толелиты; 9 — ультрабазиты. Поля: I — сибирских кимберлитов, II — африканских кимберлитов, III — включений ультрабазитов, IV — включений эклогитовых пород. Районы: МБ — Мало-Богуубинский, А — Алакитский, Д — Далдынский

зальтоиды и базаниты, далее следуют базальты и толеиты. В этом ряду одновременно уменьшается отношение Nb/Ta. Можно предположить, что по мере увеличения глубинности зарождения пород (от толеитов к кимберлитам) происходит обогащение этих пород ниобием и танталом.

Включения ультрабазитов в кимберлитах, обедненные ниобием и танталом и характеризующиеся необычайно низкими отношениями Nb/Ta даже по сравнению с альпинотипными ультрабазитами, можно рассматривать как реститы (табл. 73).

Содержания ниобия и тантала в минералах кимберлитовых пород представлены в табл. 74. Главным концентратором этих элементов является перовскит; в нем содержится более 0,5% Nb и около 0,1% Ta. По данным Е. А. Чернышевой и Л. К. Давыдовой, а также Л. С. Бородина [11], повышенные концентрации Nb и Ta характерны также для перовскитов из карбонатитов щелочных и некоторых ультраосновных пород.

Вторым концентратором ниобия и тантала в кимберлитах является пикроильменит, который, в отличие от обычных ильменитов других пород, заметно обогащен этими элементами.

Несложные расчеты показывают, что при содержании перовскита в кимберлитах порядка 3%, а ильменита 20% определенные в этих минералах концентрации Nb и Ta (около 0,5% и 0,1% соответственно) дают содержания элементов в породе около 170 г/т, что близко к результатам анализов кимберлитов. Поэтому наличие иных минералов-концентраторов Nb и Ta в кимберлитах маловероятно.* Находки же тантал-ниобиевых минералов в кимберлитах весьма редки. По данным В. В. Ковальского и других, в некоторых кимберлитовых телах встречаются единичные знаки пирохлора, а в родственных кимберлитам ингилитах Алданского района — луешита [52].

Однако на существование дополнительного обогащения кимберлитов ниобием указывает большая величина отношения Nb/Ta в кимберлитах, чем в слагающих его минералах.

* По единичным данным В. В. Буркова, магнетит содержит 42 г/т Nb и 10 г/т Ta, пироп 7 г/т Nb.

Содержания ниобия и тантала в ультраосновных
и эклогитовых включениях из кимберлитовых пород
Сибирской провинции и в слагающих им минералах, г/т [93]

Трубка	Порода, минерал (число анализов)	Nb	Ta	Nb/Ta
Ультрабазиты Куойского поля				
Обнаженная	Шпинелевый перидотит (1)	2,8	1,8	1,6
	Гранат-шпинелевый пе- риidotит (1)	4,2	1,3	3,2
	Гранат-шпинелевый лер- цолит (1)	4,7	1,8	2,6
	Гранатовый лерцолит (1)	4,2	2,4	1,7
	То же (1)	14	5	2,8
	Гранатовый гарцбургит (1)	7	3,2	2,2
	Гранатовый пироксенит (1)	10	4,3	2,3
Среднее		6,7	2,8	2,3
Эклогитоподобные породы Далдынского поля				
Аэромагнитная	Эклогитоподобная (1)	3	1,5	2,0
Удачная	То же (1)	5	3,7	1,4
Эклогиты Куойского поля				
Обнаженная	Эклогит (1)	8,4	2,4	3,5
	Энстатитовый эклогит (1)	8,4	1,5	5,6
	Рубиновый эклогит (1)	2,4	3,8	0,6
Среднее для эклогитов и эклогитоподобных пород		5,4	2,6	2,1
Куойское поле				
Обнаженная	Шпинель (1)	1	0,2	5,0
	Оливин (3)	2,8—4,2	0,2	16,5
		3,3		
	Гранат (6)	2,1—4,2	0,2—2,1	5,2
		2,85	0,55	
	Энстатит (1)	4,9	1,7	2,9
Диопсид (4)	3,0—4,2	0,2—1,0	5,4	
	3,7	0,68		

Содержания ниобия и тантала в минералах
кимберлитовых пород, г/т
(в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Трубка	Количество анализов	Nb	Ta	Nb/Ta	Источник
Перовскит					
Сибирская провинция					
Дайка Великан	2	6050	—	—	[84]
Дайка Монтчеллитовая	1	6800	—	—	[84]
Оригинальная	1	2300	—	—	[84]
Туманность	1	1670	360	4,6	[7]
Африканская провинция					
Весселтон	3	$\frac{4100-9200}{7000}$	Не опр.	—	[178]
Де-Бирс	1	4100	1800	2,3	[156]
Койду	1	6400	Не опр.	—	[156]
Северо-Американская провинция					
Айзон Крик	1	5300	Не опр.	—	[178]
Дайка Сомерсет	2	$\frac{7700-8900}{8300}$	Не опр.	—	[137]
Среднее в перовските					
		6120	1080	5,7	
Ильменит					
Сибирская провинция					
Среднее	12	$\frac{1150-2400}{1850}$	$\frac{172-310}{230}$	8,04	[14]
Мир	2	$\frac{1620-1680}{1650}$	$\frac{74-172}{123}$	13,4	[12]
Зарница	3	$\frac{1050-1750}{1400}$	$\frac{100-287}{176}$	7,9	[12]
Удачная-Восточная	3	$\frac{1050-1750}{1342}$	$\frac{66-271}{153}$	8,8	[12]
Якутская	1	2625	156	16,8	[12]
Среднее					
		1773	167	10,6	

Трубка	Количество анализов	Nb	Ta	Nb/Ta	Источник
Африканская провинция					
Монастери	3	659—1223 884	73—142 99	8,9	[178]
Као	2	1359—1568 1464	165—174 169,5	8,6	
Секхаменг	2	1781—1961 1871	213—218 215,5	8,7	
Солане	1	1200	136	8,8	
Таба-Путсоа	2	1174—1208 1191	132—133 132,5	9,0	
Среднее		1322	150,5		8,8
Среднее в ильмените	$\frac{33}{32}$	1523	168	9,1	

МОЛИБДЕН

Данных о содержании молибдена в кимберлитах очень мало. В кимберлитах Базутоленда (Лесото) из 14 образцов в 11 показано менее 3 г/т, а в трех — 8; 9; 12 г/т [140]. В кимберлите рудника Верхняя Канада (Онтарио) обнаружено 0,5 г/т Мо [171]. В одном из четырех образцов кимберлитов Юго-Западной Африки найдено 7 г/т Мо, в трех других образцах — менее 3 г/т [192, pp. 81—94].

Результаты определения молибдена в 28 образцах кимберлитов и пикритовых порфиринов Сибирской провинции приводятся в работе Л. С. Бородина с соавторами [12]; анализы выполнены количественным спектральным методом. По этим данным составлена табл. 75.

В работе [31, с. 47] отмечено, что колебания содержания молибдена от района к району более существенны, чем вариации внутри генетически связанных серий; что накопление молибдена наблюдается в породах щелочных массивов. Данные по кимберлитам Якутии подтверждают эти закономерности. Концентрация молибде-

Содержания молибдена в кимберлитах
и пикритовых порфиритах Сибирской провинции,
г/т [12]

Поле (количество объектов)	Пределы колебаний	Среднее
Мало-Ботуобинское (5)	1—2	1,50
Алакитское (6)	1—2	1,17
Далдынское (5, без За- гадочной)	1—3	2,30
Верхне-Мунское (4)	2—4	2,50
Средне-Куонамское (4)	1—4	2,25
Среднее по 24 объектам (без трубки Загадочная)		1,87

на в кимберлитах (особенно в богатом калием кимберлите трубки Загадочная — 7 г/т), заметно выше, чем в ультраосновных породах (0,2—0,4 г/т) [31, с. 27]. А различия между Алакитским полем, с одной стороны, и Далдынским и Верхне-Мунским полями — с другой, вероятно, можно считать региональными особенностями.

Из минералов кимберлитов можно ожидать повышенные содержания молибдена в ильмените и магнетите [31, с. 47].

ВОЛЬФРАМ

Сведения о содержании вольфрама в кимберлитах и глубинных включениях изложены в работе А. В. Уханова и В. С. Рассказовой [115]. Для 5 проб кимберлитов (трубки Дальняя, Зарница и Удачная Далдынского поля) получены содержания от 0,9 до 1,3 г/т вольфрама; среднее из 5 — 1,02 г/т. Сборные пробы шпинелевых перидотитов, гранатовых перидотитов и эклогитов из трубки Обнаженная Куойского поля показали одинаковое содержание — 0,3 г/т; проба гранатовых пироксенов из той же трубки — 0,25 г/т. В этой же работе [115] приведены цифры для гарцбургитов и дунитов 6 ультраосновных массивов: в одном случае вольфрам не обнаружен, в остальных — от 0,1 до 0,5 г/т (среднее из пяти — 0,22 г/т).

Содержания вольфрама в изверженных породах состава от диорита до дунита (как интрузивных, так и эффузивных) колеблются в интервале от 0,77 до 2,6 г/т [31, с. 53]. Следовательно, концентрация вольфрама в кимберлитах находится в пределах, обычных для изверженных пород щелочноземельного ряда.

РЕНИЙ

Сведения о содержании рения в кимберлитах Сибири изложены в работе И. П. Илупина, В. В. Иванова и А. Д. Миллера [45]. По данным этой статьи составлена табл. 76.

Кимберлиты центральных полей провинции обогащены рением по сравнению с кимберлитами северных полей; анализов мало. Несколько больше данных получено для глубинных включений, и снова образцы центральных полей заметно богаче рением, чем образцы северных полей. Сопоставление отдельных разновидностей глубинных пород носит сугубо предварительный характер, учитывая небольшое число изученных образцов. Безгранатовые перидотиты содержат в среднем меньше рения, чем гранатовые разности. Повышенные содержания установлены в обоих изученных образцах существенно пироксенового состава (P-359 и P-665). По сравнению с глубинными включениями, кимберлиты заметно обогащены рением.

Найденные в кимберлитах Сибири (особенно в кимберлитах северных полей) концентрации рения значительно выше кларковых. По А. П. Виноградову [20], содержание рения в хондритах 0,8 мг/т, в основных породах 0,71 мг/т, в кислых породах 0,67 мг/т.

Данные по рению можно рассматривать как одно из подтверждений гипотезы о горизонтальной неоднородности верхней мантии.

МЕТАЛЛЫ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ

По Сибирским кимберлитам имеются две публикации авторов книги [126, 53] и данные Л. С. Бородина с соавторами [12]. Данных по платиноидам из кимберлитов Африканской и других провинций найти не удалось.

Нами было проанализировано 48 образцов кимберлитовых пород из 32 трубок, два образца пикритовых

Содержание рения в кимберлитах и глубинных включениях
Сибирской кимберлитовой провинции, мг/т

Поле	Трубка, порода	№ обр.	Re
Кимберлиты			
Мало-Ботуобинское	Мир	Р-19-к	17,0
Алакитское	Коллективная, юго-западная часть, ш. 1	К-1/1	51,0
Далдынское	Дальняя, порфировый кимберлит, ш. 31	Дл-31	3,4
	Удачная-Западная	207-731	3,4
	Удачная-Восточная	217-170	6,8
Верхне-Мунское	Зимняя, лин. 4, ш. 3	Зм-4/3	15,0
	Новинка, лин. 4, ш. 4	Нв-4/4	221,0
Среднее по южным полям			45,0
Чомурдахское	Светлая, Северо-восточная часть, ш. 71	Сл-71	8,4
Куойское	Муза Русловая	Мз-802 ОЛ-Р-52	Н. о. 7,6
Среднее по северным полям			5,7
Глубинные включения			
Мало-Ботуобинское	Мир, гранатовый перидотит	Р-19	26,0
	То же	Р-29	9,4
Алакитское	Маршрутная, гранатовый перидотит	Р-246	20,0
	Сытыканская, гранатовый перидотит	Р-222	5,6
Далдынское	Дальняя, брекчия, шпинелевый перидотит	Р-421	6,0
	То же	Р-424	Н. о.
	Удачная-Восточная, пироксенит	Р-359	22,0
	То же, гранатовый перидотит	Р-360	Н. о.
	То же, " "	Р-361	14,0
	То же, шпинелевый перидотит	Р-362	12,0

Поле	Трубка, порода	№ обр.	Re
Верхне-Мунское	Заполярная, безгранатовый перидотит	P-531	5,0
Среднее по 11 обр. южных полей в том числе: безгранатовый перидотит (P-362, P-421, P-531)			11,0 8,0
Чомурдахское	Дружба, ильменитовый перидотит	P-602	Н. о.
	То же	P-609	Н. о.
	Дружба, эклогит	P-610	Н. о.
	Чомур, гранатовый перидотит	P-659	Сл.
	То же, пироксенит	P-665	5,0
Укукитское	Аномалия 66, шпинелевый перидотит	P-701	Н. о.
	Кубанская, гранатовый перидотит	P-711	3,4
Куойское	Обнаженная, эклогит	P-916	3,4
	То же, оливинит	P-918	Н. о.
	То же, гранатовый перидотит	P-919	Н. о.
	То же, шпинелевый перидотит	P-920	Н. о.
Лучаканское	Дама, шпинелевый перидотит	P-721	Сл.
Средне-Куонамское	Чолбон, гранатовый перидотит	P-791	Сл.
Среднее по 13 образцам северных полей в том числе: безгр. перид. (P-701, P-721, P-920) эклогиты (P-610, P-916)			<2,1 <1,5 <2,2

Примечание. При подсчете средних значений «Сл.» приняты за 3 мг/т. «Н. о.» за 1 мг/т.

порфирита, один — из карбонатита Нижне-Куонамского поля, щелочные базальтоиды трубок Онежского полуострова и хромшпинелид из трубки Айхал (табл. 77). Кроме того, анализу подвергнуто четырнадцать ультрабазитовых включений из кимберлитов.

Анализы выполнялись в двух лабораториях: ЦНИГРИ В. П. Хвостовой (концентрирование химиче-

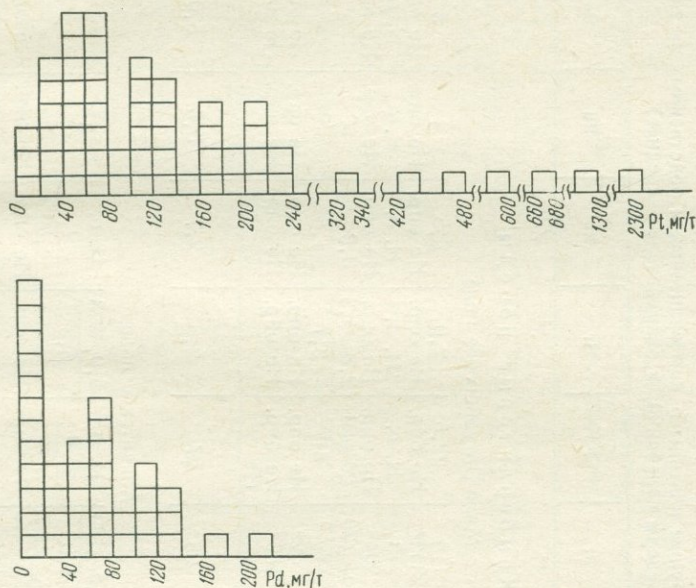


Рис. 29. Гистограммы распределения платины и палладия в кимберлитовых породах Сибирской платформы

ским путем с последующим разделением методом хроматографии и идентификацией спектрохимическим методом, из навесок 30 г) и в ИМГРЭ И. С. Разиной и Н. З. Курбановой (спектрохимический метод, из навесок 10 г). Чувствительность анализов на Pt и Pd — 1 мг/т, Ir — 0,1 мг/т, Rh — 0,5 мг/т.

Как видно из табл. 77 и рис. 29, металлы группы платины распределены в кимберлитовых породах крайне неравномерно. Так, содержание платины от трубки Эгизнтей (10 мг/т) к трубке Зарница (500 мг/т) увеличивается в 50 раз. В подавляющем большинстве анализированных образцов из металлов этой группы преоб-

Содержание металлов группы платины в кимберлитовых и родственных им породах, мг/т
(в числителе — пределы колебаний, в знаменателе — среднее)

Поле, трубка (количество образцов)	№ проб	Pt	Pd	Ir	Rh	Ru	Os	Pt/Pd	Ir/Ru
Кимберлитовые породы									
Мало-Ботуобинское поле									
Аномалия № 21 (2)	Ф-11, Ф-20	115	22,5	2,0	6,5	4	5	5	0,4
Интернациональная	б/н	2300*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
им. XXIII съезда КПСС	Ф-7	13	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	—	—
им. XXIII съезда КПСС	б/н	204*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Мир (6)	Ф-14 — Ф-19	70—170	20—60	2,0—5,3	0,2—9	7	5	3,7	0,44
Мир	б/н	116	31	3,1	1,5				
Тажная	б/н	42*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
	б/н	150*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее (без Интернациональной)		98	27	2,6	2,7	5,5	5,0	4,5	0,47
Алакитское поле									
Айхал (4)	Ай-1, Ф-44, Ф-28, Ф-39	5,5—130 109	Н. о. 220	5,0—8,3 6,8	Н. о. 9	3	3	1,9	2,26
Айхал (2)	б/н	130—250*	58	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Веселая	Ф-29	150 22	Не опр. 55	Не опр. 14	Не опр. 17	Не опр.	Не опр.	0,4	—
Веселая	б/н	98*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Н. о.	—
Дружба	Ф-33	210	11	7,3	Не опр.	Не опр.	Не опр.	19,1	—
Искорка (2)	Ф-24, б/н	Н. о., 70	83—85	4,3—7,3	8—10	Не опр.	Не опр.	0,4	—
		35	84	5,8	9				
Искорка	б/н	67*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Коллективная	Ф-22	55	83	6,3	5	Не опр.	Не опр.	0,7	—
Магистральная	Ф-23	55	110	6	5	Не опр.	Не опр.	0,5	—
Мархинская	Ф-37	180	45	4	Н. о.	Не опр.	Не опр.	4,0	—
Маршрутная	Ф-36	170	55	11	23	5	3	3,1	2,2
Москвичка	Ф-30	220	170	8	Н. о.	12	9	1,3	0,66
Начальная	Ф-21	77	220	6	3	Не опр.	Не опр.	0,6	—
Начальная	б/н	600*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
НИИГА-1	Ф-34	430	110	8,0	Н. о.	Не опр.	Не опр.	3,9	—
Октябрьская	Ф-26	30	83	4,7	5	6	4	0,4	0,78
Светлая	Ф-27	22	110	4,7	Н. о.	Не опр.	Не опр.	0,2	—
Смежная	Ф-35	280	76	12	11	18	12	3,7	0,60
Снежинка	Ф-38	240	47	4	Н. о.	Не опр.	Не опр.	5,1	—
Сувенир (2)	б/н, Ф-25	55—74 65	34—160 97	Не опр., 6,3	Н. о., 5	2	3	0,7	3,1
				6,3	2,5				
Сытыканская	б/н	130	Н. о.	5	10	Не опр.	Не опр.	—	0,5
Талисман	б/н	190	Н. о.	6,6	Н. о.	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее		163	88	7,0	5,3	7,7	5,7	1,8	0,90
Далдынское поле									
Загадочная	б/н	1300*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Зарница (3)	Ф-13, Ф-31, Ф-41	30—500 202	35—100 47,3	11—11 11,0	4—55 21,0	5	4	4,3	2,2
Дальняя	Ф-47	40	70	7,8	10	Не опр.	Не опр.	0,6	—

Поле, трубка (количество образцов)	№ проб	Pt	Pd	Ir	Rh	Ru	Os	Pt/Pd	Ir/Ru
Зарница (2)	б/н	98—250*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
		174							
Удачная-Западная	Ф-18	20	10	8,7	2	Не опр.	Не опр.	2,0	—
Удачная-Восточная	УВ-48	37	2,3	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	16,1	—
Удачная-Восточная (2)	б/н	42—130*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
		66							
Фестивальная	б/н	480*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Якутская —	б/н	220*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее (без Загадочной)		155	32,5	9,2	8,25	5	4	2,3	1,11
Мунское поле									
Зимняя	Зм-3/4	37	Н. о.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Омонос-Кутугунское поле									
Ленинград	Ф-3	50	Н. о.	Н. о.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Русловая	Р-52	220	Н. о.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Эгиэнтэй	б/н	10	Н. о.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее		79	—	—	—	—	—	—	—
Куйское поле									
Муза (2)	б/н, Мз-802, Ф-6	26,5	20	Не опр.	8	Не опр.	Не опр.	1,3	—
Обнаженная		80	Н. о.	Не опр.	Н. о.	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее		54	10	—	4,0	—	—	19,2	—
Средне-Куонамское поле									
Космическая (2)	Ф-12, Ф-49	50—37,0 43,5	11—12 11,5	Не опр., 8,3	Н. о. 1,0	3	2	3,7	2,76
Незабудка	б/н	100*	Не опр.	Не опр.	8,3 5,0	Не опр.	Не опр.	—	—
Среднее для кимберлитов		94	65,1	6,4	6,3	6,2	5,0	3,5	1,0
Пикритовые порфириды									
Чомурдахское поле									
Горняцкая	б/н	230*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Куйское поле									
Великан (2)	б/н	17—140* 128	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Виктория	б/н	110*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Монтчеллитовая	б/н	14—330* 172	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—

Поле, трубка (количество образцов)	№ проб	Pt	Pd	Ir	Rh	Ru	Os	Pt/Pd	Ir/Ru
Средне-Куонамское поле									
Альфа	б/н	77*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Бета	В-77	110	55	Не опр.	8,0	Не опр.	Не опр.	20,0	—
Нейбабыт	б/н	65*	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Ингилийское поле									
Нина	Ф-9	120	14	—	—	—	—	—	—
Среднее для пикритовых порфириров		117	35	Не опр.	4,0	Не опр.	Не опр.	10,9	—
Карбонатиты Нижне-Куонамское поле									
Аномалия 70	Ф-10. Ф-50	$\frac{21-130}{76}$	$\frac{\text{Н. о.}}{80}$ $\frac{40}{40}$	$\frac{\text{Не опр.}}{11,0}$ $\frac{11,0}{11,0}$	$\frac{7-15}{11,0}$	Н. о.	Не опр.	1,9	—
Щелочные базальтоиды Онежский п-ов									
Карахта	б/н	36	7,3	Не опр.	Н. о.	Не опр.	Не опр.	4,9	—
Лывозеро	Л-1	160	105	Не опр.	3,1	Не опр.	Не опр.	1,5	—
Среднее Хромшпинель из трубки Айхал	б/н	98	56	Не опр.	1,55	Не опр.	Не опр.	1,8	—
		21000	12000	500	800	Не опр.	Не опр.	17,5	—

* Данные Л. С. Бородина и др [12].

ладает платина (Pt:Pd от 1,3 до 37,8). Палладий — второй по распространенности платиновый металл, его в 2—40 раз меньше, чем платины. Остальные металлы содержатся в еще меньших количествах. По полученным данным, средние содержания платиноидов в кимберлитах Сибири составляют (мг/т): платины — 110, палладия — 65, иридия — 6, родия — 6, рутения — 6 и осмия — 5; Pt/Pd \approx 3,5, Ir/Ru = 1,0.

Содержание платиновых металлов в породах ультраосновных включений из кимберлитов (табл. 78) так же, как в кимберлитах, крайне неравномерно. Из-за малочисленности анализированных образцов можно провести лишь предварительное сопоставление разностей ультраосновных пород. Содержание платины максимально в шпинелевых перидотитах (161 мг/т), в пироповых перидотитах оно составляет в среднем 84 мг/т, а в эклогитах 63 мг/т. Количество палладия, наоборот, увеличивается от шпинелевых перидотитов (10 мг/т) к пироповым перидотитам и эклогитам (44—43 мг/т) и в той же последовательности уменьшается отношение Pt/Pd, соответственно, 5,66; 3,3 и 1,33.

По-видимому, существуют различия по содержанию платины и палладия между глубинными включениями разных кимберлитовых полей, о чем свидетельствуют резкие колебания количества этих элементов в пределах одной группы пород (например, среди пироповых и шпинелевых перидотитов — см. табл. 78). Повышенное содержание платины в шпинелевых перидотитах, по-видимому, связано с тем, что одним из главных минералов-носителей платиновых металлов в ультрабазитах включений, как и в кимберлитах, являются хромшпинелиды.

Содержания платины и палладия в глубинных включениях (Pt от 20 до 427 мг/т; Pd — от 9 до 150 мг/т) и в самих кимберлитах (Pt от 10 до 500 мг/т; Pd от 2,3 до 150 мг/т) колеблются в близких интервалах. Средние содержания этих элементов также близки, но в ультраосновных включениях отношение Pt/Pd повышено. В отличие от ультрабазитовых включений, в которых наблюдается устойчивое преобладание платины над палладием, в кимберлитовых породах, наблюдаются и обратные соотношения (Pt/Pd = 0,4—0,7), хотя в большинстве проб платина преобладает над палладием.

Содержание металлов группы платины в глубинных включениях из кимберлитов, мг/т

Поле	Трубка	№ обр.	Pt	Pd	Pt/Pd
------	--------	--------	----	----	-------

Гранатовые перидотиты

Далдынское	Удачная	P-361	56	10	5,6
Нижне-Укукитское	Кубанская	P-711	26	26	1,0
Куойское	Обнаженная	Л-69-21	20	9	2,2
То же	То же	Л-69-24	50	150	0,3
Средне-Куонамское	Чолбон	P-791	220	29	7,59

Средние для гранатовых перидотитов			74,4	44,8	3,3
------------------------------------	--	--	------	------	-----

Гранатовый перидотит с хромшпинелью

Чомурдахское	Чомур	P-659	84	10	8,4
--------------	-------	-------	----	----	-----

Шпинелевые перидотиты

Далдынское	Дальняя, брекчия	P-421	427	50	8,54
То же	Удачная	P-362	161	Н.о.	—
Омонос-Кутугунское	Аномалия 66	P-701	73	Н.о.	—
Лучаканское	Дама	P-721	Н.о.	26	—
Куойское	Обнаженная	P-920	147	53	2,77

Среднее для шпинелевых перидотитов			161	26	5,66
------------------------------------	--	--	-----	----	------

Пироксениты

Чомурдахское	Чомур	P-665	45	Н.о.	—
--------------	-------	-------	----	------	---

Эклогиты

Чомурдахское	Дружба	P-610	63	Н.о.	—
Куойское	Обнаженная	P-919	57	43	1,33

Среднее для эклогитов			60	43	1,33
-----------------------	--	--	----	----	------

Среднее для глубинных пород из включений			102	29	4,2
--	--	--	-----	----	-----

Вопрос о распределении металлов группы платины между минералами кимберлитов остается неисследованным. Содержание платиноидов было определено нами только в хромшпинелиде из трубки Айхал (см. табл. 77). Как и следовало ожидать, в этом минерале платины и палладия оказалось на два-три, а иридия и родия на два порядка больше, чем во вмещающих кимберлитах. Вполне вероятно, что хромшпинелид является одним из основных минералов-носителей металлов платиновой группы в кимберлитах.

Некоторое представление о распределении этих элементов между минералами кимберлитов можно составить по аналогии с дунитами Инаглинского массива, по которому проведены детальные исследования [92]. По распределению платиновых металлов для ультраосновных пород этого массива в ряду породообразующих и аксессуарных минералов установлена следующая последовательность: хромшпинелиды (от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1,2 \cdot 10^{-2}\%$) — оливины (максимальная концентрация платиновых металлов $2 \cdot 10^{-4}$ установлена в форстеритах с $Fa=3-5\%$) — серпентины $7 \cdot 10^{-5}\%$ — пироксены ($2 \times 10^{-7}\%$) и слюды ($4 \cdot 10^{-7}\%$) — магнетиты.

Собственно минеральные формы нахождения платиновых металлов в кимберлитах не установлены, однако следует иметь в виду, что специальных работ в этом направлении не проводилось. Совершенно не исследовано также влияние процессов серпентинизации и выветривания на содержание и распределение металлов этой группы в кимберлитах. Поскольку последние интенсивно серпентинизированы, следует полагать, что помимо вхождения изоморфно в хромшпинелиды и оливины, металлы платиновой группы могут содержаться в ионно-адсорбированной форме в серпентине и минералах коры выветривания.

Данные табл. 77 позволяют предположить, что содержание платиновых металлов наиболее велико в наиболее «ультраосновных» разностях кимберлитовых пород, при этом в них платина преобладает над палладием. По мере увеличения базитовой составляющей содержание платиновых металлов в них может уменьшаться и одновременно увеличиваться роль палладия, который в некоторых трубках преобладает над платиной (тр. Искорка, Сувенир, Светлая и др.), как это вообще типично для

геохимической истории этих элементов в условиях базит-гипербазитового магматизма.

По сравнению с хондритами (суммарное содержание 4710 мг/т), как гипербазиты (~ 140 мг/т) так и кимберлиты (183 мг/т) значительно обеднены платиновыми металлами. В кимберлитах по сравнению с хондритами платины меньше в 20 раз, палладия в 40, родия в 400; рутения в 80 и осмия в 140 раз. Для гипербазитов из включений отношение Pt/Pd в шесть раз, а для кимберлитов в 19 выше, чем в хондритах. По сравнению с Са-хондритами (суммарное содержание 5,9 мг/т) в кимберлитах и гипербазитах из включений содержание всех металлов платиновой группы значительно выше (~ 133 мг/т). Кимберлитовые породы и ультрабазиты включений по содержанию Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Os близки к другим ультраосновным породам (соответственно 189, 133 и 140 мг/т). За счет значительных колебаний кларковых содержаний платиновых металлов в кимберлитовых породах, они находят аналогов по концентрации этих элементов среди различных пород — от оливинитов (65 мг/т), ийолитов (265 мг/т) и карбонатитов (313 мг/т) Маймеча-Котуйского района и дунитов Инаглинского массива (680 мг/т), аналогами которых по содержанию этих элементов могут быть трубки Зарница, Дружба, Москвичка и др. (см. табл. 77) до пироксенитов (107 мг/т) и даже габбро (52 мг/т) Бушвельдского комплекса и Мончегорской интрузии (72 мг/т), где порядок значений близок к таковым для трубок Веселая, Октябрьская, Удачная-Западная. Только перидотиты Бушвельдского комплекса содержат в 3 раза больше палладия по сравнению с разностями кимберлитовых пород, наиболее обогащенных этими элементами. Средние содержания платиноидов в кимберлитах Сибири превышают обычные содержания платиноидов в ультрабазитах складчатых областей и дифференцированных платформенных габбро-норитовых интрузий.

Из всех типов безрудных пород наиболее близкие и столь же повышенные содержания платиноидов (Pt и Pd) отмечены для ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород комплексов центрального типа Сибири [30].

Медь. До последнего времени все оценки содержаний меди в кимберлитах базировались на данных полуколичественного спектрального анализа [67, 140, 161, 51, 29]. Работа по систематическому изучению меди в кимберлитах Сибирской платформы методом количественного спектрального анализа была выполнена недавно Ю. И. Томановской [110], а по изучению меди в ильменитах из кимберлитов — И. П. Илупиным с соавторами [49]. Единичные анализы кимберлитов на медь выполнены также В. И. Гоньшаковой и Л. С. Егоровым (1968 г.), Л. С. Бородиным с соавторами [12], а для африканской провинции — П. Х. Никсоном и П. Крестеном [172].

Результаты определений меди в кимберлитах и ильменитах из кимберлитов приведены в табл. 79. Содержания меди от одного поля к другому в центральной части Сибирской кимберлитовой провинции меняются мало, а затем резко возрастают в кимберлитах, слагающих трубки в бассейне р. Куойки. Это подтверждает сделанный раньше вывод о том, что кимберлиты северо-восточных районов Сибирской платформы обогащены медью более чем в два раза по сравнению с кимберлитами центральных районов [29]. Особняком стоят кимберлитовые породы Мало-Куонамского поля и бассейна р. Куойки, в которых меди содержится в несколько раз меньше.

По Африканской и Северо-Американской провинциям имеются лишь единичные определения (см. табл. 79); поэтому среднее содержание меди в кимберлитовых породах в целом мы оцениваем по сибирским данным и принимаем близким к 120 г/т.

Содержания меди в ильменитах из кимберлитов превышают содержания этого элемента в породах в 2—5 раз (см. табл. 79), однако значимой корреляции между цифрами для отдельных трубок нет. Концентрация ильменита в кимберлитах не может дать всего количества меди в породах. Анализы оливина, пироксена, хромита и титаномагнетита из близких по составу к кимберлитам меймечитов и из траппов показали наличие в них меди в еще меньших концентрациях: от 5 г/т до 100 г/т (В. И. Гоньшакова, Л. С. Егоров, 1968 г.; Б. В. Олейников и др., 1973 г.).

Таблица 79

Содержания меди (г/т), золота и серебра (мг/т) в кимберлитовых и родственных им породах

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Сибирская провинция				
Кимберлитовые породы				
Мало-Ботуобинское поле				
Амакинская-Южная	Не опр.	3,2	Не опр.	—
Амакинская-Северн.	Не опр.	5,2	Не опр.	—
Интернациональная	Не опр.	4,6	Не опр.	—
Мир	Не опр.	5,0*	75*	15,0
Слутник	Не опр.	27**	Не опр.	—
Таежная	Не опр.	3,6	Не опр.	—
Аномалия 21	Не опр.	5,5*	100	18,2
Им. XXIII съезда КПСС	Не опр.	36*	175*	4,9
Среднее	—	9,0	116,7	13,0

Алакитское поле

Айхал (брекчия)	19	6,0*	50	8,3
Айхал (туф)	Не опр.	5,1	Не опр.	—
Веселая	Не опр.	21	Не опр.	—
Дружба	105	Не опр.	Не опр.	—
Искорка	219	Не опр.	Не опр.	—
Кира	Не опр.	2,0	Не опр.	—
Лири	Не опр.	1,3**	Не опр.	—
Магистральная	39	Не опр.	Не опр.	—
Мархинская	61	Не опр.	Не опр.	—
Маршрутная	135	Не опр.	Не опр.	—
Москвичка	104	Не опр.	Не опр.	—
Начальная	52	Не опр.	Не опр.	—
НИИГА-1	59	3,2	Не опр.	—
Октябрьская	22	4,3	Не опр.	—
Светлая	Не опр.	2,4	Не опр.	—
Смежная	202	Не опр.	Не опр.	—
Сувенир	Не опр.	2,85*	50	17,5
Сытыканская	41	Не опр.	Не опр.	—
Юность	Не опр.	<0,2	Не опр.	—
Среднее	88	5,2	50	9,6

Продолжение табл. 79

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Далдынское поле				
Академическая	61	3,6	Не опр.	—
Аэросъемочная	Не опр.	14	Не опр.	—
Геофизическая	45	2,7	Не опр.	—
Дайковая	Не опр.	6,7	Не опр.	—
Дальняя, брекчия	66	3,9*	Не опр.	—
Долгожданная	54	35,1*	Не опр.	—
Загадочная	40	Не опр.	Не опр.	—
Зарница	42	4,9*	75*	15,3
Зимняя	13	4,4	Не опр.	—
Дайка Ленинградская				
Малютка	Не опр.	12	Не опр.	—
Мамбо	21	Не опр.	Не опр.	—
Молодежная	59	2,1	Не опр.	—
Невидимка	Не опр.	21	Не опр.	—
Осенняя	23	2,8	Не опр.	—
Полярная	862	Не опр.	Не опр.	—
Сибирская	Не опр.	19	Не опр.	—
Удачная-Восточная	33	1,7	200	117,6
Удачная-Западная	118	Не опр.	Не опр.	—
Фестивальная	62	Не опр.	Не опр.	—
Якутская	190	3,6	Не опр.	—
Среднее	107	9,2	137,5	14,9
Верхне-Мунское поле				
Верхняя	13	Не опр.	Не опр.	—
Заполяная	34	Не опр.	Не опр.	—
Зимняя	27	Не опр.	Не опр.	—
Комсомольская-				
Магнитная	29	Не опр.	Не опр.	—
Легкая	25	Не опр.	Не опр.	—
Малая	16	Не опр.	Не опр.	—
Новинка	43	Не опр.	Не опр.	—
Поисковая	33	Не опр.	Не опр.	—
325 лет Якутии	37	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	29	—	—	—
Чомурдахское поле				
Дружба	6	Не опр.	Не опр.	—
Ильменитовая	35	Не опр.	Не опр.	—
Надежная	13	Не опр.	Не опр.	—
Светлая	Не опр.	9,6	Не опр.	—
Снежинка	Не опр.	9,2	Не опр.	—
Спорная	11	Не опр.	Не опр.	—
Уральская	70	Не опр.	Не опр.	—
Чомур	81	9,9	Не опр.	—
Среднее	31	9,6	—	—

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Омонос-Кутугунское поле				
Ленинград	18	12,4*	100	8,1
Омонос	30	15,2	Не опр.	—
Эгиэнтэй	Не опр.	13,3*	100	7,5
Дайка № 1	Не опр.	(2,05)	Не опр.	—
Тело № 2 рч. Веселый	Не опр.	6,0	Не опр.	—
Аномалия 15	88	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 18а	90	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 23	92	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 48	35	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 65	45	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 71	34	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	54	11,7	100	8,5

Огоньор-Моторчунское поле

Аэрогеологическая	47	Не опр.	Не опр.	—
Фестивальная	Не опр.	10,5	Не опр.	—
Среднее	47	10,5	—	—

Верхне-Молодинское поле

Гранатовая	Не опр.	0,7*	50	71,5
Хризолитовая	Не опр.	5,6	Не опр.	—
Чамай	Не опр.	3,6	Не опр.	—

Куойское поле

Второгодница	Не опр.	2,0	Не опр.	—
Муза	Не опр.	2,25*	100	44,5
Обнаженная	Не опр.	5,8	100	17,3
Пятница	Не опр.	1,7	Не опр.	—
Русловая	9	6,4	Не опр.	—
Среднее	9	3,6	100	27,8

Мало-Куонамское поле

Куранахская	42	Не опр.	Не опр.	—
Мало-Куонамская	40	Не опр.	Не опр.	—
Сенкю-Южная	65	Не опр.	Не опр.	—
Университетская	500	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	162	—	—	—

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Лучаканское поле				
Двойная	107	Не опр.	Не опр.	—
Отрицательная	44	Не опр.	Не опр.	—
Поздняя	64	Не опр.	Не опр.	—
Флажок	20	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	59	—	—	—

Средне-Куонамское поле

Арктика	35	3,5	Не опр.	—
Баргыдамалах-Южная	864	1,5	Не опр.	—
Вечерняя	358	1,5	Не опр.	—
Космическая	Не опр.	1,95*	35*	17,9
Невская	Не опр.	3,8	Не опр.	—
Незабудка	130	Не опр.	Не опр.	—
Полярная	480	4,0	Не опр.	—
Чолбон	Не опр.	(1,5**)	Не опр.	—
Среднее	337	2,7	35	12,5

Нижне-Куонамское поле

Июльская	29	Не опр.	Не опр.	—
Майская	1320	Не опр.	Не опр.	—
Мачала	33	5,8	Не опр.	—
Ухтинская	43	2,25*	Не опр.	—
Ан. 14	790	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	443	4,0	—	—

Среднее для кимберлитов Сибирской провинции	119,9	7,01	93,1	13,3
---	-------	------	------	------

Родственные кимберлитам породы
(пикритовые порфириды, ингилиты)

Чомурдахское поле

Дайка Сопка	Не опр.	(1,0*)	Не опр.	—
-------------	---------	--------	---------	---

Мерчимденское поле

Буратино	Не опр.	1,4	Не опр.	—
----------	---------	-----	---------	---

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Куойское поле				
Дайка Великан	Не опр.	2,3	Не опр.	—
Дайка Монтичеллитовая	Не опр.	(2,30*)	Не опр.	—
Мало-Куонамское поле				
Дайка Тамах	Не опр.	(1,20)	Не опр.	—
Лучаканское поле				
Оригинальная	130	(1,70)	Не опр.	—
Тело Тройное	75	Не опр.	Не опр.	—
Дайка Улахан-Лучакан	Не опр.	(1,56)	Не опр.	—
Юлегир-Черас	39	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	81	(1,63)	—	—
Дьюкенское поле				
Аномалия 35-III/63	88	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 37/63	110	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 39/63	30	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 42-I/63	93	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 117/63	78	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 119-II/63	91	Не опр.	Не опр.	—
Аномалия 119-III-63	140	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	90	—	—	—
Средне-Куонамское поле				
Альфа	Не опр.	3,3	Не опр.	—
Барыдамах-Северная	Не опр.	2,7	Не опр.	—
Бета	Не опр.	2,9*	200	71,5
Бета, автолит	Не опр.	1,9	250	131,6
Геофизическая	80	2,4	Не опр.	—
Зенит	87	Не опр.	Не опр.	—
Небайбыт, брекчия	151	56	Не опр.	—
Небайбыт, порфирит	Не опр.	6,2*	Не опр.	—
Пермь	Не опр.	1,5	Не опр.	—
Среднее	106	9,6	225	—

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Нижне-Куонамское поле				
Виктория, брекчия	Не опр.	2,7	Не опр.	—
Виктория, порфирит	Не опр.	4,7	Не опр.	—
Джо-Северная	Не опр.	2,7	Не опр.	—
Июльская	29	Не опр.	Не опр.	—
Майская	1320	Не опр.	Не опр.	—
Мачала	33	Не опр.	Не опр.	—
Привет	Не опр.	0,3	Не опр.	—
Спортивная	Не опр.	4,2	Не опр.	—
Тылкача	Не опр.	24,9	Не опр.	—
Улыбка	Не опр.	3,6	Не опр.	—
Аномалия 14	790	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	543	6,2	—	—
Ингилийское поле				
Антошка	Не опр.	18,8	Не опр.	—
Верхняя-Северная	Не опр.	13,4	Не опр.	—
Ижевская	Не опр.	22,2	Не опр.	—
Толо Лексена	Не опр.	9,0	Не опр.	—
Нина	Не опр.	2,95*	400*	135,0
Расчетная	Не опр.	4,8	Не опр.	—
Дайка № 4	Не опр.	3,8	Не опр.	—
Дайка № 6	Не опр.	7,8*	325*	41,7
Дайка № 12	Не опр.	6,3	Не опр.	—
Дайка № 17	Не опр.	6,3	Не опр.	—
Среднее	—	9,5	362,5	38,2
Среднее для пикритовых порфиритов и ингилитов	198	8,11	293,8	36,2
Карбонатитовые породы Куонамского района, слагающие трубки и ассоциирующие с кимберлитами				
Джо-Южная	Не опр.	4,6	Не опр.	—
Яблочко	Не опр.	34,8	Не опр.	—
Аномалия 37 н.	Не опр.	2,8	Не опр.	—
Аномалия 48	Не опр.	7,9	Не опр.	—
Аномалия 54	Не опр.	6,6	Не опр.	—
Аномалия 57/1	Не опр.	2,2	Не опр.	—
Аномалия 70	Не опр.	11,7*	155*	13,2
Аномалия 78	Не опр.	6,8	Не опр.	—
Аномалия 141	Не опр.	1,2	Не опр.	—
Среднее	—	8,73	155	17,8

Трубка	Cu	Au	Ag	Ag/Au
Щелочные базальтоиды Онежского полуострова Русской платформы				
Карахта	Не опр.	6,45*	100	15,5
Куртяево	Не опр.	5,1	Не опр.	—
Лывозеро	Не опр.	56,3*	125*	2,2
Среднее	—	22,6	112,5	5,0
Африканская провинция				
Поле Кимберлей				
Кимберлей	Не опр.	2,6	Не опр.	—
Поле Лесото-Восточное				
Као-1	49	Не опр.	Не опр.	—
Коснаненг	60	Не опр.	Не опр.	—
Лайпланенг	75	Не опр.	Не опр.	—
Мотае	80	Не опр.	Не опр.	—
Дайка № 156	134	Не опр.	Не опр.	—
Дайка № 175а	63	Не опр.	Не опр.	—
Дайка № 175в	132	Не опр.	Не опр.	—
Дайка № 178а	95	Не опр.	Не опр.	—
Среднее	86	2,6	—	—
Поле Шиннианга-Северная				
Мвадуи	18	Не опр.	Не опр.	—
Сырра-Леоне				
?	75	Не опр.	Не опр.	—
Среднее для кимберлитов Африканской провинции	78	(2,6)	Не опр.	—

Северо-Американская провинция

Канада

Дайка Верхняя	56	Не опр.	Не опр.	—
---------------	----	---------	---------	---

Примечание. В таблице помимо результатов наших анализов на золото для Африканской провинции использованы данные В. Д. Эмана и др. (W. D. Ehmau a. o., 1960 г.). Данные по меди для Сибирской провинции [110], для Африканской и Северо-Американской провинций — по [172, 149, 171].

* Средние данные по двум определениям золота для одной трубки.

** Трубки Сибирской провинции, содержащие значительное количество песчаного материала; при подсчете средние данные по этим трубкам не учитывались.

В алмазах, согласно данным 54 анализов по южноафриканским трубкам Премьер, Финш и Ягерсфонтейн, содержания меди колеблются от 0,01 до 14,6 г/т, составляя в среднем 1,5 г/т [127]. При этом алмазы без видимых включений содержат меди почти на два порядка меньше (0,031 г/т по 39 анализам из тех же трубок). Интересно отметить, что алмазы трубки Ягерсфонтейн содержат меди в два с половиной раза больше, чем алмазы трубки Премьер, и почти в 4 раза больше, чем алмазы трубки Финш. Учитывая аналогичные данные по другим элементам в кимберлитах и слагающих их минералах, этот факт можно рассматривать как свидетельство неоднородности верхней мантии даже в пределах одного региона (провинции).

Таким образом, минералы-концентраторы меди в кимберлитах отсутствуют, за исключением встречающихся в небольших количествах первичных сульфидов — пирротина, пентландита, халькопирита, джерфшери́та и др.

Содержания меди в кимберлитах превышают содержания этого элемента в ультраосновных породах, близки к концентрациям меди в хондритах, основных породах и меньше, чем в пикритовых порфири́тах из карбонатитовых комплексов [81, 205].

Содержания меди в гранатовых и шпинелевых перидотитах из кимберлитов Сибири, судя по данным А. В. Уханова [113], С. Ф. Соболева и др. [105] и Б. Г. Лутца [68], несколько меньше, чем во вмещающих их кимберлитах (табл. 80). Видимо, это отражает специфику поведения халькофильных элементов при образовании кимберлитовой магмы.

Золото и серебро. Первые определения содержания золота в кимберлитах и в содержащихся в них включениях ультрабазитов и эклогитов были выполнены только в 70-х годах (W. D. Ehman, С. А. Щека, В. Г. Моисеенко, А. В. Уханов, Н. Ф. Пчелинцева, Б. В. Олейников и другие). Позднее нами была предпринята попытка оценки содержания и распределения золота и серебра в кимберлитах [97]. Недавно в работе Л. С. Бородина с соавторами [12] было опубликовано несколько десятков новых определений золота в кимберлитах и ультраосновных включениях. Однако эти анализы выполнялись спектрохимическим методом, и результаты их, видимо, завышены на порядок.

Содержания меди в ультраосновных и эцлогитовых включениях из кимберлитов, г/т

Порода	Трубка, провинция	Количество анализов	Cu	Источ-ник
Гранатовые перидотиты	Обнаженная	—	90	[113]
Гранатовые лерцолиты	То же	3	50	[105]
Гранатовые перидотиты	„ „	10	9,2	[68]
Гранат-шпинелевые перидотиты	„ „	7	130	[105]
Шпинелевые перидотиты	„ „	—	40	[113]
То же	„ „	7	47	[105]
Перидотиты	Африканская провинция	4	20	[151]
Гранатовые и шпинелевые перидотиты	Среднее		55	
Эцлогиты	Обнаженная	6	49	[105]
То же	То же	9	37	[68]
Эцлогиты	Среднее		43	

В дополнение к имевшимся ранее нами было произведено определение содержаний золота в 100 пробах кимберлитовых и родственных им пород Сибирской платформы. Анализ выполнялся в лаборатории ЦНИГРИ Б. Л. Серебряным нейтронно-активационным методом с использованием субстехиометрического разделения, с чувствительностью $1 \cdot 10^{-8}\%$ (0,1 мг/т). Средняя квадратичная погрешность данной серии определений, вычисленная по 19 контрольным пробам, составила 2 мг/т. Анализ содержаний серебра, выполненный для 20 проб, проводился в лаборатории ЦНИГРИ Н. В. Фишковой атомно-адсорбционным методом. По данным 9 контрольных определений средняя квадратичная погрешность анализа серебра в этой серии составила $8 \cdot 10^{-6}\%$ (80 мг/т).

Результаты анализов приведены в табл. 79. В нее включены также (в скобках, не учитывались при подсчете средних) результаты нескольких определений из работы Б. В. Олейникова с соавторами [38, 87]. Из табл. 79 видно, что содержания золота в большинстве

кимберлитовых трубок Сибири варьируют в небольших пределах, редко превышая 10—15 мг/т и составляя в среднем 7 мг/т. Различия в содержаниях золота между отдельными кимберлитовыми полями невелики. По африканским трубкам нам известно только одно определение [147]. Поэтому среднее содержание золота в сибирских кимберлитах (6,0 мг/т) условно принимается как среднее для кимберлитов в целом.

Родственные кимберлитам породы (пикритовые порфириты, ингилиты) обладают повышенными концентрациями золота и, в особенности, серебра, что выражается в увеличении в них по сравнению с кимберлитами отношения Ag/Au почти в три раза (36,2 против 13,3 соответственно).

Определения серебра для отдельных трубок, приведенные в табл. 79, следует принимать как оценочные, так как содержание этого элемента в кимберлитах близко к порогу чувствительности анализа [33].

Результаты определений золота в глубинных включениях из кимберлитовых трубок приведены в табл. 81. Содержания золота в перидотитах и эклогитах из трубки Обнаженная, полученные в лаборатории ГЕОХИ АН СССР [114], меньше полученных нами для тех же пород из той же трубки [97] в несколько раз. Для выяснения причины такого расхождения нами в лаборатории ЦНИГРИ были проанализированы дубликаты проб, любезно предоставленные А. В. Ухановым. Результаты параллельных определений показаны в табл. 82. И здесь цифры лаборатории ЦНИГРИ оказались больше в 4,5 раза. Таким образом, различные оценки содержания золота в глубинных включениях объясняются аналитическими погрешностями. Не имея оснований отдать предпочтение той или иной методике определения золота, мы, учитывая необходимость сопоставления анализа включений с данными по кимберлитам, а также соображения Б. Г. Лутца [68, с. 118], принимаем за основу цифры, полученные в лаборатории ЦНИГРИ, — тем более что эти же цифры приняты в сводке С. А. Щеки [123].

Концентрации золота во включениях гранатовых и шпинелевых перидотитов и эклогитов в целом мало отличаются друг от друга, находясь в интервале 2—5 мг/т. Они близки также к концентрациям золота во вмещающих кимберлитах (несколько отличаясь в

Содержания золота в глубинных включениях
из кимберлитовых трубок, мг/т
(в числителе — колебания содержаний, в знаменателе — среднее)

Порода	Трубка	Количество анализов	Au	Источник
Сибирская провинция				
Лерцолиты, эклогиты, вебстериты	Обнаженная	10	2,0—34,0 10,0	[19]
		2	1—4 2,5	[79]
Гранатовые перидотиты	Обнаженная	5	0,8—1,9 1,2	[114]
		6	1,4—8,0 4,0	[97]
То же	То же	2	1,0—4,0 2,5	[87]
„ „	„ „	12	1,0—8,0 4,3	[123]
„ „	Чолбон	4	1,3—1,9 1,55	[114]
„ „	?	1	2,8	[97]
Гранатовые пироксениты	Обнаженная	5	0,7—2,6 1,8	[114]
Гранатовый энстатит	То же	1	9,2	[97]
Шпинелевые перидотиты	„ „	1	1,5	[114]
То же	„ „	1	2,9	[97]
Слюдяной перидотит	„ „	2	3,2—4,2 3,7	[97]
То же	„ „	2	2,0—2,2 2,1	[114]
Шпинелевые энстатиты	„ „	8	0,8—4,5 2,15	[114]
Пироксениты	То же	10	1,3—9,1 5,1	[97]
Эклогиты	„ „	10	1,3—9,1 5,1	[123]
То же	„ „	10	1,3—9,1 5,1	[123]
„ „	„ „	10	1,3—9,1 5,1	[123]
Африканская провинция				
Гранатовые перидотиты	Бултфонтейн	2	0,6—1,0 0,8	[147]
		2	1,7—2,7 2,2	[147]
Эклогиты	Робертс-Виктор	2	1,7—2,7 2,2	[147]

меньшую сторону). В этом поведении золото схоже с поведением меди. Содержания золота в глубинных включениях из южно-африканских трубок по имеющимся немногочисленным данным [147] меньше, чем во включениях из Сибирской провинции.

В целом содержания золота во включениях из кимберлитовых трубок близки к содержаниям золота в ультраосновных включениях из щелочно-базальтоидных пород. Исключение составляют образцы из гавайских лав, в которых, по данным В. А. Вахрушева и В. Г. Цимбалист [19], концентрации золота составляют в среднем 23 мг/т, достигая 41 мг/т. Однако к этим данным следует относиться с осторожностью, так как те же авторы завышают содержания золота (2—34 мг/т) для включений из трубки Обнаженная.

Содержания золота во всех породах мантийного генезиса, вне зависимости от степени плавления исходного вещества, находятся в одном интервале значений от 1 до 10 мг/т [80]. Это отражает особенность поведения золота в глубинном петрогенезисе и, по-видимому, может рассматриваться как унаследованность исходных концентраций золота в верхней мантии.

Для решения вопроса о форме нахождения золота в кимберлитовых породах мы располагаем данными о концентрациях этого элемента в различных минералах кимберлитов (табл. 83). Золото содержится во всех минералах кимберлитов (включая сульфиды*) в коли-

Таблица 82

Результаты параллельных определений содержания золота в эклогитах трубки Обнаженная в различных лабораториях, мг/т

№ проб	1	2
Об-64	4,5	19,5*
Об-136	2,5	6,3
Об-146	1,9	9,8
Об-152	1,1	16,0
Об-303	0,8	6,15*
Об-306	2,6	6,3
Об-311	1,9	6,5
Об-312	1,9	8,4
Среднее из 8	2,15	9,9

Примечания. 1 — лаборатория ГЕОХИ АН СССР, аналитик Н. Ф. Пчелинцева [114]. 2 — лаборатория ЦНИГРИ, аналитик Б. Л. Серебряный.
* Среднее из двух определений.

* Речь идет о постмагматических сульфидах. По данным В. В. Иванова, акцессорные агрегаты глубинных сульфидов в кимберлитах обогащены золотом.

Содержание золота в минералах кимберлитовых пород
и ультраосновных включений Сибирской провинции, мг/т

Минерал	Трубка	Количество анализов	Ау	Источник
Кимберлиты				
Алмаз	Мир	1	0,7	[89]
То же	?	3	3,9	—
Среднее			2,3	
Пироп	Айхал	1	2,7	[97]
То же	Мир	1	2,0	[97]
„ „	Удачная-Восточная	1	0,8	[97]
Среднее			1,8	
Оливин	Мир	1	0,9	[97]
То же	Удачная-Восточная	1	1,0	[97]
Среднее			0,95	
Хромдиопсид	Мир	1	0,6	[97]
Ильменит	Мир	1	0,7	[97]
То же	Удачная-Восточная	1	0,5	[97]
Среднее			0,6	
Хромшпинелид	Айхал	1	1,1	[97]
То же	Мир	1	1,3	[97]
„ „	То же	8	1,1— —188,0	[97]
			40,6	
Магнетит	„ „	2	2,25	[97]
Пирит	„ „	1	1,9	[97]
Марказит	„ „	1	1,6	[97]
Смесь сульфидов	Айхал	1	3,3	[97]
Включение гранатового перидотита (Л-69-36)				
Порода	Обнаженная	1	1,4	[97]
Пироп	То же	1	0,5	[97]
Оливин	„ „	1	0,5	[97]
Диопсид	„ „	1	0,8	[97]
Энстатит	„ „	1	1,6	[97]

чествах, равных или даже меньших, чем в самих породах. Такое же невысокое содержание золота наблюдается в гранатах, оливинах, пироксенах, ильменитах, магнетитах из других ультраосновных, основных и щелочных пород. О содержании серебра в минералах кимберлитов и ультраосновных включений данных нет.

Нами ранее было высказано предположение о том, что золото содержится в минералах кимберлитов и ультраосновных включений не в виде изоморфной примеси, а образует в минералах микродисперсную фазу, либо находится в атомарном состоянии [97]. К такому же выводу в последние годы пришел ряд исследователей [10, 87 и др.]. И. К. Давлетов и другие в 1973 г. экспериментально, путем поэтапного выщелачивания золота, показали, что оно в интрузивных породах находится не в кристаллической решетке минералов, а в микротрещинах и дислокациях решеток. Теоретическое обоснование этого явления было дано Г. Н. Аношиным в 1972 г., который показал, что энергия внедрения иона Au^+ (а также ионов Ag^+ и Cu^+) в октаэдрические пустоты решетки минералов более чем вдвое превышала экспериментально найденную энергию дефектов решетки.

Таким образом, можно заключить, что золото в кимберлитах присутствует в атомарно-рассеянной форме, и этим объясняется унаследованность его концентрации от содержания в исходном мантийном материале, а также повышенная миграционная способность. Исходя из этого трудно ожидать устойчивой корреляции золота в кимберлитах с петрогенными элементами и нехалькофильными микроэлементами, что подтверждается наблюдениями И. К. Давлетова и С. В. Головни на других природных объектах. Концентрации золота в представительных пробах кимберлитов и содержащихся в них включений можно рассматривать как близкие к концентрациям золота на соответствующих глубинных уровнях верхней мантии для соответствующих районов.

ЦИНК, СВИНЕЦ И ОЛОВО

Цинк в отечественных кимберлитах изучался В. В. Ивановым (устное сообщение) и Л. С. Бородиным с соавторами [12]. В обоих случаях анализы выполне-

ны методом количественного спектрального анализа в лаборатории БГЭ ИМГРЭ. Нами приводится 32 анализа кимберлитов из 32 кимберлитовых тел и 41 анализ ультраосновных включений из кимберлитов Сибири. Л. С. Бородиным с соавторами выполнено 30 анализов из 26 кимберлитовых трубок. Сходимость указанных данных удовлетворительная и потому они объединены в табл. 84. Кимберлиты Сибири характеризуются сравнительно равномерным содержанием цинка. Его количество в большинстве проб колеблется от 30 до 70 г/т, при среднем 56 г/т. Однако в 6 пробах из 38 цинк не обнаружен, а, с другой стороны, в 6 трубках установлены аномальные содержания этого элемента (от 110 до 600 г/т), что связано, по-видимому, с наложенной гидротермальной минерализацией. Как известно, в ряде кимберлитовых трубок среди вторичных минералов встречается сфалерит (реже — вюртцит), иногда в ассоциации с галенитом. Наиболее часто скопления сфалерита наблюдаются в трубке Мир в пирит-кальцитовых прожилках. Сфалерит отмечается также в кимберлитовых брекчиях трубок Удачная-Западная, Невидимка, Чомур и Светлая, но, в отличие от трубки Мир, в этих трубках сфалерит не ассоциирует с галенитом. В трубке Надежная встречен вюртцит.

Пикритовые порфириды, ассоциирующие с кимберлитами (см. табл. 84), обогащены цинком (137 г/т против 56 г/т в кимберлитах, при колебании содержания цинка 40—180 г/т).

Сведения о содержании цинка (определявшегося методом рентгено-флюоресценции) в кимберлитах зарубежных провинций (58 анализов для южно-африканских и 5 для северо-американских кимберлитов) помещены в обстоятельной работе Дж. Дж. Гурни и Л. Х. Аренса [158]. Эти данные, а также результаты анализа 125 проб глубинных включений из кимберлитов приведены в табл. 85. Содержание цинка в кимберлитах Южной Африки и Северной Америки колеблется от 38 до 95 г/т. Среднее содержание цинка в кимберлитах Сибирской (56 г/т) и зарубежных провинций (55 г/т) оказалось одинаковым.

Содержание цинка в породах глубинных включений отражено в табл. 86. Сведения о концентрации этого элемента во включениях из кимберлитов Южной Африки заимствованы из работы Дж. Дж. Гурни и

Содержание цинка, свинца и олова в кимберлитовых и родственных им породах Сибирской провинции, г/т

Трубка (№ обр.)	Zn	Pb	Sn
-----------------	----	----	----

Кимберлиты

Мало-Ботуобинское поле

Амакинская	350	430	6
Имени XXIII съезда КПСС	30	26	16
Интернациональная	—	6	3
Интернациональная	600	100	3
Мир (Р-19-К, б/н)	<u>50—60</u>	25	7
Таежная	—	14	7
Среднее (без Амакинской и Интернациональной)	22	15	6,5

Алакитское поле

Айхал	<u>0—80</u>	<u>12—14</u>	<u>3—3</u>
Веселая	40	13	3
Заря	90	22	7
Искорка	40	21	Не опр.
Начальная	110	21	13
Светлая	170	22	3
Смежная	110	19	7
Снежинка, западная часть (Сн-38)	—	14	6
Снежинка, западная часть (Сн-38)	50	Не опр.	Не опр.
Среднее	76	19	6,5

Далдынское поле

Геофизическая, порфировая (ГК-3)	70	Не опр.	Не опр.
Дальняя, порфировая (Дл-31)	60	Не опр.	Не опр.
Дальняя, брекчия (Дл-35)	40	Не опр.	Не опр.
Загадочная	Н. о.	24	9

Продолжение табл. 84

Трубка (№ обр.)	Zn	Pb	Sn
Зарница (З-147, б/н)	$\frac{30-70}{50}$	24	7
Сибирская	100	28	7
Удачная-Восточная (УС-217-170, б/н)	$\frac{50-90}{70}$	43	$\frac{10-14}{12}$
Фестивальная	50	16	7
Якутская (Я-23, б/н)	$\frac{50-70}{60}$	18	6
Среднее	55,5	25,5	8
Верхне-Моторчунское поле			
Зимняя (Зм-4/3, б/н)	60	24	10
Комсомольская	60	27	11
Легкая	90	28	12
Магнитная (Мн-4)	60	Не опр.	Не опр.
Новинка (Нв-4/4, б/н)	$\frac{30-60}{45}$	13	3
Среднее	63	26	9
Чомурдахское поле			
Бортовая (Б-4-1)	Н. о.	Не опр.	Не опр.
Светлая (Сл-76а, Сл. 73-129, Сл. 71)	$\frac{30-90}{64}$	Не опр.	Не опр.
Уральская (Ур-2)	70	Не опр.	Не опр.
Среднее	56	—	—
Огоньор-Моторчунское поле			
Аэрогеологическая (Аг-20)	60	Не опр.	Не опр.
Омонос-Кутугунское поле			
Аномалия 46а, Укукит (Ук-76)	90	Не опр.	Не опр.

Продолжение табл. 84

Трубка (№ обр.)	Zn	Pb	Sn
Мерчимденское поле			
Безымянная	80	Не опр.	Не опр.
Операторская, Северная ш. 4	140	Не опр.	Не опр.
Куойское поле			
Второгодница (Вт-732)	Н. о.	Не опр.	Не опр.
Муза (Мз-802)	30	Не опр.	Не опр.
Русловая (Ол-Р-52)	<30	Не опр.	Не опр.
Среднее	15		
Средне-Куонамское поле			
Незабудка (Нз-1-33, б/н)	$\frac{40-180}{110}$	20	6
Среднее для кимберлитов (без тр. Амакинской)	56	20	7
Пикритовые порфиры, ассоциирующие с кимберлитами Средне-Куонамское поле			
Альфа	120	32	13
Бета	$\frac{40-180}{110}$	28	10
Нейбабыт	180	23	23
Среднее для пикритовых порфиритов	137	28	12

Л. Х. Аренса [158] и приводятся в табл. 87. Среднее содержание цинка в глубинных включениях Сибирской и Южно-Африканской провинций, как и в случае кимберлитов, идентично (соответственно 34 и 34,5 г/т). Цинк в породах глубинных включений распределен весьма равномерно. Интервал колебания для образцов из Сибирских кимберлитов 0—50 г/т (а в двух образ-

Содержание цинка в кимберлитах зарубежных провинций, г/г

Трубка (количество обр.)	Пределы колебания	Среднее
Южная Африка		
Бесслюдяные (базальтоидные) кимберлиты		
Булфонтейн (13)	58—65	62
Весселтон (5)	61—64	62
Де-Бирс (7)	57—60	58
Дютуйтспен (6)	51—55	53
Ягерсефонтейн (10)	47—65	54
Коффифонтейн (5)	48—67	54
Среднее (46) для бесслюдяных (базальтоидных) кимберлитов		57
Слюдяные кимберлиты		
Робертс-Виктор (6)	38—56	60
Ньюлендс	41—59	50
Среднее для слюдяных кимберлитов (12)		55
Среднее для Южной Африки (58)		57
Северная Америка		
Прайри-Грик (Арканзас) (3)	64—95	77
Кимберлиты США (2)	60—65	62
Среднее для Северной Америки (5)		70
Среднее для кимберлитов (63)		59

цах из трубок Омонос-Кутугунского поля соответственно 160 и 210 г/т). Аномально высокие содержания цинка в отдельных включениях могут быть связаны с появлением в них сфалерита. Включение ильменит-диопсид-флогопитовой породы, содержащее сростки сфалерита и халькопирита, встречено в трубке Южная Омонос-Кутугунского поля [85].

Содержание цинка в глубинных включениях из кимберлитов
Сибирской провинции, г/т

Трубка (поле), № обр.	Цинк	Трубка (поле), № обр.	Цинк
Перидотиты			
Аномалия 66 (Укукит- ское поле), P-701	160	Надежная, p-626	Н. о.
Дальняя, P-421	30	Новинка, p-502, p-505	Н. о.
Дама, P-721	60	Радиогеодезическая, p-284	Н. о.
Маршрутная, p-244	<30	Сытыканская, p-222	50
Дружба (Чомурдахское поле), P-605	30	Удачная-Восточная, p-360, p-361	50
Заполярная, p-531	<30	Чолбон, p-791, p-794	45
Обнаженная, p-918, P-920	35	Чомур, p-659, p-681	35
Подтрапповая, p-191	30		
Радиогеодезическая, p-281	Н. о.	Среднее	39
Удачная-Восточная, p-362	<30		
Пироксениты			
Среднее	38	Удачная-Восточная, p-359	30
		Чомур, p-665	Н. о.
Гранатовые перидотиты			
Аномалия 15 (Укукит- ское поле), p-706	210	Среднее	15
Дальняя, p-424	30	Эклогиты	
Зимняя (Мунское), p-582	30	Дружба, p-610	40
Кубанская, p-711	Н. о.	Маршрутная, p-241	50
Маршрутная, p-246	40	Мир, p-3	Н. о.
Мачала, p-781	<30	Обнаженная, p-916	30
Мир, p-9, p-19, P-29	0—50	Среднее	30
	33		
		Среднее для ультраос- новных включений	34

В Южно-Африканской провинции наибольшие колебания в содержании цинка наблюдаются для эклогитов (12—77 г/т), в то время как для перидотитов и пироксенитов интервал колебаний чрезвычайно узок (30—47 г/т). Корреляции между минералогией исследованных образцов эклогитов и содержанием цинка, а также с сульфидной составляющей не наблюдается

Содержание цинка в ультраосновных включениях
из кимберлитовых трубок Южной Африки, г/т

Порода, трубка (количество анализов)	Пределы колебаний	Среднее
Перидотиты		
Булфонтейн (49)	30—39	33
Весселтон (18)	31—47	35
Де-Бирс (12)	30—46	35
Дютойспен (14)	31—47	34
Ягерсфонтейн (10)	22—38	32
Робертс-Виктор (2)	37—38	37,5
Среднее для перидотитов (105)	—	35
Гранатовые дерцолиты (37)	—	36,5
Лерцолиты (16)	—	35,1
Гранатовые гарцбургиты (18)	—	33,4
Гарцбургиты (28)	—	33,0
Среднее		34,6
Пироксениты		
Весселтон (1)	—	30
Ягерсфонтейн (1)	—	39
Среднее		34
Среднее для ультраосновных пород (107)	—	34,5
Эклогиты		
Робертс-Виктор (16)	13—77	54
Кроун (1)	—	50
Ягерсфонтейн (1)	—	12

[158]. Вторичные изменения, по данным тех же авторов [158], оказывают слабое влияние на концентрацию цинка в ксенолитах. Вторичный флогопит незначительно увеличивает содержание цинка во включениях, а серпентинизация приводит к некоторому выносу этого элемента.

Ультраосновные породы включений по сравнению с кимберлитами характеризуются как более низким содержанием (34 против 55 г/т), так и более равномерным распределением цинка. Сведения о распределении цинка между породообразующими и акцессорными минералами кимберлитов крайне малочисленны. Спектральным анализом цинк установлен в 2 образцах оливины (устное сообщение В. В. Иванова), в количестве 100 и 120 г/т, в то время как в 4 образцах граната, 1 — хромдиопсида и 1 — ильменита при чувствительности метода 30 г/т цинк не обнаружен.

Кимберлиты по сравнению с метеоритами и перидотитами обогащены цинком, а по сравнению с пикритовыми порфиритами карбонатитовых комплексов (220 г/т), оливиновыми мелилититами (196 г/т), континентальными и океаническими базальтами (107 г/т) — значительно обеднены этим элементом.

Свинец и олово в отечественных кимберлитах исследовались: Л. С. Бородиным с соавторами [12]. Анализы выполнены методом количественного спектрального анализа в лаборатории Бронницкой геохимической экспедиции ИМГРЭ (см. табл. 84). Содержание свинца колеблется от 6 до 43 г/т, а олова от 3 до 16 г/т при среднем соответственно 20 и 7 г/т. В двух кимберлитовых трубках (Амакинской и Интернациональной) наблюдаются аномально высокие содержания свинца, что коррелируется с содержанием цинка и связано с гидротермальной минерализацией. Как известно, в ряде кимберлитовых трубок [91] присутствует галенит. Минералы олова в кимберлитах не обнаружены.

В ряде иностранных работ по кимберлитам приведены единичные определения свинца, выполненные спектральным методом. Содержание этого элемента в зарубежных кимберлитах колеблется в том же интервале — от 5 до 50 г/т.

В пикритовых порфиритах, ассоциирующих с кимберлитами, содержание этих элементов несколько повышено (28 г/т Рв и 12 г/т Sn). В пикритовых пор-

фиритах из карбонатитовых комплексов содержание свинца находится в том же интервале (14—21 г/т), а олова несколько больше, чем в кимберлитах (5—16 г/т, при среднем 11 г/т). По сравнению с другими ультраосновными породами, кимберлиты обогащены свинцом и оловом.

РТУТЬ

Геохимия ртути в кимберлитах и родственных им породах изучена по инициативе и под руководством Н. А. Озеровой (ИГЕМ АН СССР) с участием авторов книги. Результаты исследований изложены в статье [100], которая положена в основу настоящего раздела. Анализировались кимберлитовые породы и присутствующие в них глубинные включения из большинства районов кимберлитового вулканизма Сибирской провинции, а также пикритовые порфириты, ингилиты и взрывчатые карбонатитовые брекчии (последние из коллекции В. К. Маршинцева). Изучены единичные образцы из Белозиминского района. Кроме того, были проанализированы отдельные образцы из кимберлитовых трубок Гвинеи, включения из трубок Южной Африки (из колл. Н. В. Соболева) и некоторые другие. Всего 350 образцов. Анализы на ртуть выполнены А. В. Волковой (ИГЕМ АН СССР).

Среднее содержание ртути в кимберлитах и близких к ним породах из различных районов изменяется от 4 мг/т до 25 мг/т (табл. 88). Наиболее высокое среднее значение (25 мг/т) отмечается для щелочно-ультраосновных пород Белозиминских трубок.

Среднее содержание ртути для кимберлитов Сибирской платформы (см. табл. 88) 10 мг/т*. Оно существенно не отличается от среднего содержания для районов Африки: в кимберлитах из трубок Гвинеи 7 мг/т и в туфах оливин-пикритовых базальтов из трубок республики Мали 9 мг/т.

Сравнение средних содержаний ртути в собственно кимберлитах, ингилитах, оливин-пикритовых базальтах и взрывчатых карбонатитах по критерию Стьюдента

* В расчет не включены аномальные содержания ртути (от 100 до 2000 мг/т) в Далдыно-Алакитском, Верхне-Мунском и Средне-Оленекском районах.

Распределение ртути в кимберлитах и глубинных включениях из кимберлитовых трубок Сибирской и Африканской провинции

Районы кимберлитового вулканизма	Кимберлиты				Включения			
	Число проб, n	Среднее арифметическое, X, мг/т	Стандартное отклонение S	Размах крайних значений, мг/т	Число проб, n	Среднее арифметическое, X, мг/т	Стандартное отклонение, S	Размах крайних значений, мг/т

Сибирская провинция

Мало-Ботуобинский	21	17	17	2—80	6	16	7	10—25
Далдыно-Алакитский	33	8	12	2—50	31	10	7	2—40
Верхне-Мунский	6	16	14	5—45	2	40	28	20—60
Средне-Оленекский	5	4	3	2—10	14	32	37	2—120
Нижне-Оленекский	8	14	15	2—35	34	32	35	7—200
Приленский	4	4		2—4	—	—	—	—
Куонамский	61	9	7	2—40	—	—	—	—
Ингилийский	21	7	6	2—30	—	—	—	—
Белозиминский	3	25	8	15—30	—	—	—	—
Среднее по районам (без карбонатитов)	143	10	11	2—80	—	—	—	—

Африканская провинция

Гвинея	4	7	5	2—15	—	—	—	—
Мали	14	9	7	2—25	—	—	—	—

показало, что значимые различия в концентрации ртути отсутствуют (табл. 89).

Расчленение кимберлитов и родственных им пород Сибири по возрасту на довендские, среднепалеозойские и мезозойские (см. табл. 89) также не позволило выявить направленного изменения средних содержаний ртути.

Глубинные включения из кимберлитов (см. табл. 88) в целом содержат больше ртути: средние по районам изменяются от 10 до 32 мг/т при средних содержаниях ртути в кимберлитах тех же районов 4—17 г/т. Общее среднее содержание ртути во включениях 23 мг/т значимо

Основные параметры распределения ртути в различных типах пород

Породы	Число проб, n	Среднее арифметическое, \bar{X} , мг/т	Стандартное отклонение, S	Размах крайних значений, мг/т
Глубинные включения				
Шпинелевые перидотиты	19	43	50	2—200
Гранатовые перидотиты	27	16	14	2—60
Эклогиты	34	22	20	5—100
Слабосерпентинизированные	23	17	22	2—100
Серпентинизированные	22	17	26	2—120
Кимберлиты и близкие к ним породы				
Кимберлиты в среднем	122	10	12	2—80
Ингилиты	21	7	6	2—30
Оливин-пикритовые базальты (Мали)	14	9	7	2—25
Эксплозивные карбонаты	16	10	7	2—30
Довендские кимберлиты	21	7	6	2—30
Средне-верхнепалеозойские кимберлиты	68	12	14	2—80
Мезозойские кимберлиты	54	8	8	2—35
Наименее измененные кимберлиты	10	17	13	5—45
Коровые (Мали)	14	9	7	2—25
Мантийные	143	10	11	2—80

отличается от среднего содержания в кимберлитах, подсчитанного для тех же районов, — 12 мг/т; надежность отличия по t - и F -критериям 99,99%. Некоторые различия проявляются при сопоставлении отдельных районов. Так, для Мало-Ботуобинского, Алакитского и Далдынского районов содержания ртути во включениях и кимберлитах очень близки, а в Верхне-Мунском, Нижне-Оленекском и особенно Средне-Оленекском они заметно отличаются (в Средне-Оленекском почти на порядок).

Разновидности глубинных включений различаются по содержанию ртути. Среднее содержание ртути в перидотитах (безгранатовых) составляет 43 мг/т; в гра-

натовых перидотитах 16 мг/т и в эклогитах 22 мг/т. При этом наиболее неоднородно распределение ртути в перидотитах — с разбросом значений в два порядка; в гранатовых перидотитах и эклогитах оно более равномерно. Два образца гроспидитов из трубки Загадочная показали 10 мг/т. Содержание ртути в четырех образцах включений из южно-африканских диатрем равно 10—20 мг/т.

Была сделана попытка выявить минералы-концентраторы ртути во включениях. В табл. 90 приведены

Таблица 90

Содержание ртути в мономинеральных пробах из глубинных включений, в мг/т

Вещающая порода	Трубка	Гранат	Пироксен	Ильменит	Порода
Эклогиты	Обнаженная	10—20	20—30	—	42
	Удачная	—	—	10	—
Гранатовый перидотит	Мир	50	10	—	15

данные о содержании ртути в мономинеральных пробах. В тех случаях, когда пробы отбирались вручную, без применения реактивов, содержание ртути в минералах хорошо коррелируется с валовым содержанием в породе.

Для 10 образцов глубинных включений были рассчитаны парные коэффициенты корреляции: для ртути с фтором ($r = -0,16$) и ртути с хлором ($r = -0,38$) они оказались за пределом значимых.

Вторичные процессы влияют на перераспределение ртути по-разному. Серпентинизация не приводит к заметному изменению содержания ртути (см. табл. 89). Это особенно видно по включениям, где средние содержания в разной степени серпентинизированных разновидностей одинаковы (17 мг/т), и по кимберлитам, где почти неизменный кимберлит близок по содержанию ртути среднему кимберлиту (17 и 10 мг/т)*.

* Сравнение проводилось по критерию Стьюдента.

Гидротермальные процессы приводят в ряде случаев к отчетливой концентрации ртути в пирите, галените и барите (табл. 91).

В одном случае в трубке Ленинградская в кварцево-кальцитовой жеодке встречена киноварь в виде иголок длиной 0,2—0,9 мм и толщиной от тысячных долей

Таблица 91

Содержание ртути в гидротермальных минералах
из кимберлитовых трубок, мг/г

Минерал	Трубка (количество анализов)	Пределы колебаний
Пирит	Мир (7) Удачная (8) Аномалия 46, 53, 53 (1)	40—840 40—620 670
Галенит	Мир (4) Айхал (1) Геофизическая (1)	100—1800 140 300
Сфалерит	Мир (1)	80
Барит	Мир (2) Айхал (1) Сытыканская (1) Заполярная (2)	10—20 320 550 10—90
Целестин	Удачная (4) Зарница (2)	10—400 10
Гипс	Мир (1) Удачная (1)	10 30
Кальцит	Мир (1) Удачная (2)	10 30—40
Битум	Мир (1)	40

до 0,1 мм. В образцах трапповой дайки из трубки Ленинградская содержание ртути не превышает 0,5 мг/т, и только в контактовых частях с кимберлитом, где встречена киноварьсодержащая кварц-кальцитовая жеодка, оно повышается до ореольных значений 200—2000 мг/т, что обусловлено наложенными процессами, равно как и во включении трубки Надежная (2000 мг/т), поскольку в этой трубке фиксируется широкое развитие гидротермальных минералов: вюртцита, галенита, пирита, халькопирита и др. Не исключено, что таким же путем образовались повышенные концентрации ртути в некоторых диатремах Южной Африки и Австралии. По данным В. Д. Эманна и Дж. Ф. Ловеринга (1967 г.), в одном образце кимберлита и двух ксенолитах из трубок Бултфонтейн и Робертс-Виктор содержится 200—780 мг/т ртути, а в двух образцах включений из трубки Делегат 1200—1500 мг/т ртути. Нами в образцах из тех же трубок установлены низкие содержания ртути во включениях (10—20 мг/т). Очевидно, кимберлитовые трубки являются проводниками глубинных эманаций, иногда ртутьсодержащих, что и фиксируется в отдельных случаях появлением повышенных содержаний ртути.

Весь приведенный выше материал свидетельствует о довольно низких содержаниях ртути в верхней мантии: в эклогитах, гранатовых перидотитах и кимберлитах среднее составляет 12—22 мг/т, и только в безгранатовых перидотитах практически равно кларку земной коры (45 мг/т).

По данным Н. А. Озеровой (1973 г.), содержание ртути в породах предположительно подкорового происхождения также свидетельствует о ее низких содержаниях в производных верхней мантии (среднее 20—40 мг/т). В некоторых ультраосновных породах встречены уникально низкие содержания ртути (менее 3 мг/т), т. е. в 3—7 раз ниже, чем в кимберлитах и гипербазитах из включений. По сравнению с каменными метеоритами, в которых среднее содержание ртути 6600 мг/т, и с хондритами—без углистых разностей (1900 мг/т) кимберлиты и родственные им породы обеднены ртутью более чем на два порядка.

Галлий в кимберлитах Сибирской провинции определялся в БГЭ ИМГРЭ (количественный спектральный анализ) и в спектральной лаборатории ВНИИЯГГ (80 образцов авторов книги) и Л. С. Бородиным с соавторами [12] в химической лаборатории ИМГРЭ (28 проб). Всего содержание галлия определено в 29 кимберлитовых трубках, 9 телах пикритовых порфиритов и 3 телах карбонатитов. Результаты определений трех лабораторий находятся в хорошем согласии и отражены в сводной табл. 92. Содержание галлия в кимберлитах колеблется в довольно узком интервале (от 4 до 14 г/т) при среднем 6 г/т.

Для кимберлитов зарубежных провинций приводится лишь среднее содержание галлия в работе П. Г. Харриса и Е. Мидделмоста [161] — 9 г/т. Вполне возможно, что наши «средние» (6 г/т) несколько занижены за счет того, что большинство изученных проб принадлежат трубкам центральных кимберлитовых полей. Трубки северных полей и особенно ассоциирующие с кимберлитами пикритовые порфириты несколько богаче галлием (от 6 до 16 г/т при среднем 10,2 г/т). Количество галлия в пикритовых порфиритах Сибирской кимберлитовой провинции аналогично таковому в пикритовых порфиритах из карбонатитовых комплексов (10,2 г/т и 10,7 г/т, см. табл. 92). Обогащенность пикритовых порфиритов галлием по сравнению с кимберлитами вполне объяснима, так как галлий изоморфно замещает Fe^{2+} и Zn^{2+} в сульфидной фазе и Al^{3+} и Fe^{3+} в силикатных минералах. Карбонатиты, ассоциирующие с кимберлитами, наоборот, бедны галлием.

Галлий (табл. 93) был определен также в 10 образцах ультраосновных включений из кимберлитов (колл. Б. Г. Лутца).

Содержание галлия в гранатовых перидотитах и эклогитах соответствует его содержанию в кимберлитах южных районов. Что же касается эклогитоподобных пород, то в них содержится плагиоклаз, с которым, вероятно, и связана повышенная концентрация галлия. Ввиду малочисленности выполненных анализов выводы могут быть лишь предварительными. Галлий определен во включениях перидотитов из вулкана Лашейн (Танзания) [194]: для 8 проб гранатовых перидотитов полу-

Содержание галлия в кимберлитовых и родственных породах, г/т

Поле, район, трубка (кол. проб)	Преде- лы коле- баний	Сред- нее	Поле, район, трубка (кол. проб)	Преде- лы коле- баний	Сред- нее
Кимберлиты Мало-Ботуобинское			Омонос-Кутугунское		
Амакинская- Северная (1)	—	5	Дайка Укукит (2)	12—13	12,5
Амакинская- Южная (1)	—	4	Ленинград (2)	6—7	6,5
Аномалия 21 (2)	3—7	5	Фестивальная (1)	—	13
Мир (5)	4—5	5	Эгизнтей (2)	7—10	8,5
Имени XXIII съез- да КПСС (2)	3—5	4	Среднее	—	10,1
Интернациональ- ная (2)	4—4	4	Верхне-Молодинское		
Таежная (2)	6—8	7	Гранатовая (2)	7—9	8
Среднее		5	Хризолитовая (1)	—	5
Алакитское			Среднее	—	6,5
Айхал (туф) (2)	3—4	3,5	Куойское		
Айхал (брекчия) (2)	4—4	4	Второгодница (1)	—	4
Искорка (1)	—	8	Муза (2)	2—4	3
Сувенир (2)	5—6	5,5	Обнаженная (1)	—	6
Среднее		5	Среднее	—	4,3
Далдынское			Средне-Куонамское		
Аэросъемочная (2)	5—7	6	Космическая (1)	—	14
Дальная (1)	—	6	Незабудка (1)	—	6,5
Загадочная (4)	7—8	7	Среднее		10,3
Зарница (8)	5—6	5	Среднее		6
Удачная-Восточ- ная (10)	3—9	5,8	Среднее для кимберлитов		
Удачная-Западная (1)	—	5			
Якутская (2)	5—6	5,5			
Среднее	—	6			

Поле, район, трубка (кол. проб)	Пределы колебаний	Среднее	Название трубки	Пределы колебаний	Среднее
Пикритовые порфириды, ассоциирующие с кимберлитами			Карбонатиты, ассоциирующие с кимберлитами Куонамский район		
Куойское					
Великан (1)	—	9	Аномалия-70 (2)	4—4	4
			Южо-Южная (1)	—	5
			Яблочко (1)	—	6
Средне-Куонамское			Среднее для карбонатитов	—	5
Альфа (1)	—	6			
Бета (3)	9—12	10,3			
Баргыдымалах-Северный (2)	6—7	6,5			
Баргыдымалах-Южный (2)	8—15	11,5			
Нейбабыт (брекчия, слюдистый) (3)	11—12	11,5			
Нейбабыт кр. крист. (1)	—	16	Карело-Кольская провинция (5)		11,4
			Восточно-Саянская провинция (4)	—	10
Среднее		10,3	Среднее из 9		10,7
Ингилийское					
Нина (2)	8—11	9,5			
Среднее для пикритовых порфиритов		10,2			

* По [12]

чено от 2,3 до 3,7 г/т (среднее 2,8), для 8 безгранатовых разностей — от 1,5 до 3,6 г/т (среднее 2,2). По сравнению с нашими данными содержание галлия во включениях из этого вулкана оказывается более низким.

Содержание галлия в ультраосновных включениях
из кимберлитов Сибири, г/т

Порода, трубка	№ обр.	Галлий
Гранатовый перидотит, трубка Обнаженная	Л-69-201	7
	Л-69-203	6
	Л-59-204	7
	АО-66-5а	6
Среднее из 4		6,5
Эклогит, трубка Обна- женная	Л-69-22	7
	Л-69-30	5
	Л-69-208	7
	АО-116	5
Среднее из 4		5,5
Эклогитоподобная порода	Л-66-316	12
	АМ-17	9
Среднее из 2		10,5

ГЕРМАНИИ

Литературные данные о содержании германия в кимберлитах скудны. В. В. Бурков и Е. К. Подпорина [15] приводят среднее содержание германия — 0,5 г/т по 48 образцам. То же значение приведено в работе П. Г. Харриса и Е. Миддлмоста [16]. Для минералов кимберлитов В. В. Бурков [14] сообщает следующие данные: пироп 5 г/т (среднее по 9 образцам), оливин 1 г/т (3 образца), ильменит 2 г/т (8 образцов).

Результаты количественного определения германия, выполненного химическим методом (аналитик Н. Букавцова, ИМГРЭ), приведены в таблицах 94, 95. Кроме кимберлитов и глубинных включений, анализ произведен для двух монофракций оливина (0,42 и 0,50 г/т) и для двух монофракций пироба (1,6 и 1,7 г/т).

**Содержание германия в кимберлитах
Сибирской провинции, г/т**

Трубка	№ обр.	Ge
Мир	P-19-к	0,82
Коллективная, юго-западная часть	K-1/1	0,54
Снежинка, западная часть	Cн-38	0,81
Зарница	З-147	0,76
Удачная-Восточная	217—170	0,73
Зимняя, л. 4, ш. 3	Зм-4/3	0,75
Новинка, л. 4, ш. 4	Нв-4/4	0,70
Среднее по трубкам южных полей		0,73
Бортовая, ш. 4	Б-4-1	0,66
Операторская-Северная	Оп-4/3	1,1
Русловая	ОЛ-Р-52	0,56
Баргыдамалах-Южная	КН-1371	0,87
Среднее по трубкам северных полей		0,80

Таблица 95

**Содержание германия в глубинных включениях из кимберлитов
Сибирской провинции, г/т**

Трубка	Разновидности перидотита	№ обр.	Германий
Мир	Гранатовый	P-29	0,79
Сытыканская	То же	P-222	0,78
Маршрутная	” ”	P-246	0,76
Удачная-Восточная	” ”	P-360	0,80
То же	Шпинелевый	P-362	0,58
Дальняя, брекчия	То же	P-421	1,00
Заполярная	Безгранатовый	P-531	0,71
Среднее по трубкам южных полей			0,77
Дружба	Ильменитовый	P-602	0,92
Кубанская	Гранатовый	P-711	1,50
Чолбон	То же	P-794	0,64
Обнаженная	Шпинелевый	P-920	1,00
Средняя по трубкам северных полей			1,05

Сопоставление с результатами силикатного анализа тех же образцов позволило выявить заметную положительную связь германия с суммарным железом и с титаном (рис. 30). Кимберлиты в среднем немного беднее германием, чем глубинные включения. Образцы северных районов провинции, по-видимому, несколько обогащены германием по сравнению с образцами центральных (южных) районов.

Незначительные колебания содержания германия можно объяснить тем, что этот элемент тесно связан с кремнием и железом, суммарное содержание которых в рассматриваемых породах мало варьирует. Данные для кимберлитов и глубинных включений близки к кларку германия для ультраосновных пород (1 г/т) [20].

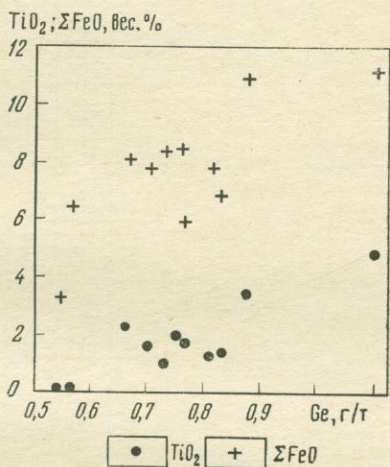


Рис. 30. Зависимость содержания германия от содержаний титана и общего железа в кимберлитах Сибири

ФОСФОР

Данные о концентрации фосфора в кимберлитах приведены вместе с цифрами для петрогенных компонентов в таблицах главы II. Содержание фосфора в кимберлитах Сибири рассмотрено И. П. Илупиным [43], а также В. К. Маршинцевым и др. Разные лаборатории нередко давали заметные расхождения по фосфору для аналогичных образцов кимберлитов [43]. К настоящему времени для большинства трубок, где были выявлены такие расхождения, сделаны контрольные определения.

Вариации содержаний фосфора по отдельным полям Сибирской провинции показаны на гистограммах (рис. 31). В большинстве случаев содержание P_2O_5 в кимберлитах и пикритовых порфиритах колеблется от 0,2 до 2,0%. Минимальные содержания встречены в трубках Находка и Ява Толуопского поля (соответ-

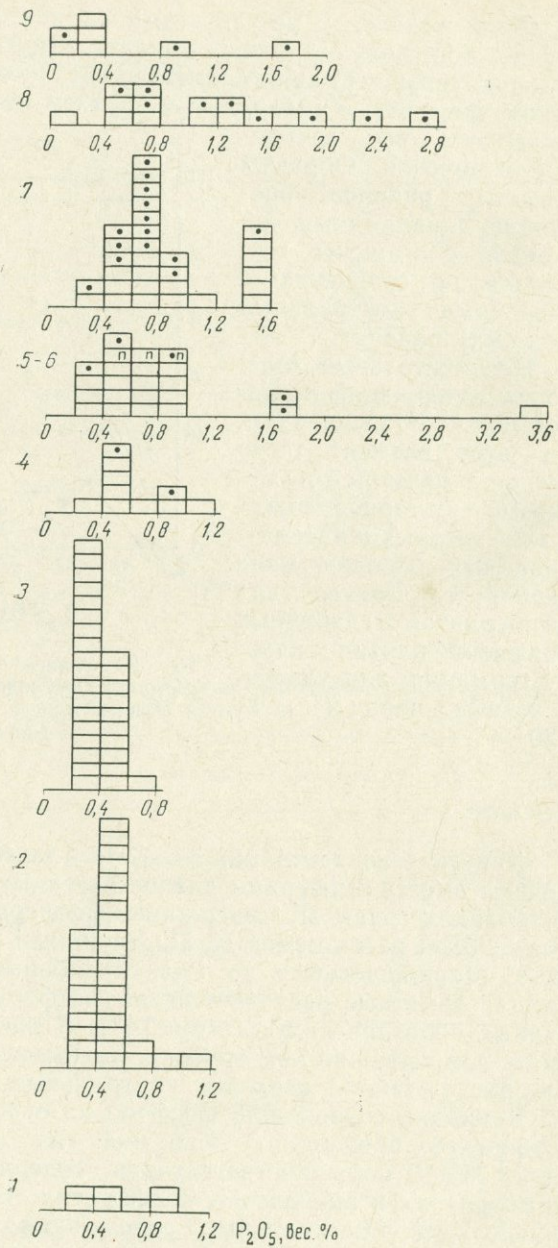
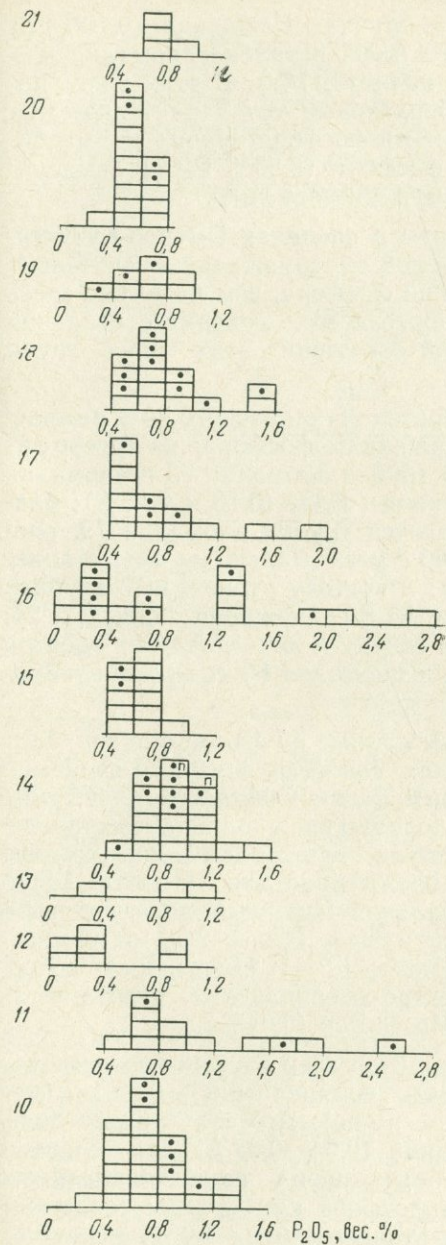


Рис. 31. Содержания фосфора в кимберлитах и
Обозначения те



пикритовых порфиритах отдельных полей Якутии.
же, что на рис. 7.

ственно 0,05 и 0,18%), в трубках Слюдянка (0,10%) и Муза (0,20%) Куойского поля, в трубке аномалия «А» Огоньор-Моторчунского поля (0,17%). В этих трех полях большинство кимберлитовых тел характеризуются пониженными содержаниями фосфора. Напротив, максимальным содержанием фосфора (3,56% P_2O_5) выделяется дайка Бортовая Чомурдахского поля.

Пикритовые порфириды в пределах Омонос-Кутугунского и Лучаканского полей обнаруживают значительно больший разброс значений фосфора, чем развитые здесь же кимберлиты, что, скорее всего, говорит о различии процессов магматической эволюции этих двух групп пород.

В пикритовых порфиридах Лучаканского поля выявлена зональность по содержаниям фосфора: на северо-западе поля расположены трубки аномалия 75 и аномалия 75а с низкими содержаниями P_2O_5 (0,16 и 0,18%); ближе к центру поля находятся трубки аномалия 79, аномалия 79а и аномалия 80 с максимальными содержаниями (1,97; 2,09 и 2,72%); к востоку от центра в трубках Каппа, Круглая и дайке № 8 содержания ниже (1,24; 1,34 и 1,39); наконец, к западу и юго-западу от центра в трубках аномалия 84 и аномалия 89 содержания P_2O_5 0,25; 0,52; 0,67%.

На рис. 32 приведены данные по фосфору в зарубежных кимберлитовых телах, сопоставляемые со средними значениями по отдельным полям Сибирской провинции. Содержания фосфора колеблются в одинаковых пределах, при этом намечается несколько повышенное среднее для Южной Африки и пониженное для Западной Африки. Кимберлиты Центральной Индии отличаются явно повышенным содержанием P_2O_5 (более 2%) от кимберлитов Южной Индии (менее 1,2%). Ничтожные содержания встречены в северо-американских кимберлитах Булл Парк (0,02%) и Мозес Рок (0,04%).

В общем для кимберлитов всех изученных регионов среднее содержание P_2O_5 порядка 0,55—0,80% (для Центральной Индии еще выше). Это значительно больше кларковых содержаний (0,04—0,37%) для главных типов изверженных горных пород щелочноземельного ряда [20]. По обилию фосфора кимберлиты сопоставимы с щелочными базальтоидами (0,3—1,0%) и приближаются к карбонатитам ($\sim 2,0\%$ P_2O_5) [32, 155].

Связь между фосфором и кальцием для представительных выборок, как правило, оказывается незначимой. Но ряд факторов говорит о ее существовании. Во-первых, положительная связь фосфора с кальцием (а также с лантаном — рис. 33) проявлена в кимберлитах Куойского поля, мало измененных серпентинизацией. Во-вто-

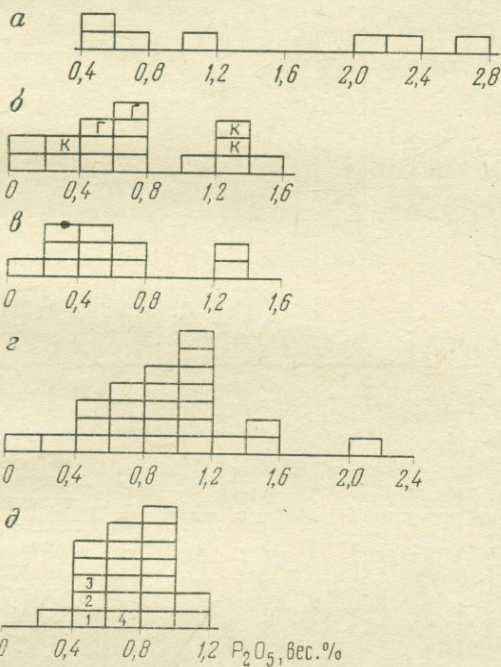


Рис. 32. Содержание фосфора в кимберлитах зарубежных стран — в сравнении со средними по отдельным полям Сибири.

а — Индия; б — Северная Америка (К — Канада, Г — Гренландия); в — Западная Африка; г — Южная Африка; д — Сибирская провинция (1 — Мало-Ботубинское поле, 2 — Алакитское поле, 3 — Далдынское, 4 — Верхне-Мууское поле)

рых, наиболее богатые фосфором кимберлиты некоторых полей Сибири (Чомурдахского, Верхне-Молодинского) оказываются в общем и наиболее богатыми кальцием. Явная связь между CaO и P_2O_5 наблюдается при сопоставлении кимберлита из трубок и жил Мало-Ботубинского поля. Корреляция фосфора с кальцием (а также с алюминием, с титаном) обнаружена в группе монолитных кимберлитов («хардбенк») Лесото, а также в кимберлитах США (рис. 34). Для понимания причин, нередко нарушающих связь фосфора с кальци-

ем, важны наблюдения Ч. Р. Климента [138, pp. 51—59], изучившего кимберлит из нескольких южно-африканских трубок; он отмечает ассоциацию апатита с карбонатом [192, p. 56] и приводит доказательства замещения кальцита серпентином [192, pp. 54—55].

Единственным минералом-концентратором фосфора в кимберлитах является апатит. Во многих случаях от-

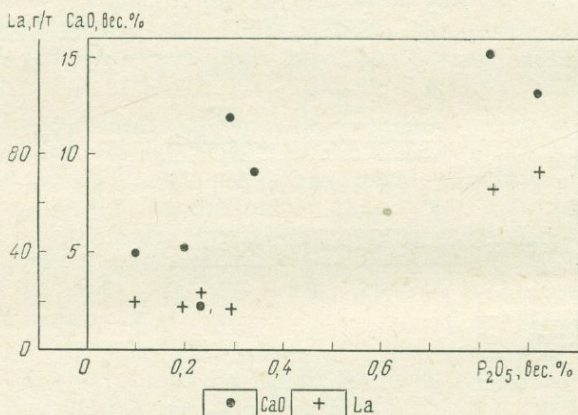


Рис. 33. Зависимость между содержанием фосфора и содержаниями кальция и лантана в кимберлитах Куойского поля (Лантан — по данным ИНАА).

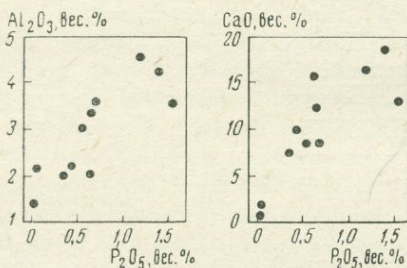


Рис. 34. Зависимость между содержанием фосфора и содержаниями кальция и алюминия в кимберлитах США

существует связь между количеством P_2O_5 в анализах и количеством апатита, определяемым при петрографических исследованиях [43]. Вероятно, фосфор может присутствовать в кимберлитах либо в виде мельчайших (неразличимых под микроскопом) выделений апатита, либо он адсорбирован минералами связующей массы.

Содержания P_2O_5 в глубинных ксенолитах в большинстве случаев варьируют от 0,03 до 0,10% [120].

Геохимия висмута в кимберлитах и глубинных включениях Якутии рассмотрена в работе Э. А. Дунин-Барковской и А. В. Уханова [35] (анализы выполнены активационным методом). Выявлены локальные различия содержания висмута в пределах Далдынского поля — обогащенность трубки Дальняя по сравнению с трубкой Удачная (табл. 96). Среди кимберлитов базальтоидного

Таблица 96

Содержание висмута в кимберлитах и глубинных включениях из кимберлитов Сибири, мг/т [35]

Трубка	Порода	Тип кимберлита	Колич. обр.	Пределы колебаний	Среднее
--------	--------	----------------	-------------	-------------------	---------

Кимберлитовые породы
Алакитское поле

Сытыканская	Брекчия	Слюдяной	3	—	48
-------------	---------	----------	---	---	----

Далдынское поле

Геофизическая	Порфиновый кимберлит	Базальтоидный	1	—	20
Дальняя	Брекчия	То же	3	—	83
То же	Порфиновый кимберлит	" "	3	—	40
Долгожданная	Брекчия	" "	2	—	35
Зарница	То же	" "	14	—	41
Ленинградская	" "	" "	2	—	37
Полярная	Порфиновый кимберлит	" "	2	—	25
Удачная-Западная	Брекчия	" "	14	—	33
Удачная-Восточная	Порфиновый кимберлит	" "	5	—	11
Якутская	Брекчия	" "	5	—	50

Верхне-Мунское поле

Зимвяя	Порфиновый кимберлит	Базальтоидный	5	—	35
Легкая	То же	То же	1	—	16
Малая	Брекчия	Слюдяной	1	—	30
Новинка	То же	Базальтоидный	3	—	32
Поисковая	Порфиновый кимберлит	То же	6	—	25

Трубка	Порода	Тип кимберлита	Колич. обр.	Пределы колебаний	Среднее
Чомурдахское поле					
Водораздельная	Брекчия	Базальтоидный	1	—	20
Дружба	Порфиновый кимберлит	Слюдяной	3	—	39
Надежная	Порфиновый кимберлит	Базальтоидный	4	—	21
Уральская	То же	То же	2	—	20
Чомур	"	"	7	—	16
Сопка	Пикритовый порфирит	Слюдяной	1	—	45
Куойское поле					
Обнаженная	Брекчия	Базальтоидный	4	—	30
То же	То же	То же	1	—	40
Оливиновая	"	"	1	—	46
Русловая	Порфиновый кимберлит	" "	2	—	15
Слюдянка	Брекчия	Слюдяной	1	—	20
Кимберлиты базальтоидного типа			22	11—83	31
в том числе: порфиновые брекчии			11	11—40	22
Кимберлиты слюдяного типа			11	20—83	41
			5	20—48	36

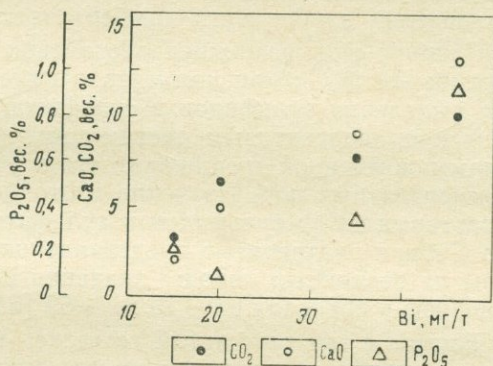
Глубинные включения

Куойское поле

Обнаженная	Перидотиты	—	17	11—25	18
Обнаженная	Пироксениты	—	2	15—16	16
То же	Гранатовые перидотиты	—	4	12—18	15
" "	Гранатовые пироксениты	—	6	13—30	18
" "	Эклогиты	—	13	12—26	18
Все включения			42	11—30	18

типа (наиболее многочисленная группа образцов) заметно обогащены висмутом брекчий. Э. А. Дунин-Барковская и А. В. Уханов [35] связывают это с переходом висмута в магматическую газовую фазу. По нашему мнению, обогащенность брекчий висмутом может объясняться его связью с кальцием. Л. П. Гринланд и другие (1973 г.), хотя и отмечают малое значение связи висмута с кальцием в магматической геохимии висмута, подтверждают интенсивное накопление висмута в бога-

Рис. 35. Соотношение содержания висмута с содержаниями углекислоты, кальция и фосфора в кимберлитах Куойского поля



тых кальцием минералах — апатите и сфене. Соотношения висмута с кальцием, углекислотой и фосфором в слабо серпентинизированных кимберлитах Куойского поля (рис. 35) показывают, что корреляция висмута с кальцием наиболее близка к прямолинейной.

Содержание висмута в хондритах 3 мг/т [21]. По данным Г. Маровски и К. Х. Ведеполя (1971 г.), в ультраосновных породах 5 мг/т висмута, в основных 31 мг/т, в кислых 65 мг/т. Содержания висмута в кимберлитах Сибири ближе всего к цифрам в основных породах.

СЕРА, СЕЛЕН

Сера. Результаты определений серы в кимберлитах приведены в главе II в таблицах петрогенных компонентов. Аналитики в одних случаях показывали серу в виде $S_{\text{общ}}$, в других — в виде SO_3 . Мы приводим данные в виде $S_{\text{общ}}$.

Средние содержания серы в кимберлитах отдельных полей Сибири чаще всего варьируют от 0,05 до 0,18%. Данных по сере для зарубежных кимберлитов мало.

Среднее по кимберлитам Лесото [172, р. 283] оценивается в 0,28%; среднее по кимберлитам США — 0,11% (по 6 объектам).

Обогащенность кимберлитов серой (по сравнению с другими породами той же основности) отмечает Дж. Дж. Гурни. Действительно, в изверженных горных породах средние содержания серы варьируют в пределах 0,01—0,04% [20]. Повышенное содержание серы в кимберлитах Сибири, с одной стороны, отражает влияние вещества вмещающих пород; с другой — является показателем глубинности кимберлитовой магмы.

Привнос серы из нижнепалеозойских осадочных пород в кимберлиты Сибири несомненно имеет место. Обильные выделения сульфидов и сульфатов нередко приурочены к приконтактовым частям кимберлитовых труб, зонам повышенной трещиноватости и участкам развития межмерзлотных вод. Изучение изотопного состава серы гидротермальных сульфидов и сульфатов из кимберлитов Сибири подтвердило представления о поступлении серы из осадочных пород; значения δS^{34} колеблются в основном в пределах от +15 до +52 [24].

Вместе с тем глубинный генезис имеют пирротин, пентландит, халькопирит и другие минералы, встречаемые во многих глубинных ксенолитах из кимберлитов Якутии [18]. Помимо перидотитовых и эклогитовых ксенолитов, агрегаты глубинных сульфидов (в том числе джерфишерита) обнаружены М. Г. Добровольской [85] в крупных желваках ильменита и непосредственно в связующей массе кимберлитов (трубки Муза и Второгодница Куойского поля).

При сопоставлении данных по отдельным кимберлитовым полям Сибири выявляется обратная зависимость между содержанием серы и содержаниями титана, калия и алюминия [43]. Титан — характерный компонент кимберлитов; поэтому можно предположить, что и содержания серы в известной мере обусловлены процессами глубинной дифференциации кимберлитовой магмы. Соотношение серы и титана (рис. 36) показывает, что для кимберлитов очевидна обратная связь, а для пикритовых порфиритов намечается прямая связь концентраций серы и титана. Не исключено, что мы сталкиваемся здесь с одним из проявлений геохимической специфики пикритовых порфиритов, но к интерпретации малочисленных данных по пикритовым порфири-

там нужно подходить с осторожностью. Обратная связь между серой и титаном иногда проявляется и в пределах отдельных полей, например Далдынского. Среди монокристаллических кимберлитов Лесото максимальное содержание серы (1,95%) встречено в образце с минимальным содержанием титана (0,17% TiO_2) (см. табл. 30).

Таким образом, двойное происхождение присутствующей в кимберлитах серы сомнений не вызывает. Для решения вопроса о соотношении глубинной и ко-

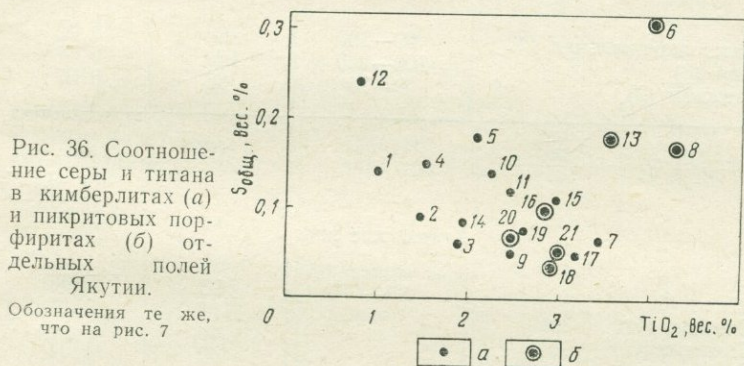


Рис. 36. Соотношение серы и титана в кимберлитах (а) и пикритовых порфиритах (б) отдельных полей Якутии.

Обозначения те же, что на рис. 7

ровой серы необходимы дополнительные исследования. По мнению Дж. Б. Даусона [141], выявление мантийного источника серы (а также углерода, фосфора и азота) относится к числу наиболее важных проблем в геологии кимберлитов.

Селен. Разработка новых аналитических методик позволила уточнить представление о содержании селена в изверженных горных породах (Л. С. Бородин, Т. Кольёнен и другие) и получить первые сведения о концентрации этого элемента в кимберлитах и в глубинных включениях [12, 103]. По данным упомянутых работ составлены табл. 97, 98.

Намечается явная тенденция роста концентрации селена с ростом содержания серы (см. табл. 97) — особенно четко в Мало-Ботуобинском и Куойском полях. Поскольку часть серы привносится в кимберлиты из вмещающих осадочных пород (см. выше), можно предположить, что и некоторая часть селена имеет то же происхождение. В частности, весьма вероятно, что повышенное содержание селена в кимберлите и некоторых образцах глубинных включений трубки Обна-

Таблица 97

Содержание селена (мг/т) и серы (вес. %) в кимберлитах и пикритовых порфиритах (п.п.) Якутской кимберлитовой провинции [12, 103]

Трубка (количество обр.)	Селен		Сера
	Колебания	Среднее	
Мало-Ботуобинское поле			
Интернациональная (2)	60—100	80	0,09
Мир (3)	100—220	180	0,34
Таежная (2)	60—70	65	0,07
Среднее по 3 объектам		108	
Алакитское поле			
Айхал (3)	80—110	93	0,06
Светлая (1)		110	0,13
Смежная (1)		60	Не опр.
Сытыканская (1)		40	0,04
Среднее по 4 объектам		76	
Далдынское поле			
Зарница (2)	50—50	50	0,04
Сибирская (1)		100	0,02
Удачная (5)	140—220	188	0,32
Фестивальная (1)		100	0,05
Якутская (1)		110	0,04
Среднее по 5 объектам		110	
Верхне-Мунское поле			
Зимняя (1)		190	0,14
Комсомольская (1)		180	0,10
Легкая (1)		230	0,73?
Новинка (3)	80—280	187	0,015
Среднее по 4 объектам		197	

Продолжение табл. 97

Трубка (количество обр.)	Селен		Сера
	Колебания	Среднее	
Чомурдахское поле			
Светлая (1)		150	0,11
Горняцкая (п.п.) (1)		90	0,20
Сопка (п.п.) (1)		220	0,42
Куойское поле			
Обнаженная (1)		600	0,60
Великан (п.п.) (2)	110—190	150	0,27
Монтичеллитовая (п.п.) (2)	110—160	135	0,18
Лучаканское поле			
Оригинальная (п.п.) (1)		190	Не опр.
Улахан-Лучакан (п.п.) (1)		180	Не опр.
Средне-Куонамское поле			
Незабудка (1)		80	Н. о.
Альфа (п.п.) (1)		70	0,01
Бета — брекчия (п.п.) (1)		50	0,04
Небайбыт (п.п.) (1)		160	0,02
Нижне-Куонамское поле			
Виктория (п.п.) (1)		200	?
Среднее по всем объектам северных полей, без трубки Обнаженная (из 12 объектов)		140	
Среднее по всем объектам Сибирской провинции, без трубки Обнаженная (из 28 объектов)		130	

Содержание селена в глубинных включениях из кимберлитов Якутской провинции, мг/т [103]

Типы пород (количество обр.)	Колебание содержания	Среднее
Шпинелевые лерцолиты (2)	85—95	90
Пироп-шпинелевые лерцолиты (2)	100—130	110
Пироповые лерцолиты (3)	110—170	130
Диоксид-энстатитовые пироксениты (2)	140—170	150
Пироп-диоксидовые эклогиты (3)	80—90	80
Шпинелевые оливиниты (3)	110—210	160
Пироп-шпинелевые оливиниты (2)	75—230	150
Пироповые оливиниты (2)	170—180	175
Оливинизированные эклогиты (4)	220—610	340
Ильменитовые перидотиты (2)	120—290	200

женная связано с коровым материалом. С другой стороны, корреляция содержаний серы и селена далека от идеальной; довольно много селена, например, в трубке Новинка — при низкой концентрации серы.

В общем содержание селена в кимберлитах и в глубинных включениях близко к оценкам средних содержаний селена в основных (108—130 мг/т) и ультраосновных (72—150 мг/т) породах.

ФТОР И ХЛОР

В нижнепалеозойской осадочной толще, прорываемой кимберлитовыми трубками и дайками Сибирской провинции, присутствуют хлоридные рассольные воды и пласты каменной соли [90]. По-видимому, повышенные концентрации хлора, установленные в глубоких горизонтах нескольких трубок (до 4,25% Cl при 3,37% Na₂O — трубка Удачная-Восточная, обр. 203/760), связаны с этими хлоридами. Повышенное содержание хлора и натрия в глубоких горизонтах трубки Мир было отмечено в 1964 г. [91, рис. 13]. Позднее вопрос о хлоре и галите в кимберлитах Якутии был рассмотрен подробнее [90].

Отсутствие галита и относительно низкое содержание хлора в образцах кимберлитов из близповерхност-

Содержание фтора и хлора в приповерхностных горизонтах
кимберлитовых тел Сибирской провинции, вес. % [90]

Трубка или дайка, место взятия, № обр.	F	Cl
Мало-Ботуобинское поле		
Мир (ср. из 4)	0,155	0,135
Алакитское поле		
Айхал, северо-восточная часть, А-271	0,45	0,06
Айхал, центральная часть, А-390	0,26	0,20
Маршрутная, брекчия, Р-242-к	0,33	0,23
Маршрутная, порф., Р-247-к	0,35	0,29
Снежинка, западная часть, 267	0,25	0,14
Сытыканская, северо-восточная часть, Ст-46	0,34	0,13
Сытыканская, скв. 12, 12-110	0,23	0,25
Среднее из 7	0,316	0,186
Далдынское поле		
Геофизическая, порф., 670	0,33	0,07
Дальняя, брекчия, ш. 35, Д-56	0,16	Н. о.
То же, ш. 13, Р-421-к	0,19	0,12
„ „ „ ш. 36, Р-426-к	0,18	0,23
Дальняя, порф., ш. 31, Д-168	0,17	0,07
Зарница, 3-148	0,17	0,06
Ленинградская «центральная часть», Л-20	0,18	0,13
Удачная-Западная, скв. 3 (ср. из 5)	0,20	0,14
То же, скв. 209, гл. 24 м	0,44	0,29
Удачная-Восточная, скв. 203 (ср. из 2)	0,10	0,225
То же, скв. 217, гл. 40 м	0,24	0,22
Якутская, центр, Я-17а	0,16	0,06
Якутская, восточная часть, Я-28/2	0,15	0,06
Среднее из 13	0,206	0,13
Верхне-Мунское поле		
Заполярная, л. 2, ш. 4, 321	0,28	0,12
То же, Зп-2/4-18	0,06	0,30
„ „ „ л. 2, ш. 11, 2/11-10	0,31	0,10
Комсомольская, Р-561-к	0,16	0,33
Новинка, среднее по 24 шурфам	0,147	0,154

Продолжение табл. 99

Трубка или лайка, место взятия, № обр.	F	Cl
То же, л. 8, ш. 5, Р-503-к Поисковая, Пс-4/4-11	0,30 0,37	0,15 Н. о.
Среднее из 7	0,232	0,168
Чомурдахское поле		
Бортовая, ш. 4, 403	0,17	0,07
Водораздельная, ВдК-3-10	0,24	0,07
Светлая, ш. 71, 422	0,10	0,20
Чомур, ш. 2, Ч-2-75	0,17	0,05
Верхне-Моторчунское поле		
Аэрогеологическая, Аг-20	0,25	0,13
Аномалия «А», 19/62-А-1	0,09	0,19
Мерчимденское поле		
Операторская-Южная, ш. 2, 02	0,16	0,06
Флогопитовая, порф., ОЛ-607	0,19	0,06
Тело № 6, 6-4/а-3	0,11	Н. о.
Среднее из 9 (по трем полям)	0,164	0,092
Верхне-Молодинское поле		
Алдыкан, Ал-1	0,15	0,07
Молодо, ш. 5, Млд-5/2	0,18	0,07
Молодо, ш. 7, Млд-7	0,19	Н. о.
Унга (с миндалинами), Ун-2	0,20	Н. о.
Хмурая, 13909А	0,26	0,06
Хризолитовая, 9436к/10	0,36	0,07
Толуопское поле		
Закат, 13901/1	0,13	0,06
Закат, 13901 А/1	0,18	Н. о.
Среднее из 8 (по двум полям)	0,206	0,049

Трубка или дайка, место взятия, № обр.	F	Cl
Куойское поле		
Муза, ОЛ-950	0,18	0,10
Обнаженная, Р-905-к	0,29	0,06
То же, Р-914-к	0,24	Н. о.
Среднее из 3	0,237	0,06

ных горизонтов (табл. 99*) обусловлено вымыванием галита нисходящими метеорными и инфильтрационными водами. Средние (по полям) содержания фтора в верхних горизонтах кимберлитовых тел варьируют в незначительных пределах, тогда как содержания хлора отчетливо уменьшаются при переходе от центральных полей провинции к северным. По-видимому, это объясняется относительно слабой засоленностью пород осадочного чехла окраинных частей Сибирской платформы (к которым относятся северные поля кимберлитовой провинции).

Содержание фтора в кимберлитах зарубежных провинций (табл. 100) примерно того же порядка, что и в кимберлитах Сибири. Исключение составляют кимберлиты Центральной Индии, где обогащенность фтором, по-видимому, закономерно сочетается с высокими концентрациями фосфора и титана. Хлора в зарубежных кимберлитах значительно меньше, чем в сибирских, что согласуется с практическим отсутствием хлоридов в горных породах, прорываемых кимберлитами Африки и Индии.

Содержания фтора и хлора в глубинных включениях из кимберлитов измеряются величинами порядка 0,01—0,03%, заметно превосходящими концентрацию тех же элементов в альпинотипных ультрабазитах (F—0,0088%; Cl—0,0019%). Не исключено, что

* Анализы выполнены в лабораториях ИГЕМ АН СССР (г. Москва). При вычислении средних значений для хлора «Н. о.» было принято за 0,02%.

Таблица 100

Содержание фтора и хлора в кимберлитах
зарубежных провинций, вес. % [187]

Регион	F	Cl
Центральная Индия (ср. из 14)	0,492	0,023
Южная Индия (ср. из 9)	0,182	0,017
Южная Африка (ср. из 7)	0,166	0,005
Гренландия (ср. из 2)	0,093	0,042

какая-то часть фтора и фтора проникает в глубинные ксенолиты из связующей массы кимберлитов.

Концентрация фтора в слюдах из кимберлитов Якутии близка к его содержанию в слюде из трубки Монастери; обогащенность фтором флогопита из Центральной Индии согласуется с повышенным содержанием этого компонента в самих кимберлитах. Вполне возможно, что повышенное содержание хлора в слюдах из сибирских кимберлитов связано с упомянутыми седиментогенными хлоридами.

Кроме слюд, фтор концентрируется в апатите (табл. 101) и в редко встречающемся титанклиногумите (1,80%, по В. Б. Воскресенской). Хлор в ощутимых количествах входит в джерфишерит.

Таблица 101

Содержание фтора и хлора в глубинных включениях
из кимберлитов и в минералах кимберлитов, вес. %

Порода, минерал (источник)	F	Cl
Ультраосновные включения из Южной Африки:		
среднее из 4 [201]	0,029	0,024
среднее из 6 [187]	0,024	0,006
Флогопит, Центральная Индия [187]	1,239	0,003
Флогопит, Южная Африка, тр. Монастери [187] (из 2)	0,443	0,046
Флогопит, Якутия [90] (из 12)	0,26	0,14
Апатит, Якутия [17] (9 образцов)	1,25—2,35	до 0,14
Джерфишерит, Якутия [85]	—	0,73—1,30

ГАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Состав газов из кимберлитовых пород и гипербазитовых включений изучался Б. Г. Лутцем, И. А. Петерсилье и В. К. Коржавиным [70].

Результаты исследования газовой составляющей пород приведены в табл. 102. Содержание тяжелых углеводородных газов изменяется в пределах ($\text{см}^3/\text{кг}$ породы): C_2H_6 0,00005—0,0009; C_3H_8 0,000—0,0001. Предельные углеводородные газы $\text{C}_4=\text{C}_5$ и непредельные углеводороды $\text{C}_2=\text{C}_4$ не обнаружены.

Кимберлиты отличаются высоким содержанием газовых веществ (от 2 до 6 $\text{см}^3/\text{кг}$). Как можно видеть из табл. 102, в составе газовой составляющей преобладающим компонентом является водород. Его содержание достигает нескольких кубических сантиметров на 1 кг (среднее 5,6 $\text{см}^3/\text{кг}$). Почти столь же велико содержание азота (1,2 $\text{см}^3/\text{кг}$). Количество свободного углекислого газа гораздо меньше (0,88 $\text{см}^3/\text{кг}$). В образце сильно измененного кимберлита содержание всех газов резко падает. Очевидно, наложенные процессы ведут к улетучиванию всех первичных газов.

Для включений гранатовых перидотитов и эклогитов характерно содержание небольших количеств газа, изменяющихся в пределах от 0,5 до 1,3 $\text{см}^3/\text{кг}$. Наблюдается резкое преобладание водорода над другими компонентами, присутствие сравнительно небольших количеств азота, углекислого газа, метана и гелия. Включения гранатовых и гранат-шпинелевых перидотитов содержат в среднем H_2 0,48, CH_4 0,086, N_2 0,14, He 0,00029 $\text{см}^3/\text{кг}$. Мантийные эклогиты содержат почти такое же или несколько более высокое количество газов. В среднем эклогиты содержат H_2 0,77, CH_4 0,031, N_2 0,21, He 0,00012 $\text{см}^3/\text{кг}$.

Данные по содержанию водорода и метана в мантийных породах нанесены на диаграмму (рис. 37), из которой видно, что включения гранатовых перидотитов характеризуются довольно близкими содержаниями водорода и метана с преобладанием водорода. Близкие отношения H_2/CH_4 всех образцов могут свидетельствовать о том, что распределение водорода и метана в образцах гранатовых перидотитов близко к равновесному. В мантийных эклогитах содержание водорода и метана несколько увеличивается, но отношение

Содержание газов в кимберлитовых породах и ультраосновных включениях, см³/кг

Порода, трубка	№ обр.	Вес пробы	He	O ₂ *	N ₂	CH ₄	CO ₂	H ₂ /CH ₄
Кимберлиты								
Кимберлит, трубка Обнаженная	Л-69-206	0,00035	2,17	0,0077	1,12	0,14	0,35	15
Кимберлит, трубка Мир (массивный, черный, свежий)	М-418	0,00020	3,64	0,016	3,20	0,068	0,91	53
Кимберлит, жила «Великан» Средний кимберлит	Л-69-205	0,00012	1,89	0,011	0,30	0,11	0,031	17
Измененный кимберлит, трубка	—	0,00022	2,57	—	1,20	0,106	0,88	24
Мир	М-420	0,00007	0,32	0,011	0,08	0,0068	0,12	47
Перидотиты (тр. Обнаженная)								
Гранатовый перидотит	Л-77-67	0,00024	0,42	0,014	0,12	0,0078	0,062	54
Гранат-шпинелевый перидотит	Л-71-70	0,00010	0,46	0,015	0,17	0,0064	0,0076	70
То же	Л-71-89	0,00011	0,62	0,004	0,14	0,016	—	40
Шпинелевый оливинит								
Шпинелевый оливинит	Л-72-307	0,0007	0,41	0,016	0,12	0,0063	0,068	65
Гранатовый пироксенит	Л-72-220	0,0001	0,49	0,019	0,15	0,0069	0,017	70
Средний перидотит	—	0,00029	0,48	—	0,14	0,0086	—	56
Порфиroidный гранатовый перидотит, слабо серпентинизированный	Л-71-187	0,0012	4,67	0,091	21,4	0,14	0,056	33
Эклогиты (тр. Обнаженная)								
Эклогит	Л-106	0,00012	0,52	0,012	0,51	0,016	0,10	33
То же	Л-72-52	Сл.	0,45	0,009	0,10	0,013	0,037	38
” ”	Л-72-54	0,00014	1,13	0,013	0,18	0,018	0,046	63
Энстатитовый эклогит	Л-71-61	0,00015	1,09	0,011	0,17	0,014	—	77
	Л-72-50	0,00007	0,55	0,009	0,10	0,011	—	50
Средний эклогит	—	0,00012	0,77	—	0,21	0,014	—	55
Гранатовый энстатит	Л-71-28	0,00013	0,69	0,012	0,24	0,031	—	22

* Наличие кислорода объясняется присутствием примеси сорбированного воздуха.

H_2/CH_4 сохраняется таким же, как в гранатовых перидотитах. Поля гранатовых перидотитов и эклогитов частично перекрываются. В кимберлитах содержание водорода и метана сильно увеличивается, и поле кимберлитов обособляется в области высоких количеств водорода и метана.

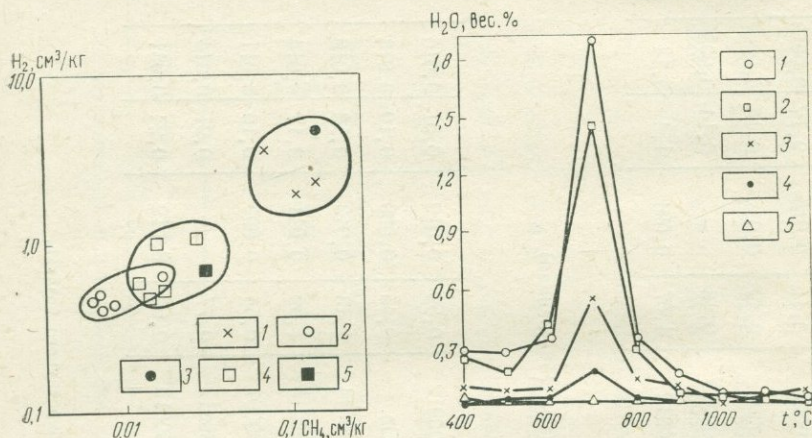


Рис. 37. Распределение водорода и метана в кимберлитах и мантийных породах [70].

1 — кимберлит; 2 — гранатовый перидотит; 3 — порфиробластовый гранатовый перидотит; 4 — эклогит; 5 — энстатит

Рис. 38. Динамика выделения воды при нагревании (расчет на 1 кг породы).

1 — кимберлит; 2 — серпентинизированный перидотит; 3 — гранат-шпинелевый перидотит; 4 — эклогит; 5 — шпинелевый перидотит [70].

Среди гранатовых перидотитов резко выделяется обр. Л-71-187. Это неравномернозернистая катаклазированная порфириовидная порода, слабо серпентинизированная. Она содержит повышенные количества водорода, метана, некоторое количество CO_2 и аномально высокое количество азота. При подсчете средних содержаний газов в гранатовых перидотитах этот образец не принимался во внимание. На диаграмме (см. рис. 37, усл. зн. 3) этот образец попадает в поле кимберлитов. Равновесные содержания водорода и метана в кимберлитах и наиболее глубоких порфиробластовых перидотитах оказываются одинаковыми.

В шести образцах определялось количество содержащейся в них воды (табл. 103).

Таблица 103

Содержание воды в кимберлитах и глубинных включениях, вес. %

№ пробы	Порода	Количество выделившейся воды
Л-69-206	Кимберлит	3,35
Л-71-89	Гранат-шпинелевый перидотит	1,02
Л-72-52	Эклогит	0,24
Л-71-187	Порфиرويدный гранатовый перидотит, серпентинизированный	2,68
Л-74-68	Включение шпинелевого перидотита из базальта ЧССР	0,02

На рис. 38 показана динамика выделения воды при ступенчатом нагревании образцов. Как можно видеть на рис. 38, вода выделяется во всем интервале нагревания до 1200°C , причем основная масса воды выделяется при температурах $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$. Динамика выделения воды одинакова для кимберлита (с серпентином и хлоритом), для серпентинизированного перидотита и для внешне неизмененных образцов эклогитов и перидотитов. Кривые для всех образцов имеют пик при 700°C . Это заставляет предполагать, что во всех образцах мы определяем главным образом воду, связанную с позднейшим изменением. Оценить здесь долю первичной мантийной воды не представляется возможным.

Резюмируя данные по составу газовой составляющей глубинных пород, можно прийти к следующим выводам. Газовая составляющая в верхней мантии на уровне гранатовых перидотитов (т. е. на глубине свыше 70 км) имеет существенно водородный состав с небольшой примесью метана, азота, гелия и ничтожной примесью сложных углеводородов. Аналогично и газовая составляющая кимберлитов характеризуется существенно водородным составом с небольшой примесью других газов.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА

Анализ изотопного состава углерода кимберлитов в целом не проводился, поскольку совмещение в породах минералов различных стадий образования должно исказить первичную картину. В различных лабораториях в СССР и за рубежом проводились определения изотопного состава алмазов из кимберлитов [139, 208, 22, 23, 61, 89, 56, 57]. Поскольку экспериментальными (Т. С. Ноеринг, 1960 г.; О. И. Кропотова и др., 1967 г.) и теоретическими [22, 26, 27, 180] исследованиями было показано или отсутствие, или весьма незначительное значение процессов фракционирования изотопов углерода при природном алмазообразовании*, то данные об изотопном составе алмазов позволяют реставрировать состав исходного для них углерода.

Результаты этих определений в сводной форме представлены в табл. 104. Всего сейчас для алмазов из кимберлитов Сибири, Африки и Северной Америки выполнено 68 анализов изотопного состава углерода, и результаты 66 из них (97%) локализованы в весьма узком интервале значений $\delta C^{13} = -0,1 \div -1,1\%$, с максимумом в области $\delta C^{13} = -0,5 \div -0,8\%$, при среднем значении для трех провинций $\delta C^{13} = -0,57\%$. По этому признаку алмазы из кимберлитов близки к алмазам из метеоритов, карбонатам карбонатитов, углистым хондритам и имели источником «тяжелый» мантийный углерод «углисто-хондритового типа» с $\delta C^{13} = -0,6\%$ [23 и др.]. Небезынтересно обратить при этом внимание на то, что карбонаты из кимберлитовых пород обладают близким к алмазам изотопным составом (табл. 105). Таким образом, их углерод имеет также глубинное мантийное происхождение, а не заимствован из вмещающих осадочных карбонатных пород. В последних δC^{13} колеблется от $-0,21$ до $-0,23\%$ [22, 86].

Близкий к алмазам изотопный состав и, вероятно, также мантийное происхождение имеют графиты из ультраосновных и эклогитовых включений в кимберли-

* Данные Д. В. Федосеева (1971 г.) и Э. М. Галимова (1973 г.) по фракционированию углерода относятся к синтезу алмаза из газовой фазы и, как они сами указывают, «следует воздержаться от предположений относительно роли этого эффекта в процессе кристаллизации алмаза».

Изотопный состав углерода алмазов из кимберлитовых трубок

Провинция	Трубка	Количество анализов	δC^{13} , № к стандарту PDB	Источник
Сибирская	Айхал	10	-0,77	[22, 61, 57]
	Мир	19*	-0,75	[39, 57, 89]
	Среднее		-0,76	
Африканская	Кимберлей	9	-0,39	[39, 139]
	Алулунду (Конго)	4	-0,69	[208]
	Дизеле (Конго)	6	-0,67	
	Календе (Конго)	4	-0,60	
	Лупемба (Конго)	4	-0,58	
	М'Бо (Конго)	3	-0,64	
	Чаба (Конго)	6	-0,67	
Все трубки Конго	28	-0,66		
	Среднее		-0,53	
Северо-Американская (Арканзас)	Прери	1	-0,42	[208]
Среднее для алмазов из кимберлитовых пород			-0,57	

* Включая 3 анализа алмазов из эклогита.

тах. Среднее δC^{13} из трех определений равно $-0,6 \div -0,9\%$ [23, 61].

Представление ряда исследователей о неоднородности верхней мантии находит свое подтверждение в изотопном составе углерода алмазов из различных кимберлитовых трубок. Из гистограммы δC^{13} (рис. 39) видно, что каждая из трубок содержит алмазы с определенным спектром δC^{13} и с различными средними соотношениями изотопов C^{12} и C^{13} . Наиболее обогащена

Изотопный состав углерода карбонатов из кимберлитовых трубок

Трубка	Количество анализ.	δ C ¹³ , % к стандарту PDB	Источник
Сибирская провинция			
Зарница	4	-0,32	[22]
Мир	5	-0,69	[22]
Удачная	2	-0,59	[22]
Среднее		-0,53	
Африканская провинция			
Беллсбанк	1	-0,46	[146]
Силл Бенфонтейн	4	-0,52	[145, 197]
Весселтон	2	-0,52	[146, 197]
Дю-Плессис	1	-0,60	[197]
Дютойтспен	1	-0,56	[146]
Каал-Вэлли	1	-0,43	[146]
Као-1	1	-1,03	[197]
Дайка Карньян	1	-0,56	[197]
Матсоку	1	-0,52	[197]
Монастери	3	-0,50	[146, 197]
Нью-Эландс	1	-0,71	[197]
Премьер	11	-0,52	[146, 197]
Френк-Смит	1	-0,57	[146]
Френк-Смит, жила			
Дердепорт	4	-0,27	[146]
Ягерсфонтейн	1	-0,33	[146]
Среднее		-0,54	
Северо-Американская провинция			
Никс	3	-0,42	[146]
Слоан	24	-0,39	[146]
Среднее		-0,40	
Среднее для кимберлитовых пород		-0,49	

C^{13} трубка Кимберлей. Таким образом, можно сделать вывод, что как сами алмазы, так и углерод, являвшийся их источником, в различных кимберлитовых трубках имел различный изотопный состав (в рамках вариаций исходного «тяжелого» углерода).

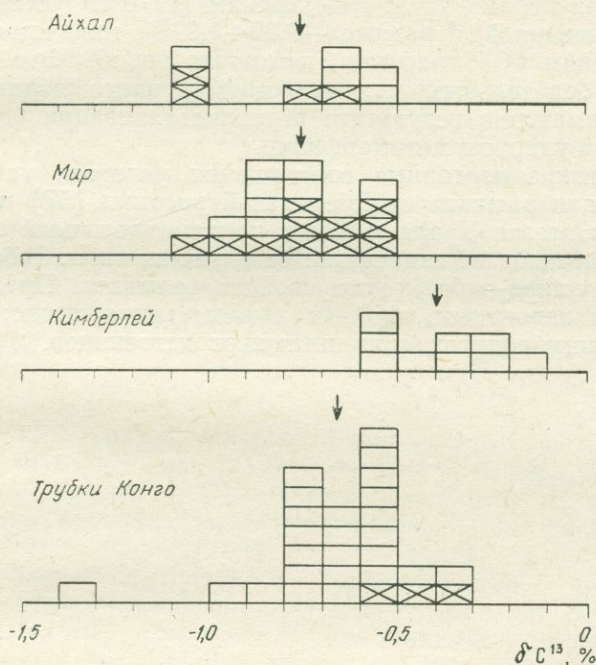


Рис. 39. Гистограмма изотопного состава углерода алмазов из кимберлитовых трубок.

Каждый прямоугольник соответствует одному анализу (пустые — бесцветных алмазов и тех алмазов, об окраске которых нет данных; заштрихованные — окрашенных алмазов). Стрелками показаны средние значения δC^{13} для каждой трубки

Анализ изотопного состава углерода битумов, содержащихся в кимберлитовых трубках, показывает, что он резко отличается от алмазов, карбонатов и графитов, обладая $\delta C^{13} = -1,64 \div -3,14\%$ (среднее для 9 определений битумов из трубок Мир и Удачная δC^{13} равно $-2,55\%$) [22]. Эти цифры близки к составу углерода карбонадо, муассанитов, большинства изверженных горных пород и характерны для «легкого» эндогенного углерода со средним δC^{13} , равным $-2,5\%$

или, как его называет Э. М. Галимов (1973 г.), «рассеянного углерода мантии».

В заключение следует сказать несколько слов об изотопном составе алмазов из ударно-метаморфизованных пород и из россыпей, не связанных с кимберлитами. Для первых С. А. Вишневым (1974 г.) установлены значения δC^{13} равные $-1,32 \div -1,89\%$, тождественные значениям δC^{13} графитов исходных пород. Это является убедительным свидетельством происхождения таких алмазов в результате перекристаллизации графитов при ударном метаморфизме.

Близкие изотопные соотношения углерода установлены для алмазов из Эбеляхской россыпи [57] и для ряда алмазов Урала и Саян, причем изотопный состав этих алмазов не зависит ни от окраски, ни от габитуса, ни от каких-либо других свойств алмазов. Представляется вероятным, что эти алмазы могут происходить не из кимберлитов, а из иных первоисточников.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
КИМБЕРЛИТОВ

Чтобы показать индивидуальные отличия кимберлитов от всех других магматических пород, мы будем пользоваться главным образом средними данными (табл. 106), не перегружая диаграммы роями точек и показывая лишь поля соответствующих пород или разреженные группы точек. Сравнительный анализ кимберлитов с другими породами нами проводился по группам элементов, близких по своим химическим свойствам.

Калий и натрий. Из рис. 40 видно, что гранатовые перидотиты по содержанию натрия и калия близки среднему хондриту. Шпинелевые лерцолиты и альпинотипные гипербазиты содержат меньше щелочей, что объясняется, по-видимому, их остаточной (после выплавки базальтов) природой. Средние составы мантийных ультраосновных пород отвечают среднему отношению $K/Na=0,2$, близкому к хондритовому. Базальты формируют свою полосу точек, объединенных средней линией. При этом с ростом общей щелочности базальтов увеличивается их калиевоcть, и отношение K/Na изменяется от 0,05 в океанических толеитах к 0,6 в щелочных оливиновых базальтах и до 5,0 в калиевых базальтах. Средние линии мантийных ультраосновных пород и базальтов не совпадают и можно видеть, что при выплавке базальтовых магм из пород мантийного субстрата происходит накопление щелочей в магматических продуктах в многократной степени. Кимберлиты (см. рис. 40) образуют поле, не совпадающее ни с полосой ультраосновных пород, ни с полосой базальтовых пород. От мантийных ультраосновных пород кимберлиты отличаются высоким содержанием щелочей, причем для них особенно сильно проявился эффект преимущественного накопления более щелочного калия по сравнению с менее щелочным натрием. Для кимберли-

Средний состав кимберлитов и базальтов

Компоненты	Средний состав кимберлитов	Пикритовый порфирит	Калиевый базальт	Щелочно-оливиновый базальт	Континентальный толеит	Океанический толеит
------------	----------------------------	---------------------	------------------	----------------------------	------------------------	---------------------

Главные окислы (%)

SiO ₂	27,00	42,85	44,30	47,41	48,9	49,3
Al ₂ O ₃	3,28	4,02	17,00	18,62	15,7	17,0
Fe ₂ O ₃	6,15	6,89	3,59	4,17	—	—
FeO	2,86	6,66	6,71	5,80	10,7	8,61
MgO	23,47	19,73	6,05	4,79	8,70	7,19
Ca ₂ O	13,56	15,26	7,85	8,65	10,8	11,7
Na ₂ O	0,13	0,43	3,90	3,99	2,32	2,73
K ₂ O	0,91	1,81	7,33	1,66	1,02	0,17

Щелочные элементы (г/т)

Li	32,2	7	24,0	11	10	9
Na	1320	7 400	29 000	30 000	20 300	17 200
K	8273	15 900	60 450	13 800	8 500	1 400
Rb	51,8	50	430	33	20	1,2
Cs	2,7	—	50	2	0,5	0,016

Щелочноземельные элементы (г/т)

Ca	99 000	—	55 000	60 550	77 200	83 400
Sr	755	1400	1 500	669	450	123
Ba	955	1200	5 180	500	244	18,7

Радиоактивные элементы (г/т)

Th	11,46	12	40,0	4,61	0,4	0,18
U	2,82	4,2	6,0	1,14	0,2	0,10

Редкоземельные элементы (г/т)

La	107,0	193	110	47	17	4,3
Ce	213,6	375	235	—	66	15
Pr	16,05	43	23	14,6	8,5	2,5
Nd	87,9	181	100	—	32	14,0
Sm	13,7	24	13,5	15	6,9	4,7
Eu	3,23	6,8	1,5	9	2,7	1,8
Gd	8,40	18	9,0	4,4	5,9	7,1
Tb	1,08	2,2	0,5	1,17	1,08	1,4

Компоненты	Средний состав кимберлитов	Пикритовый порфирит	Калиевый базальт	Щелочно-однвиновый базальт	Континентальный толеит	Океанический толеит
Dy	1,88	8,6	5,0	—	—	—
Ho	0,41	1,9	—	1,4	1,11	1,7
Er	1,34	2,8	1,5	2,8	3,3	4,8
Tm	0,14	1,4	—	—	0,44	0,8
Yb	0,89	5,0	0,5	3,0	2,7	4,0
Ln	0,11	0,7	—	—	—	0,7
ΣTR	455,93	—	—	130	170	103
Y	15,5	—	—	30	25	40
ΣTR+Y	471,43	—	—	160	195	143

Элементы с большим радиусом и зарядом (г/т)

Ti	8100	1 2800	4700	17 900	10 900	8100
Zr	162,0	380	175	285	130	99
Hf	4,60	—	—	3,5	2	2
Nb	112,4	180	39,7	61,0	5,4	—
Ta	6,76	10	3,6	5,0	0,5	—

Сидерофильные элементы (г/т)

Sc	12,3	24	—	26	33	60
V	107	120	44	244	250	290
Mn	885	1600	1100	1100	1300	1300
Cr	960	640	92	127	162	300
Co	73	90	38	32	40	32
Ni	810	420	40	76	85	100

Примечание. Кроме того, в кимберлитах в среднем содержатся 119,9 г/т Cu и самородные элементы (мг/т): 7,01 Au, 93,1 Ag, 94 Pt, 65,1 Pd, 6,4 Ir, 6,3 Rh, 6,2 Ru и 5,0 Os.

тов характерно самое высокое отношение K/Na от 1,0 до 15, среднее 8. Такое калий-натровое отношение известно только для калиевых базальтов. Пикритовые порфириды из щелочных карбонатитовых комплексов характеризуются также высоким содержанием калия и натрия при явном и значительном преобладании калия над натрием. По распределению калия и натрия пикритовые порфириды очень похожи на кимберлиты, поля тех и других пород значительно перекрываются, и раз-

личать их по особенностям распределения калия и натрия, по-видимому, невозможно.

Калий и рубидий. Диаграмма распределения калия и рубидия (рис. 41) по своему строению сходна с пре-

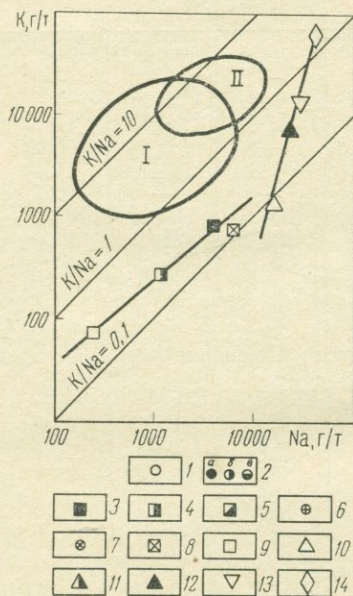


Рис. 40. Распределение натрия и калия в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах. I — поле кимберлитов, II — поле пикритовых порфиритов.

Условные обозначения к рис. 40—59: 1 — кимберлиты вообще; 2 — кимберлиты отдельных провинций (а — Якутии, б — Африки, в — Индии); 3 — включения гранатовых перидотитов; 4 — включения шпинелевых перидотитов; 5 — включения эклогитов; 6 — пикритовые порфириты; 7 — карбонатиты, 8 — хондриты; 9 — альпинотипные гипербазиты; 10 — океанические толеиты; 11 — островодужные толеиты; 12 — континентальные толеиты; 13 — щелочно-оливиновые базальты; 14 — калиевые базальты

дыдущей. Линия тренда ультраосновных мантийных пород характеризуется одинаковым отношением K/Rb . Линия тренда базальтовых пород показывает, что от толеитов к щелочным оливиновым базальтам и к калиевым базальтам увеличивается общая щелочность пород, а калий-рубидиевое отношение уменьшается. Средний состав пикритовых порфиритов попадает на базальтовый тренд и совпадает с полем щелочных оливиновых базальтов.

Поле кимберлитов не совпадает ни с базальтовой, ни с ультраосновной полосой. По сравнению с гранатовыми перидотитами кимберлитовая магма значительно обогащена калием и рубидием при преимущественном накоплении более щелочного рубидия. Так, если для гранатовых перидотитов среднее отношение $K/Rb=306$, то для кимберлитов среднее отношение $K/Rb=160$. Низкое калий-рубидиевое отношение определено от-

личает кимберлиты от пикритовых порфиритов, в последних среднее отношение $K/Rb=380$ [12]. Поля кимберлитов и пикритовых порфиритов частично перекрываются, но поле кимберлитов сдвинуто в область низких калий-рубидиевых отношений. Помимо Na, K, Rb,

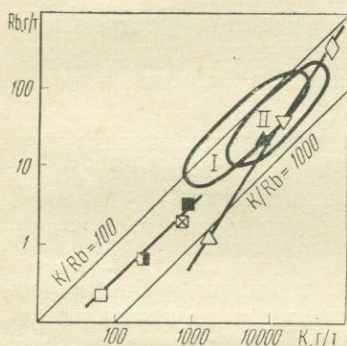


Рис. 41. Распределение калия и рубидия в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

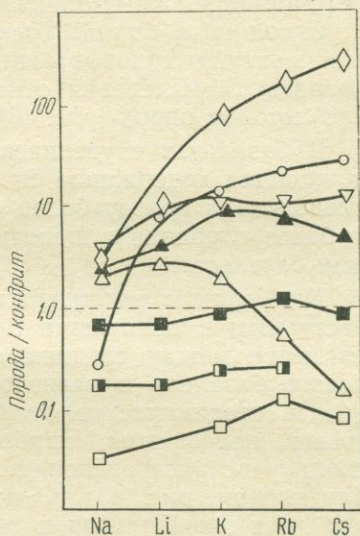


Рис. 42. Нормированные средние содержания щелочных элементов в кимберлитах, базальтах и ультрабазитах

в кимберлитах накапливаются также литий и цезий. Так, если гранатовые перидотиты содержат всего 1,4 г/т лития и 0,1 г/т цезия, то в кимберлитах среднее содержание лития составляет 20 г/т, а цезия 3 г/т.

Распределение щелочных элементов (рис. 42) показывает, что типичные ультрабазиты характеризуются низкими содержаниями щелочей и распределение их близко к хондритовому. Для кимберлитов, наоборот, характерно высокое содержание щелочей, причем в кимберлитах, как и в щелочных базальтах, фиксируется резкое, многократное накопление наиболее щелочных элементов — калия, рубидия, цезия — тем большее, чем выше щелочные свойства элемента.

Сравнивая кимберлиты с гранатовыми перидотитами, можно прийти к выводу, что при выплавлении

кимберлитов происходит сильнейшая экстракция щелочей, причем тем большая, чем выше щелочные свойства элемента.

Пикритовые порфириды по особенностям распределения щелочей ближе к щелочным оливиновым базальтам, чем кимберлиты, и можно определенно говорить о принадлежности пикритовых порфиридов к формации щелочных оливиновых базальтов.

Стронций и барий. Трендовая линия ультраосновных мантийных пород характеризуется более узким диапазоном изменения отношений Ba/Sr, чем таковая базальтовых пород (рис. 43).

В базальтах с увеличением общей щелочности увеличивается содержание Sr и Ba, а отношение Ba/Sr смещается в пользу более основного бария от толеитов к более глубинным щелочным оливиновым и к калиевым базальтам.

Кимберлиты по содержанию стронция и бария сопоставимы с щелочными базальтами и их точки располагаются между средним составом щелочного оливинового базальта и калиевого базальта. Труднее установить геохимические отличия кимберлитов от пикритовых порфиридов карбонатитовых комплексов, поскольку по распределению стронция и бария они очень близки (см. рис. 43). Одновременно можно заметить, что поля кимберлитов и пикритовых порфиридов смещены относительно друг друга. В большинстве пикритовых порфиридов барий-стронциевое отношение меньше единицы, т. е. аналогично таковому же отношению в щелочных оливиновых базальтах, тогда как в большинстве кимберлитов барий-стронциевое отношение больше единицы, т. е. похоже на барий-стронциевое отношение в калиевых базальтах. Таким образом, пикритовые порфириды по особенностям распределения стронция и бария смыкаются с щелочными оливиновыми базальтами, тогда как кимберлиты по барий-стронциевому отношению более близки к калиевым базальтам.

Особенности распределения щелочноземельных элементов в нормированных отношениях по хондриту (рис. 44) показывают, что по сравнению с ультрабазиитами кимберлиты содержат повышенные количества щелочноземельных элементов, причем сильные основания — стронций и особенно барий — накапливаются в

кимберлитах в многократной степени. На диаграмме кривая, построенная по кимберлитовым точкам, попадает в поле базальтовых линий и очень сильно удалена от ультраосновных пород, т. е. характер накопления щелочноземельных элементов в кимберлитах базальтовый.

Стронций — рубидий. Соотношения стронция и рубидия (рис. 45) позволяют различать две очень важные тенденции магматической геохимии. Одна из них заключается в том, что с увеличением глубины выплавления базальтовых лав в них увеличивается содержание K, Rb, Sr, Ba . Такое увеличение щелочности магм, их калиевости (K/Na), увеличение содержания стронция и бария и отношения Ba/Sr прослежены на островных дугах и прямо скоррелированы с глубиной магматического очага. С другой стороны, в дифференцированных сериях пород замечено, что с увеличением их кремнеземности одновременно происходит увеличение содержания щелочных элементов и бария, но стронций ведет себя противоположным образом. Он накапливается в ранних продуктах базальтовых магм, поздние же дифференциаты, обогащенные кремнеземом и щелочами, обеднены строн-

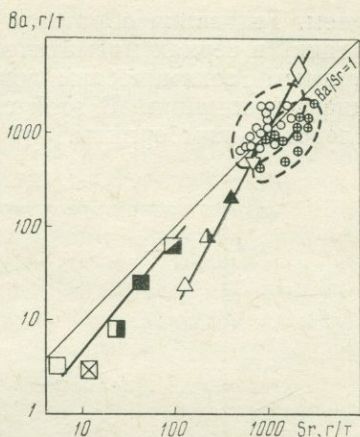


Рис. 43. Распределение стронция и бария в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

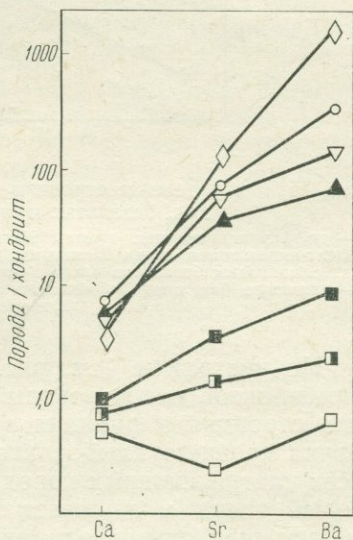


Рис. 44. Нормированные средние содержания щелочноземельных элементов в кимберлитах, базальтах и ультрабазитах.

цием. Тенденция обратного соотношения стронция и рубидия в сериях магматических пород может служить прямым геохимическим доказательством магматической дифференциации. В этой связи особенно интересно исследовать кимберлиты.

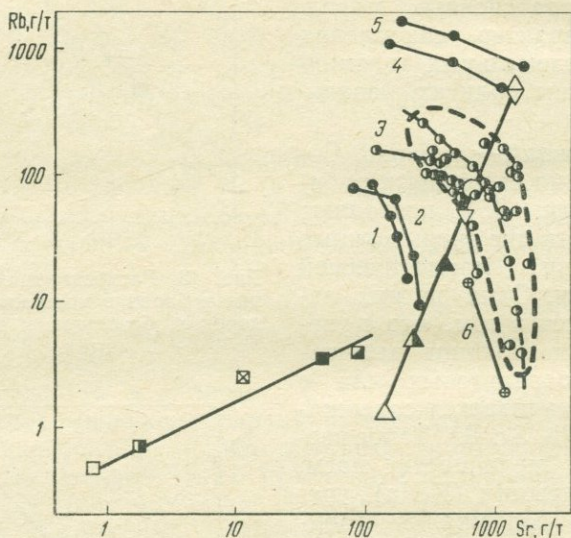


Рис. 45. Распределение стронция и рубидия в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах [32, 109].

1 — дифференцированные траппы Южной Африки; 2 — дифференцированная толеит-андезитовая серия Исландии; 3 — дифференцированная серия щелочных оливиновых базальтов плато Колорадо; 4 — калиевые базальты Сыныра; 5 — калиевые базальты Забайкалья; 6 — анкармит-карбонатитовый комплекс Южной Африки

На диаграмме (см. рис. 45) для построения поля кимберлитов использованы особенно точные определения стронция и рубидия в африканских кимберлитах. Точка среднего кимберлита очень сильно удалена от всех ультраосновных пород, но она попадает на базальтовый тренд и занимает промежуточное положение между щелочными оливиновыми базальтами и калиевыми базальтами.

Как видно из диаграммы (см. рис. 45) для дифференцированных серий основных пород характерно обратное соотношение стронция и рубидия. Если объединить кимберлитовые точки в поле и провести

среднюю линию этого поля, то можно заметить в кимберлитах ту же характернейшую черту дифференцированных комплексов — обратное соотношение рублидия и стронция, что следует расценивать как определенное доказательство явно проявленных процессов дифференциации кимберлитовой магмы. Одновременно видно, что поле кимберлитов достаточно широко, и можно полагать, что в кимберлитах, по-видимому, должны проявляться обе тенденции — прямое увеличение стронция и рублидия, связанное с различной глубиной выплавления кимберлитовой магмы, и обратные соотношения стронция и рублидия, связанные с дифференциацией кимберлитовой магмы в процессе ее эволюции.

Поле кимберлитов располагается выше щелочных оливиновых базальтов и оказывается промежуточным между щелочными оливиновыми базальтами и калиевыми базальтами.

Из диаграммы (см. рис. 45) также видно, что анкарамит-карбонатитовый комплекс Южной Африки (линия 6) является дифференциатом щелочных оливиновых базальтов, так как их линия смыкается с линией щелочных оливиновых базальтов.

Таким образом, данные по щелочным, щелочно-земельным элементам определенно свидетельствуют, что кимберлиты значительно отличаются от типичных ультраосновных пород, но очень похожи на щелочные базальты.

При сравнении кимберлитов с пикритовыми порфиритами щелочно-ультраосновных интрузий центрального типа видно, что последние тяготеют по своим геохимическим свойствам к формации щелочных оливиновых базальтов, тогда как в кимберлитах больше проявлены особенности, роднящие их с калиевыми базальтоидами.

Торий и уран. Для ультраосновных пород (рис. 46) характерны очень низкие содержания тория и урана при среднем отношении $\text{Th}/\text{U}=3$. Во многих включениях шпинелевых лерцолитов из континентальных базальтов торий-урановое отношение снижается до единицы [206]. Таким образом, для ультраосновных пород характерны низкие хондритовые торий-урановые отношения. В базальтах содержание радиоактивных элементов увеличивается и тем больше, чем выше ще-

лочность базальта. С увеличением щелочности базальтов отношение Th/V увеличивается в пользу более основного тория.

Диаграмма (см. рис. 46) также показывает, что с увеличением глубины выплавления базальтовых магм и с увеличением их щелочности увеличивается общее содержание радиоактивных элементов, а торий-урановое отношение увеличивается.

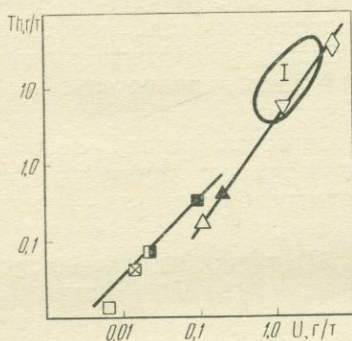
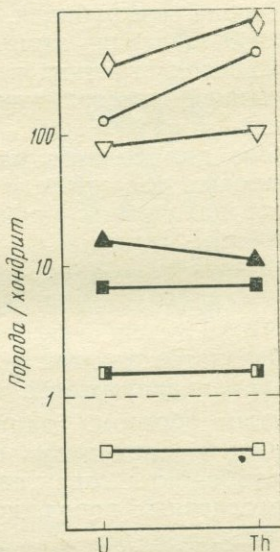


Рис. 46. Распределение урана и тория в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

Рис. 47. Нормированные средние содержания урана и тория в кимберлитах, базальтах и ультрабазитах



По сравнению с ультраосновными породами кимберлиты резко (на 1—2 порядка) обогащены торием и ураном и отличаются высокими отношениями тория к урану. Кимберлиты образуют поле, далеко отстоящее от полей ультраосновных пород, но примыкающее к полосе базальтов. Кимберлиты по распределению тория и урана частично совпадают с щелочными базальтами, но большинство кимберлитовых точек выходит за пределы базальтов в сторону высоких отношений тория к урану.

Немногочисленные данные по карбонатитовым щелочным комплексам показывают, что по распределению тория и урана эта формация очень похожа на кимберлиты, т. е. отличается повышенными содержаниями радиоактивных элементов и высоким торий-урановым

отношением. Так, для Маймеча-Котуйской провинции в пикритовых порфиритах содержание $\text{Th} = 10,1$, $\text{U} = 1,2$ г/т, $\text{Th}/\text{U} = 8,3$. Такие же цифры характерны и для кимберлитов северных районов.

На рис. 47 данные по распределению тория и урана в различных породах приведены в нормированных отношениях по хондриту. Как и на предыдущих диаграммах, кимберлиты занимают промежуточное положение между щелочными оливиновыми базальтами и калиевыми базальтами, и в отличие от типичных ультрабазитов обогащены радиоактивными элементами — ураном и особенно торием.

В ряду щелочно-кислотных свойств торий обладает более основными свойствами, чем уран. Можно полагать, что распределение тория и урана коррелируется со щелочными свойствами элементов. Наряду с резким накоплением в кимберлитах наиболее щелочных элементов — K , Rb , Cs , происходит усиленное накопление более основного тория, причем столь сильное, что многие кимберлиты отличаются аномально высоким отношением тория к урану, необычным не только для ультраосновных, но и для основных пород.

Редкие земли. Ультраосновные породы характеризуются низкими содержаниями редких земель (рис. 48), для них устанавливается хондритовый характер их распределения, т. е. в ультрабазитах относительно среднего хондрита не наблюдается ни избытка, ни недостатка легких или тяжелых редких земель. Кимберлиты, наоборот, сильно обогащены редкими землями. По сравнению с ультрабазитами в кимберлитах содержание редких земель увеличивается на два порядка, причем в кимберлитах резко преобладают элементы церовой группы. По характеру распределения редких земель кимберлиты очень близки к щелочным базальтам.

Более ясные отличия кимберлитов от всех ультраосновных и основных пород можно выявить на диаграмме рис. 49 (следует отметить, что кислотно-основные свойства редких земель изменяются последовательно, из них лантан обладает наиболее основными свойствами, а иттербий кислотными). Для ультраосновных мантийных пород характерны низкие содержания лантана и иттербия. Отношение La/Yb колеблется в пределах 1—10, среднее 2,5.

В базальтах содержание лантана и иттербия выше, чем в ультрабазитах, они формируют свою трендовую линию, причем от толеитов к щелочным базальтам устанавливается последовательное увеличение содержания лантана, иттербия и лантан-иттербиевого отношения. Пикритовые порфириды карбонатитовых ком-

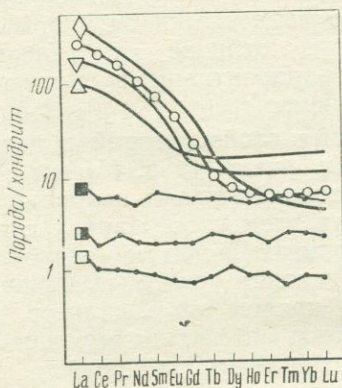
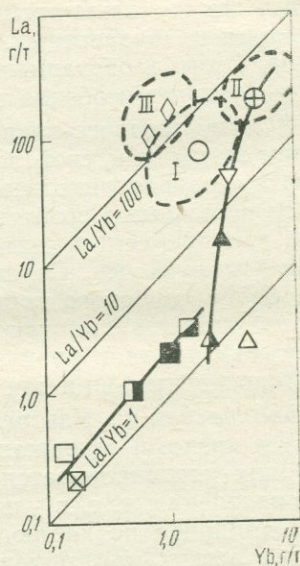


Рис. 48. Нормированные содержания редких земель в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

Рис. 49. Распределение лантана и иттербия в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

I — поле кимберлитов; II — поле пикритовых порфиритов; III — поле калиевых базальтов



плексов отчетливо продолжают эту тенденцию (увеличение La, Yb и La/Yb) и попадают на продолжение базальтового тренда. Можно утверждать, что их тесная связь с формацией щелочных базальтоидов подтверждается и рис. 49.

Несколько иное положение занимают калиевые базальты и кимберлиты. Магма калиевых базальтов очень сильно накапливает основной лантан и обеднена кислотным иттербием. В связи с этим в калиевых базальтах отношение $La/Yb=100$, т. е. наибольшее среди всех пород. Кимберлитовая магма также чрезвычайно накапливает лантан, но содержание иттербия снижено и

почти равно количеству иттербия в гранатовых перидотитах. Лантан-иттербиевое отношение в кимберлитах очень высоко $La/Yb=20-180$, среднее 60 и смещено в пользу более основного лантана. На диаграмме (см. рис. 49) поле кимберлитов отчетливо занимает промежуточное положение между точками среднего щелочного оливинового базальта и калиевого базальта.

При сравнении кимберлитов с пикритовыми порфиритами можно сказать, что по особенностям распределения редких земель эти породы близки; для тех и других характерны повышенные содержания редких земель существенно церового состава. Но имеются и некоторые отличия, позволяющие различать эти типы пород. В пикритовых порфиритах содержание редких земель выше, чем в кимберлитах. На диаграмме (см. рис. 49) пикритовые порфириты ложатся на тренд щелочных оливиновых базальтов и геохимически тесно связаны с этой магматической формацией, тогда как кимберлиты являются породами, промежуточными между щелочными оливиновыми и калиевыми базальтами.

Мы рассмотрели распределение щелочных, щелочноземельных, радиоактивных и редкоземельных элементов в кимберлитах, ультраосновных и основных породах. Геохимическое поведение их однотипно. Так, при сравнении с ультраосновными мантийными породами, в кимберлитах фиксируется многократное накопление этих элементов. Кроме того, отношения близких по химическим свойствам элементов (K/Na , K/Rb , Ba/Sr , Th/V , La/Yb) в кимберлитах всегда сильно смещены в пользу элементов с более щелочными свойствами. По распределению рассматриваемых элементов кимберлиты отличаются от ультрабазитов и близки к щелочным базальтам. По-видимому, при выплавлении кимберлитовой магмы из ультраосновного мантийного субстрата происходит необычно сильная экстракция щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и радиоактивных элементов с многократным (в десятки и сотни раз) их обогащением. Так как накопление этих элементов не коррелируется с изменением главных петрогенных элементов, то в петрологической литературе их называют некогерентными элементами.

Кислотные элементы (P, Cl, F). Наличие повышенных содержаний щелочных элементов в кимберлитах

должно предполагать и повышенные содержания противоположных им по свойствам кислотных элементов, так как кислотность — щелочность магматического расплава должна быть в основном сбалансирована. Поэтому очень любопытно рассмотреть среднее распределение в кимберлитах таких элементов как фтор, хлор и фосфор. Принцип геохимической полярности позволяет сделать предположение, что в кимберлитах следует ожидать повышенные содержания наиболее сильных кислотных элементов — хлора и особенно фтора и показательные геохимические отношения P/Cl , F/Cl и F/P относительно обычных пород должны быть сдвинуты в пользу наиболее кислотного элемента. Можно также предполагать, что если в агпайтовых щелочных породах существенно натрового уклона компенсирующая кислота представлена главным образом P_2O_5 , то в породах калиевого уклона должно повыситься значение более сильных кислот — хлористых и фтористых.

Сравнительная диаграмма (рис. 50), построенная по средним данным (см. табл. 106), показывает, что включения гранатовых и шпинелевых перидотитов, а также альпинотипные гипербазиты имеют низкие содержания хлора и фтора, близкие к среднему хондриту, и хондритовые отношения $F/Cl=1-5$. Из них альпинотипные гипербазиты и включения шпинелевых перидотитов из базальтов определенно обеднены этими элементами по сравнению с мантийными гранатовыми перидотитами.

Для кимберлитов характерны повышенные содержания хлора и фтора, причем отношение фтора к хлору очень высоко и сдвинуто в сторону более кислотного фтора, $F/Cl=10-100$. На рис. 50 точки средних кимберлитов Южной Африки и Индии попадают не на тренд ультраосновных пород, а на базальтовую кривую, а сами кимберлиты по распределению хлора и фтора занимают промежуточное положение между щелочными оливиновыми и калиевыми базальтами. Несколько точек пикритовых порфиритов попадают в поле кимберлитовых пород, но относительно среднего кимберлита в пикритовых порфиритах фтор-хлоровое отношение более низкое.

Сравнительная диаграмма ультрабазитов, базальтов и кимберлитов по средним распределениям фосфо-

ра, хлора и фтора в цифрах, нормированных по среднему хондриту (рис. 51) подтверждает выводы, уже сделанные по предыдущей диаграмме: 1) повышенные содержания в кимберлитах наиболее кислотных элементов — хлора и особенно фтора в ущерб слабокислот-

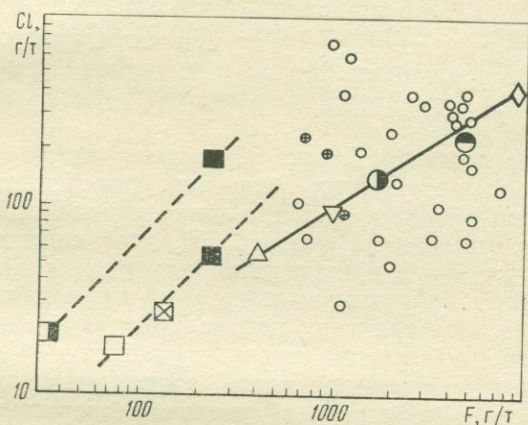


Рис. 50. Распределение фтора и хлора в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

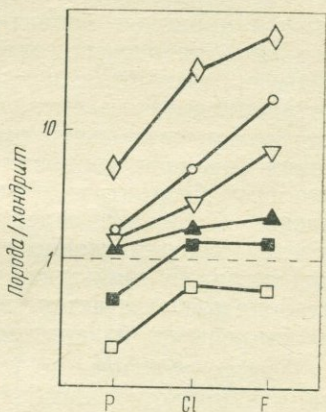


Рис. 51. Нормированные средние содержания фосфора, хлора и фтора в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

ному фосфору; 2) базальтовый, а не гипербазитовый характер распределения фосфора, хлора и фтора в кимберлитах; 3) промежуточное положение кимберлитов среди формации щелочных оливиновых базальтов и калиевых базальтов.

Распределение когерентных элементов уже иное. Титан, цирконий и гафний. Гранатовые и шпинеле-

вые перидотиты, альпинотипные гипербазиты по содержанию титана и циркона довольно близки. Причем во всех гипербазитах фиксируются хондритовые отношения титана к цирконию (в хондритах Ti 800 г/т, Zr 33 г/т, $Ti/Zr=25$). В базальтах по сравнению с гипербазитами фиксируются гораздо более высокие содержания титана и циркония (рис. 52).

Кимберлиты отличаются от типичных ультрабазитов высоким содержанием титана и циркония и по количеству этих элементов оказываются в поле типичных базальтов.

На диаграмме (см. рис. 52) видно, что, в отличие от толеитов и щелочных базальтов, кимберлиты располагаются в области пониженных значений титан-циркониевых отношений (среднее 65), что согласуется с большей глубиной выплавления кимберлитовой магмы. Пониженные содержания титана и циркония характерны для кимберлитов центральных, а более высокие — для кимберлитов северных районов Сибирской платформы (исключение здесь составляют кимберлиты Куойского поля с очень низкими содержаниями титана и циркония). Наиболее высокие содержания титана и циркония характерны для пикритовых порфиров карбонатитовых комплексов. Пикритовые порфириты примыкают к щелочным оливиновым базальтам, по распределению титана и циркония они продолжают базальтовую тенденцию последовательного увеличения титана и циркония от толеитов к щелочным оливиновым базальтам и пикритовым порфиритам. В калиевых базальтах содержание титана и циркония снижается, соответственно и кимберлиты содержат меньше титана и циркония, чем пикритовые порфириты, и их поле располагается между щелочными оливиновыми и калиевыми базальтами.

Таким образом, по особенностям распределения титана и циркония кимберлиты очень сильно отличаются от типичных ультраосновных пород и наоборот близки базальтам, хотя среди последних обособляются в индивидуальное поле и имеют ясные отличия от пикритовых порфиритов, толеитовых и щелочных базальтов.

Геохимическая судьба гафния тесно связана с цирконием, большое подобие химических свойств этих элементов приводит к тому, что при большинстве геохимических процессов они перераспределяются совместно.

Отношение Zr/Hf в большинстве земных пород и в хондритах колеблется в узких пределах 25—47. Столь же низкие отношения характерны для ультрабазитов. Однако в щелочных базальтах и трахитах отношение Zr/Hf может быть высоким (60—85). Большинство си-

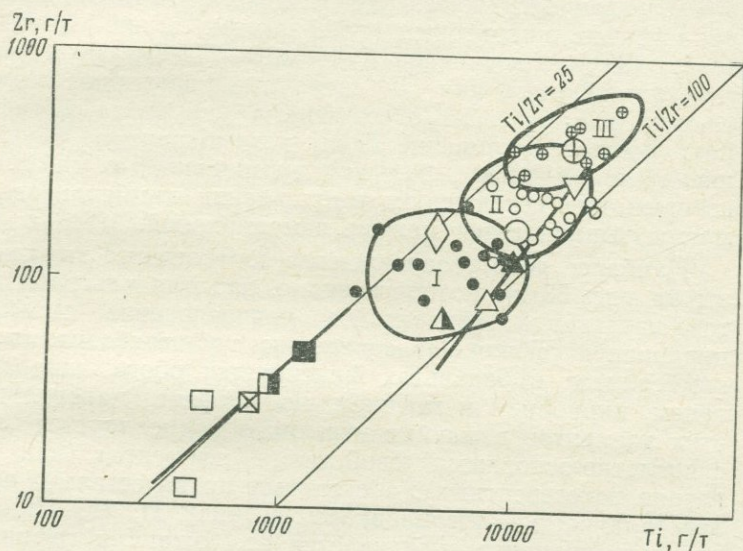


Рис. 52. Распределение титана и циркония в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

I — поле кимберлитов центральных районов Сибири; II — поле кимберлитов северных районов Сибири; III — поле пиритовых порфиров

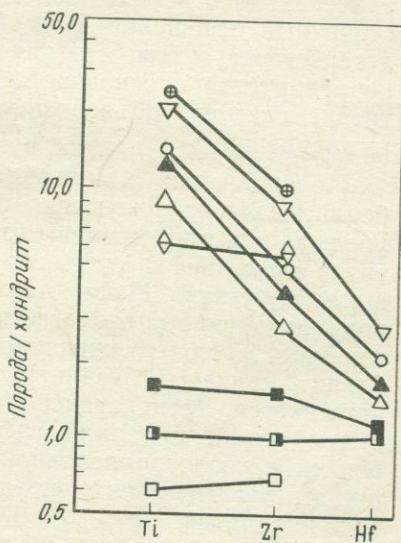


Рис. 53. Нормированные средние содержания титана, циркония и гафния в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

бирских кимберлитов содержит гафния меньше 5 г/т и только в редких трубках его содержание достигает 5 и даже 9 г/т. Для кимберлитов центральных районов характерны высокие цирконий-гафниевые отношения (до 62). В то же время для некоторых северных районов это отношение снижается до 30. Для ингилитов, пород аналогичных пикритовым порфирирам, также характерны высокие значения $Zr/Hf=48-71$. Таким образом, кимберлиты, как и щелочные базальты, отличаются повышенными отношениями циркония к гафнию. Высокое отношение Zr/Hf в кимберлитах объясняется, по-видимому, большей тугоплавкостью гафния, который при селективном выплавлении кимберлитовой магмы выплавляется меньше чем цирконий.

Наиболее ясно установленные соотношения выражены на рис. 53, из которого видно, что для ультрабазитов характерно хондритовое распределение титана, циркония и гафния. По сравнению с ультрабазитами в кимберлитах и базальтах фиксируется обогащение титаном, цирконием и гафнием, но эффект накопления этих элементов в магмах невелик и коррелируется не с кислотно-основными свойствами элементов (как в группе некогерентных), а с такими их качествами, как легкоплавкость — тугоплавкость. В ряду Ti, Zr, Hf основность элементов усиливается от титана к гафнию, а легкоплавкость — наоборот, от гафния к титану. Повышенные отношения $Ti/Zr, Zr/Hf$ в кимберлитах свидетельствует о том, что накопление этих элементов не коррелируется с основностью элементов, и накопление титана следует объяснить механизмом селективного выплавления.

По сравнению с мантийными ультрабазитами кимберлиты характеризуются более, чем десятикратным увеличением содержания титана и циркония. При этом титан-циркониевое отношение в кимберлитах смещено в сторону титана. И если на предыдущих диаграммах породы неизменно располагались в порядке увеличения их щелочности (толеит, щелочной оливинный базальт, кимберлит, калиевый базальт), то на рис. 53 этот порядок нарушается. Располагаясь в середине периодической системы, титан, цирконий, гафний, по-видимому, индифферентны к кислотно-щелочной обстановке и их поведение при выплавлении магм определяется эффектом селективного плавления.

Ниобий и тантал (рис. 54). Ультраосновные породы характеризуются низким содержанием ниобия и тантала с низким отношением $Nb/Ta=1-5$. Такое же низкое отношение ниобия к танталу известно в хондритах и, наоборот, необычно для изверженных пород, в которых величина этого отношения колеблется в пределах 5—25, а среднее наиболее распространенное значение равно 10.

При сравнении с мантийными ультраосновными породами кимберлиты обогащены главным образом ниобием, тогда как концентрации тантала увеличиваются незначительно, а в отдельных случаях не превышают содержания в ультраосновных породах. Это приводит к сильному увеличению ниобий-танталового отношения в кимберлитах по сравнению с мантийными породами.

По распределению ниобия и тантала кимберлиты совпадают с базальтами. По-видимому, механизм накопления ниобия и тантала в кимберлитах и базальтах одинаков. От толеитов к щелочным базальтам и кимберлитам содержание ниобия и тантала увеличивается. Поскольку в такой последовательности увеличивается глубина магмообразования и уменьшается объем выплавленных магм, можно сделать вывод о том, что селективное выплавление ниобия и тантала находится в прямой зависимости от глубины и в обратной — от объема магмообразования. Таким образом, все мантийные породы характеризуются низкими содержаниями ниобия и тантала и низким отношением Nb/Ta , близким к хондритовому. При выплавлении глубокогенерированных магм — кимберлитов и базальтов — ниобий и тантал ведут себя как когерентные элементы. Магматические породы: кимберлиты, щелочные и толеитовые базальты по сравнению с мантий-

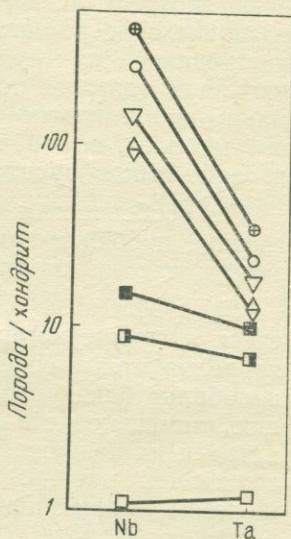


Рис. 54. Нормированные средние содержания ниобия и тантала в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

ным субстратом обогащены ниобием и характеризуются высоким ниобий-танталовым отношением.

На диаграмме (см. рис. 54) кимберлиты попадают в базальтовое семейство кривых. Пикритовые порфиры содержат более высокие средние количества ниобия и тантала. Можно заметить, что эта диаграмма очень похожа на предыдущую — аналогично взаимное распределение кривых и характер их наклона. Очевидно геохимическая судьба титана, циркония, гафния, ниобия и тантала подобна. Глубоко генерированные магмы оказываются обогащенными этими элементами и тем более, чем более легкоплавков данный элемент в силикатном расплаве.

По особенностям распределения титана, циркония, гафния, ниобия и тантала кимберлиты похожи на базальты и отличаются от типичных ультрабазитов.

Сидерофильные элементы (V, Cr, Mn, Ni, Co) относятся к группе когерентных, их содержание в породах коррелируется с содержанием магния и железа. Никель и кобальт близки по своим ионным радиусам к магнию, замещают его в решетках магнизальных силикатов и их содержания в целом коррелируются с содержанием магния. Хром изоморфен с трехвалентным железом и алюминием, замещает эти элементы в пироксенах, гранате, хромшпинелидах. В отличие от некогерентных элементов, которые могут широко варьировать, отличаясь в десятки и сотни раз, вариации содержания элементов группы железа в ультраосновных и основных породах невелики. Обогащенность или обедненность глубинных магм Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni может объясняться такими качествами этих элементов, как относительная легкоплавкость ванадия и марганца или тугоплавкость хрома, никеля и кобальта.

Элементы группы железа характерны как для глубинных мантийных пород, так и для глубинных магматических пород, непосредственно выплавляющихся из мантии — базальтов и кимберлитов.

Чтобы наглядно представить особенности распределения элементов группы железа в ультраосновных породах, кимберлитах и базальтах, рассмотрим сравнительные диаграммы. Содержания ванадия и хрома (рис. 55) в гранатовых и шпинелевых перидотитах и альпинотипных гипербазитах довольно высоки, одина-

ковы для всех разностей ультраосновных пород и соответствуют хондритовому содержанию ванадия и хрома. В кимберлитах хрома меньше, чем в ультраосновных мантийных породах, а в базальтах содержание хрома еще уменьшается.

Распределение ванадия отличается от хрома. Хотя большинство кимберлитов содержит столько же ванадия, как и мантийные ультраосновные породы, но по среднестатистическим данным можно все же заметить, что кимберлиты по сравнению с ультраосновными мантийными породами несколько обогащены ванадием. Еще больше ванадием обогащены базальты, но разноточные базальты — толеиты и щелочные базальты содержат ванадия примерно одинаковые количества.

Из следующей диаграммы (рис. 56) видно, что все мантийные ультраосновные породы — гранатовые и шпинелевые перидотиты, альпинотипные и океанические гипербазиты содержат высокое и примерно одинаковое количество хрома и кобальта. Какие-нибудь индивидуальные отличия между отдельными группами ультрабазитов отсутствуют, все точки на диаграмме равномерно перемешаны. В магматических породах содержание хрома и кобальта уменьшается и можно сказать, что при выплавлении глубинных магм, хром и кобальт переходят в расплав с трудом. В кимберлитах по сравнению с мантийными ультраосновными породами содержание хрома и кобальта уменьшается. Однако такое уменьшение обнаруживается при сравнении среднестатистических цифр. Некоторые кимберлиты содержат столько же хрома, сколько и ультраосновные породы, а подавляющее число кимберлитов содержит столько же кобальта, сколько и ультраосновные мантийные породы, так что поле кимберлитов частично совпадает с полем ультраосновных пород и в то же время сдвинуто в сторону меньших количеств хрома и кобальта. Анализ диаграммы (см. рис. 56) показывает, что общее содержание хрома и кобальта снижается от ультраосновных к основным породам вместе со снижением магнезиальности пород.

Следующая диаграмма (рис. 57) похожа на предыдущую. Так, для всех ультраосновных мантийных пород характерно высокое и одинаковое содержание ко-

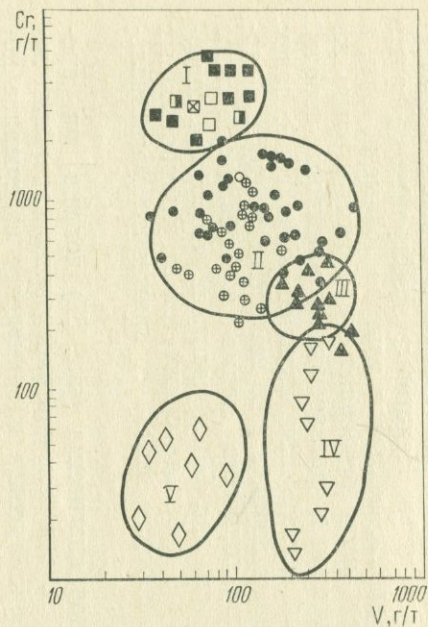


Рис. 55. Распределение хрома и ванадия в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

I — поле ультрабазитов; II — поле кимберлитов и пикритовых порфиритов; III — поле толеитовых базальтов; IV — поле щелочных оливиновых базальтов; V — поле калиевых базальтов

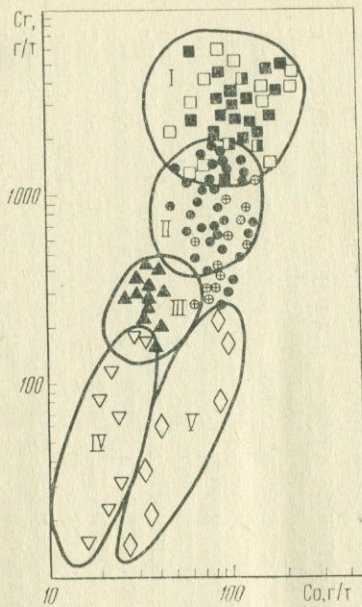


Рис. 56. Распределение хрома и кобальта в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

Условные обозначения полей см. на рис. 55

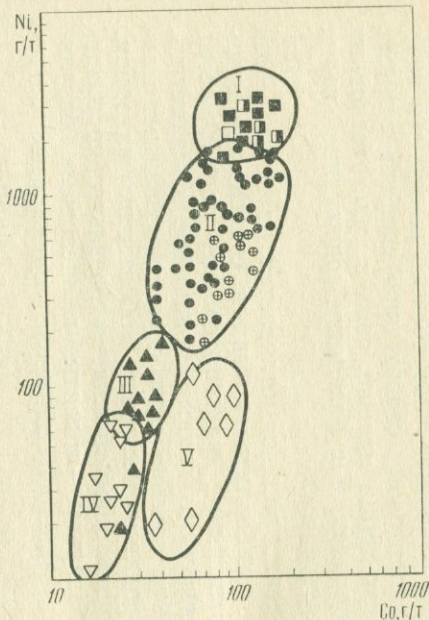


Рис. 57. Распределение никеля и кобальта в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах.

Условные обозначения полей см. на рис. 55

бальта и никеля, все ультраосновные мантийные породы — гранатовые и шпинелевые перидотиты, альпино-типные и океанические гипербазиты формируют на диаграмме единое поле. В хондритах содержание кобальта и никеля выше, чем в мантийных ультраосновных породах, но для тех и других характерно одинаковое хондритовое отношение никеля к кобальту ($Ni/Co=16$). Кимберлиты содержат меньше кобальта и никеля, чем мантийные ультрабазиты, среднее отношение $Ni/Co=11$, ниже, чем в ультрабазитах, а это значит, что при плавлении в магму переходит больше кобальта, чем никеля. Базальты содержат еще меньше кобальта и никеля, чем кимберлиты. Со снижением общего количества снижается и отношение никеля к кобальту.

На всех диаграммах (см. рис. 55—57) точки пикритовых порфиритов из карбонатных комплексов со-

вмещаются с кимберлитовыми точками и попадают в поле кимберлитовых пород. Однако по средним данным можно видеть, что в пикритовых порфиритах содержится несколько меньше хрома и никеля.

Диаграмма рис. 58 показывает, что базальты несколько обогащены ванадием, марганцем и обеднены кобальтом, хромом, никелем. На этой диаграмме можно видеть, что по распределению сидерофильных элементов — Fe, Mg, V, Mn, Co, Cr, Ni кимберлиты отличаются существенно от щелочных базальтов и близки к ультраосновным породам, хотя и здесь ясно видно, что кимберлиты отличаются от типичного мантийного ультрабазита (гранатового перидотита) несколько повышенным содержанием ванадия и заниженными содер-

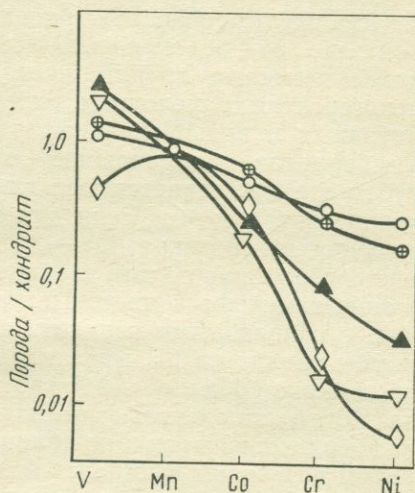


Рис. 58. Нормированные средние содержания ванадия, марганца, кобальта, хрома и никеля в ультраосновных породах, базальтах и кимберлитах

жаниями — хрома и никеля. И все же, в отличие от калиевых щелочных базальтов и щелочных оливиновых базальтов, кимберлиты содержат много сидерофильных элементов. Пикритовые порфириты также содержат много сидерофильных элементов, однако на диаграмме (см. рис. 58) их линия более близка к базальтам, чем кимберлитовая.

Анализ особенностей распределения V, Cr, Co, Ni (см. рис. 55—58) показывает, что геохимическое поведение элементов группы железа резко отличается от некогерентных щелочных, щелочноземельных, радиоактивных и редкоземельных элементов. В базальтах и кимберлитах по сравнению с породами мантийного субстрата наблюдается уменьшение Cr, Co и некоторое увеличение V и Mn. Если для некогерентных элементов отмечается многократное — десяти-стократное — изменение содержания, то для элементов группы железа содержания изменяются мало. Так, в кимберлитах по сравнению с гранатовыми перидотитами увеличивается содержание ванадия в 1,5, марганца в 1,2 раза и уменьшается количество кобальта в 0,7, хрома в 0,4, никеля в 0,38 раза. Кстати, такие коэффициенты обогащения и обеднения кимберлитовой магмы по сравнению с мантийным субстратом позволяют выстроить все элементы группы железа в относительный ряд от легкоплавких к тугоплавким: V, Mn, Co, Cr, Ni.

Геохимическое поведение скандия очень похоже на элементы группы железа, поэтому его часто включают в эту группу. Все ультраосновные мантийные породы имеют приблизительно одинаковое количество скандия — от 4 до 50 г/т, примерно в этих же пределах, но несколько меньше скандия, содержится в хондритах (среднее 9 г/т). В кимберлитах, по нашим данным, содержание скандия варьирует от 5 до 22 г/т, среднее 12 г/т. Увеличивается содержание скандия в океанических толентах (60 г/т). В этом отношении скандий похож на ванадий, который также накапливается в базальтах. Но можно заметить, что поведение скандия более индифферентно. Как и для всех элементов группы железа, больше всего скандия в ультраосновных и основных породах и гораздо меньше в кислых. В щелочных породах количество скандия также снижается.

Анализ геохимических особенностей кимберлитов в сравнении с ультраосновными породами и базальта-

ми позволяет выделить две группы элементов, геохимическое поведение которых различно и их накопление в кимберлитовой магме управляется различными механизмами.

Первая группа — некогерентных элементов — Na, K, Rb, Li, Cs, Sr, Ba, Th, U, TR, которыми кимберлитовая магма по сравнению с ультраосновными мантийными породами обогащена в многократной степени. Накопление некогерентных элементов в кимберлитовой магме объясняется нами механизмом глубинного кислотного выщелачивания.

Вторая группа — когерентных элементов. Поведение элементов этой группы можно объяснить механизмом селективного выплавления. Выделяются три подгруппы когерентных элементов: подгруппа относительно легкоплавких элементов, которыми кимберлитовая магма несколько обогащена по сравнению с мантийным перидотитом (Ti, Zr, Nb, Ta, V, Mn, Pb, Zn); подгруппа индифферентных элементов, содержание которых в кимберлитах и перидотитах одинаково (Sc, Au, Ag), и, наконец, подгруппа тугоплавких элементов (Cr, Ni, Co), которыми кимберлитовая магма обеднена. Химический состав кимберлитов определенно отличается и от ультраосновных, и от основных пород, а также и от формационно близких к ним щелочно-ультраосновных комплексов с карбонатитами. Четкая геохимическая индивидуализация кимберлитов имеет большое значение для теоретических вопросов: их генезиса, таксономии, классификации.

Классификационная принадлежность кимберлитовых пород давно дискутируется в геологической литературе. Как известно, А. Н. Заварицкий [37] и Г. М. Гапеева [28] предлагали относить кимберлиты к группе щелочных базальтоидов. Большинство же исследователей [101, 54, 55, 99] считает их эффузивным аналогом слюдяных перидотитов. Действительно, существенно оливиновый состав и низкое содержание алюминия заставляют сопоставлять кимберлиты с ультрабазитами, но геохимические особенности кимберлитов, выражающиеся в специфике распределения щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и радиоактивных элементов, а также и содержания Ti, Zr, Hf, Nb, Ta резко отличают их от мантийных ультраосновных пород и сближают с щелочными базальтами. Так же как и ще-

лочные базальты, кимберлиты сильно обогащены всеми некогерентными элементами. Аналогично показательные геохимические отношения K/Na , K/Rb , Ba/Sr , Th/U , La/Yb в кимберлитах резко отличаются от таковых в типичных ультраосновных породах и очень близки или тождественны с базальтами. Различия кимберлитов и базальтов устанавливаются только в распределении магния и сидерофильных элементов — хрома, кобальта и никеля. В отличие от щелочных базальтов, кимберлиты обогащены Mg , Sr , Co , Ni и обеднены Si и Al .

Нам представляется, что кимберлитовая магма начинается выплавляться в мантии на глубине 150—200 км как силикатная жидкость щелочного калиевого базальта. В силу каких-то особых причин не происходит обособления и отделения этой базальтоидной жидкости от тугоплавкого перидотитового остатка, часть его захватывается магмой и выносится на поверхность. В результате кимберлитовая магма обладает всеми геохимическими особенностями щелочного базальтоида, но содержит в своем составе большое количество Mg , Sr , Co , Ni , а ее общий состав варьирует от ультрабазитов до щелочных базальтоидов.

По особенностям распределения подавляющего числа химических элементов кимберлиты необходимо относить к группе щелочных базальтоидов калиевого уклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов А. П., Семенов Г. С.* Содержание радиоактивных элементов в кимберлитах Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1970, т. 190, № 4, с. 947—950.
2. *Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М., «Наука», 1976. 267 с.
3. *Барсуков В. Л.* Некоторые вопросы геохимии бора. — «Геохимия», 1961, № 7.
4. *Барсуков В. Л., Курильчикова Г. Е.* О бороносности серпентинитов. — «Геохимия», 1957, № 5, с. 389—391.
5. *Берзина И. Г., Лутц Б. Г., Акимов А. П.* Содержание и распределение урана в породах глубинных зон континентальной коры и верхней мантии. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1971, № 1, с. 14—23.
6. *Благулькина В. А.* О распределении некоторых рассеянных и редких элементов в кимберлитах различных петрохимических типов. — «Геохимия», 1971, № 5, с. 600—605.
7. *Благулькина В. А., Тарновская А. Н.* О перовските из кимберлитов Якутии. — «Зап. Всесоюзн. минерал. об-ва», 1975, ч. 104, вып. 6, с. 703—710.
8. *Борисенко Л. Ф.* Скандий. М., Изд-во АН СССР, 1961. 129 с.
9. *Борисенко Л. Ф.* Ванадий (минералогия, геохимия и типы эндогенных месторождений). М., «Недра», 1973. 192 с.
10. *Борисенко Л. Ф., Миллер А. Д., Фишер Э. И.* О распространённости золота в ультрабазитах. — «Геохимия», 1972, № 2, с. 188—196.
11. *Бородин Л. С.* Редкие элементы в ультрабазитах из комплексных массивов ультраосновных — щелочных пород. — В кн.: Проблемы геохимии. Л., 1965, с. 396—406.
12. *Бородин Л. С., Лапин А. В., Пятенко И. К.* Петрология и геохимия даек щелочно-ультраосновных пород и кимберлитов. М., «Наука», 1976. 244 с.
13. *Брахфогель Ф. Ф., Ковальский В. В.* Возраст кимберлитовых тел северо-восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Новые данные о магматизме Якутской АССР. Якутск, 1974, с. 5—20.
14. *Бурков В. В.* О редких элементах в минералах кимберлитов. — В кн.: Геохимические исследования. Вып. 1. М., 1970, с. 16—24.
15. *Бурков В. В., Подпорина Е. К.* О редких элементах в кимберлитах. — «Докл. АН СССР», 1965, т. 163, № 1, с. 197—200.
16. *Бурков В. В., Подпорина Е. К.* Первые данные о редких землях в кимберлитовых породах. — «Докл. АН СССР», 1966, т. 171, № 4, с. 970—973.
17. *Васильева З. А.* Апатиты из кимберлитов и близких к ним пород Якутии. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1976, № 3, с. 74—82.
18. *Вахрушев В. А., Соболев Н. В.* Сульфидные образования в глубинных ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии. — «Геология и геофизика», 1971, № 11, с. 3—11.

19. Вахрушев В. А., Цимбалист В. Г. Золото в ультраосновных породах Земли. — «Геохимия», 1972, № 9, с. 1128—1131.
20. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. — «Геохимия», 1962, № 7, с. 555—571.
21. Виноградов А. П. Дифференциация вещества Луны. — В кн.: Космохимия Луны и планет. М., 1975, с. 5—28.
22. Виноградов А. П., Кропотова О. И., Устинов В. И. Возможные источники углерода природных алмазов по изотопным данным C^{12}/C^{13} . — «Геохимия», 1965, № 6, с. 643—651.
23. Виноградов А. П., Кропотова О. И. Об изотопном фракционировании углерода в геологических процессах. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1967, № 11, с. 3—13.
24. Виноградов В. И., Илупин И. П. Изотопный состав серы в кимберлитах Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1972, т. 204, № 6, с. 1452—1455.
25. Владимиров Б. М., Твердохлебов В. А., Колесникова Т. П. Геология и петрография изверженных пород юго-западной части Гвинейско-Либерийского щита. М., «Наука», 1971. 242 с.
26. Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М., «Недра», 1968. 224 с.
27. Галимов Э. М. Происхождение окрашенных алмазов. — В кн.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М., 1972, с. 390—404.
28. Гапеева Г. М. Положение кимберлитов в генетической классификации горных пород. — «Бюлл. ВСЕГЕИ», 1958, № 1, с. 137—140.
29. Геохимическая специализация кимберлитов различных полей Якутии. — «Геохимия», 1974, № 4, с. 499—513. Авт.: И. П. Илупин, С. Ф. Соболев, Б. П. Золотарев, А. А. Лебедев-Зиновьев.
30. Геохимия, минералогия и методы определения элементов группы платины. М., «Недра», 1970. Авт.: О. Е. Юшко-Захарова, В. В. Иванов, И. С. Разина, Л. А. Черняев.
31. Геохимия молибдена и вольфрама. М., «Наука», 1971. 128 с. Отв. ред. В. В. Щербина.
32. Герасимовский В. И. Геохимия карбонатитов рифтовых зон Восточной Африки. — «Геохимия», 1973, № 12, с. 1772—1781.
33. Говоров И. Н., Голубев Э. Д., Денисов Е. П. Геохимия глубинных ксенолитов и конвекция в верхней мантии Сихотэ-Алинской складчатой области. — В кн.: Междунар. геол. конгресс. XXV сессия. Докл. сов. геологов. Геохимия. Минералогия. Петрология. М., 1976, с. 128—135.
34. Докембрийские алмазоносные формации Мира. М., «Недра», 1976. 132 с. Авт.: М. П. Метелкина, Б. И. Прокопчук, О. В. Суходольская, Е. В. Францесон.
35. Дунин-Барковская Э. А., Уханов А. В. Висмут в кимберлитовых породах Якутии. — «Геохимия», 1974, № 11, с. 1724—1728.
36. Жабин А. Г., Сурина Н. П. Петрология даек, силлов и трубок взрыва Маймеча-Котуйской провинции. М., «Наука», 1970. 204 с.
37. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., Изд-во АН СССР, 1955. 479 с.
38. Золото в некоторых породах мантийного происхождения. — В кн.: Геология и геохимия базитов восточной части Сибирской платформы. М., 1973, с. 226—230. Авт.: Б. В. Олейников, Ю. Р. Васильев, А. Ф. Коробейников, К. Н. Никишов, В. Л. Чесноков.

39. *Изотопный состав кристаллов алмаза и карбонадо.* — «Геохимия», 1966, № 12, с. 1395—1397. Авт.: А. П. Виноградов, О. И. Кропотова, Ю. Л. Орлов, В. А. Гриненко.
40. *Илупин И. П.* К вопросу о генезисе минералов стронция в кимберлитовых трубках Западной Якутии. — «Труды Минералогич. музея АН СССР», 1961, вып. 12, с. 212—217.
41. *Илупин И. П.* О зависимости между составом некоторых первичных минералов и химическим составом кимберлитов Якутии. — «Зап. Всесоюз. минерал. об-ва», 1969, ч. 98, вып. 5, с. 574—578.
42. *Илупин И. П.* О некоторых особенностях химического состава кимберлитов. — В кн.: Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. М., 1970, с. 267—280.
43. *Илупин И. П.* Содержание фосфора и серы в кимберлитах Якутии. — «Геохимия», 1970, № 9, с. 1042—1052.
44. *Илупин И. П.* Новые данные о неоднородности верхней мантии. — «Докл. АН СССР», 1976, т. 229, № 4, с. 974—976.
45. *Илупин И. П., Иванов В. В., Миллер А. Д.* Рений и осмий в кимберлитах Якутии. — «Геохимия», 1975, № 6, с. 933—936.
46. *Илупин И. П., Козлов И. Т.* Циркон в кимберлитах. — В кн.: Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. М., 1970, с. 254—266.
47. *Илупин И. П., Луцц Б. Г.* Химический состав кимберлитов и вопросы происхождения кимберлитовой магмы. — «Сов. геология», 1971, № 6, с. 61—73.
48. *Илупин И. П., Хомяков А. П., Балашов Ю. А.* Редкие земли в акцессорных минералах кимберлитов Якутии. — «Докл. АН СССР», 1971, т. 201, № 5, с. 1214—1217.
49. *Ильменит из кимберлитов Якутии.* — В кн.: Минералогия, геохимия и прогнозирование алмазных месторождений. Л., 1974, с. 5—29. Авт.: И. П. Илупин, В. А. Милашев, Ю. И. Томановская, А. Н. Евдокимов.
50. *Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатов Кольского полуострова и Северной Карелии (Геология, петрология, минералогия и геохимия).* М., «Недра», 1965. 772 с. Авт.: А. А. Кухаренко, М. П. Орлова, А. Г. Булах и др.
51. *Каминский Ф. В.* Геохимия микроэлементов кимберлитовых и родственных им пород. — В кн.: Международный геохимический конгресс. Тезисы докладов. 1. М., 1971, с. 149—150.
52. *Каминский Ф. В., Потапов С. В.* Петрографо-минералогическая характеристика кимберлитовых пород Ингилийского района (восточная окраина Алданского шита). — «Геология и геофизика», 1969, № 1, с. 50—55.
53. *Каминский Ф. В., Францессон Е. В., Хвостова В. П.* Первые сведения о металлах группы платины (Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Os) в кимберлитовых породах. — «Докл. АН СССР», 1974, т. 219, № 1, с. 204—207.
54. *Кимберлитовые породы и пикритовые порфиры северо-восточной части Сибирской платформы.* М., Госгеолтехиздат, 1963. 215 с. Авт.: В. А. Милашев, М. А. Крутоярский, М. И. Рабкин, Э. Н. Эрлих.
55. *Ковальский В. В.* Кимберлитовые породы Якутии и основные принципы их петрогенетической классификации. М., Изд-во АИЛ СССР, 1963. 184 с.

56. Ковальский В. В., Галимов Э. М., Прохоров В. С. Изотопный состав углерода окрашенных разновидностей якутских алмазов. — «Докл. АН СССР», 1972, т. 203, № 2, с. 440—442.
57. Ковальский В. В., Черский Н. В. Изотопный состав углерода алмазов и возможные источники углерода для их образования. — «Геология и геофизика», 1972, № 9, с. 10—15.
58. Комаров А. Н., Житков А. С. Уран в ксенолитах ультраосновного состава из базальтов. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1973, № 10, с. 79—85.
59. Комаров А. Н., Илупин И. П. Калий-урановое отношение в кимберлитах. — «Докл. АН СССР», 1975, т. 222, № 5, с. 1210—1212.
60. Коробейников А. Ф., Олейников Б. В. Золото в магнетитах траппов, гранитоидов и контактово-метасоматических образований Сибири. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1976, № 1, с. 83—97.
61. Кропотова О. И., Федоренко Б. В. Изотопный состав углерода алмаза и графита из эклогита. — «Геохимия», 1970, № 10, с. 1279.
62. Кудрявцев В. А. Распространенность ниобия в кимберлитах Якутии. — В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., 1964, с. 142—145.
63. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., «Недра», 1964. 387 с.
64. К распределению ниобия и тантала в ультраосновных включениях в связи с вопросом их генезиса. — «Сов. геология», 1973, № 10, с. 6—12. Авт.: Б. Г. Лутц, В. С. Гладких, И. К. Пятенко, М. Е. Викторова.
65. Лебедев-Зиновьев А. А., Илупин И. П. Щелочные элементы в кимберлитах Якутии. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1972, № 8, с. 73—79.
66. Лебедев-Зиновьев А. А., Илупин И. П. О геохимической зональности кимберлитовых полей Якутской провинции. — «Докл. АН СССР», 1976, т. 230, № 1, с. 206—208.
67. Литинский В. А. О содержании в кимберлитах Ni, Cr, Ti, Nb и некоторых других элементов и о возможности применения геохимических методов для поисков кимберлитовых тел. — «Геохимия», 1961, № 9, с. 742—749.
68. Лутц Б. Г. Химический состав континентальной коры и верхней мантии Земли. М., «Наука», 1975. 167 с.
69. Лутц Б. Г., Минеева И. Г. Уран и торий в кимберлитах Сибири. «Геохимия», 1973, № 11, с. 1721—1724.
70. Лутц Б. Г., Петерсилье И. А., Коржавин В. К. Состав газообразных веществ в породах верхней мантии Земли. — «Докл. АН СССР», 1976, т. 226, № 2, с. 440—443.
71. Лутц Б. Г., Францессон Е. В. Геохимическая характеристика кимберлитов и их сравнение с ультраосновными и основными породами. — В кн.: Междунар. геол. конгресс. XXV сессия. Докл. сов. геологов. Геохимия. Минералогия. Петрология. М., 1976, с. 170—180.
72. Маршинцев Б. К. Карбонатитовые образования восточного склона Анабарского сводового поднятия. Якутск, Якутское книжн. изд-во, 1974, 119 с.
73. Маршинцев В. К., Лапин А. В. О геохимической неоднородности кимберлитов. — «Докл. АН СССР», 1976, т. 226, № 3, с. 681—684.

74. *Маршинцев В. К., Сукнева Л. С.* Скандий в минералах и породах кимберлитовых тел Якутии. — «Геохимия», 1970, № 12, с. 1519—1522.
75. *Милашев В. А.* Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности. Л., «Недра», 1965. 160 с.
76. *Милашев В. А.* Кимберлитовые провинции. Л., «Недра», 1974. 238 с.
77. *Милашев В. А., Табунов С. М., Томановская Ю. И.* Кимберлитовые поля северо-восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Кимберлитовый вулканизм и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л., 1971, с. 5—42.
78. *Милашев В. А., Шулгина Н. И.* Новые данные о возрасте кимберлитов Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1959, т. 126, № 6, с. 1320—1322.
79. *Моисеенко В. Г., Михайлов М. А., Сахно В. Г.* Поведение золота и серебра при осадконакоплении, вулканизме и метаморфизме. Новосибирск, «Наука», 1974. 102 с.
80. *Мушкин И. В., Ярославский Р. И.* Золото в щелочных базальтоидах и некоторых типах глубинных включений Южного Тянь-Шаня. — «Геохимия», 1974, № 7, с. 1041—1044.
81. *Мэйсон Б.* Метеориты. М., «Мир», 1965. 302 с.
82. *Некрасова Р. А., Гамянина В. В.* Состав редких земель в минералах кимберлитов. — «Докл. АН СССР», 1968, т. 182, № 2, с. 449—452.
83. *Некрасова Р. А., Рождественская И. В.* О соотношении циркония и гафния в цирконах из кимберлитов и аллювиальных отложений. — В кн.: Экспериментальные и теоретические исследования минеральных равновесий. М., 1968, с. 164—173.
84. *Никишов К. Н., Гамянина В. В.* Редкоземельные элементы в первокитах интрузивных кимберлитов. — В кн.: Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. М., 1970, с. 281—287.
85. *Об изоморфизме железа, никеля, меди в джерфшерите.* — В кн.: Изоморфизм в минералах. М., 1975, с. 162—169. Авт.: М. Г. Добровольская, А. И. Цепин, Л. Н. Вьяльсов, И. П. Илупин, И. В. Муравьева, Г. В. Басова, Г. П. Беляевская.
86. *Об изотопном составе углерода алмазов и углеродистых соединений трубок Восточно-Сибирской алмазоносной провинции.* — «Докл. АН СССР», 1975, т. 223, № 1, с. 206—208. Авт.: А. И. Кравцов, О. И. Кропотова, Г. И. Войтов, В. А. Иванов.
87. *Олейников Б. В., Коробейников А. В., Чесников В. Л.* К геохимии золота в трапповых образованиях Сибирской платформы. — В кн.: Геология и геохимия базитов восточной части Сибирской платформы. М., 1973, с. 105—119.
88. *Определение возраста кимберлитов Якутии по цирконам методом треков.* — «Геология рудных месторождений», 1973, № 4, с. 75—79. Авт.: А. Н. Комаров, А. С. Житков, И. П. Илупин, Н. В. Сквородкин.
89. *Орлов Ю. Л.* Химический состав алмазов. — «Труды Минералогич. музея АН СССР», 1972, вып. 21, с. 109—117.
90. *Павлов Д. И., Илупин И. П.* Галит в кимберлитах Якутии, его соотношения с серпентином и вопрос об источнике отложившихся его растворов. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 213, № 6, с. 1406—1409.
91. *Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии.* М., «Недра», 1964. 191 с. Авт.: А. П. Бобриевич, И. П. Илупин,

И. Т. Козлов, Л. И. Лебедева, А. А. Панкратов, Г. И. Смирнов, А. Д. Харьков.

92. *Разин Л. В., Хвостова В. П., Новиков В. А.* Металлы группы платины в породообразующих и аксессуарных минералах ультраосновных пород. — «Геохимия», 1965, № 2, с. 159—174.

93. *Распределение ниобия и тантала в ультраосновных включениях из кимберлитов и базальтов.* — «Сов. геология», 1974, № 9, с. 60—71. Авт.: Б. Г. Лутц, В. С. Гладких, И. К. Пятенко, М. Е. Викторава.

94. *Распределение редких земель в литосфере и космосе.* М., «Наука», 1968. 187 с. Авт.: Л. А. Хаскин, Ф. А. Фрей, Р. А. Шмидт, Р. К. Смит.

95. *Редкие элементы в формациях изверженных пород.* М., «Недра», 1975. 247 с. Отв. ред.: Л. С. Бородин, С. Ф. Соболев.

96. *Редкоземельные элементы в кимберлитах Якутии.* — «Геохимия», 1974, № 1, с. 126—131. Авт.: И. П. Илупин, Г. М. Варшал, В. И. Павлудкая, Г. Е. Каленчук.

97. *Рожков И. С., Каминский Ф. В., Францессон Е. В.* Золото в кимберлитовых породах и ультраосновных включениях. — «Геохимия», 1973, № 12, с. 1898—1903.

98. *Рожков И. С., Ковальский В. В.* Условия образования и размещения кимберлитовых тел в восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Вопросы металлогении, М., 1965, с. 168—181.

99. *Рожков И. С., Францессон Е. В.* Терминология и классификация кимберлитовых пород. — «Сов. геология», 1969, № 11, с. 20—30.

100. *Ртуть в кимберлитах.* — В кн.: Геохимия рудообразующих элементов основных и ультраосновных пород, М., 1976, с. 166—185. Авт.: Н. А. Озерова, И. П. Илупин, А. В. Волкова, Е. В. Францессон.

101. *Соболев В. С.* Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, острова Борнео и Северной Америки. М., Госгеолтехиздат, 1951. 126 с.

102. *Соболев В. С.* Строение верхней мантии и способы образования магмы. — Тринадцатое чтение им. В. И. Вернадского, М., «Наука», 1973. 34 с.

103. *Селен в кимберлитах и глубинных перидотитовых ксенолитах Якутии.* — «Геохимия», 1975, № 1, с. 67—73. Авт.: С. Ф. Соболев, А. В. Лапин, И. И. Назаренко, И. В. Кислова, И. П. Илупин.

104. *Соболев Н. В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, «Наука», 1974. 264 с.

105. *Соболев С. Ф., Золотарев Б. П., Акимов А. П.* Распределение рудных и редких элементов в ксенолитах из кимберлитовых трубок. — «Сов. геология», 1973, № 7, с. 83—94.

106. *Ставров О. Д., Уханов А. В.* Щелочные элементы и фтор в породах и минералах мантии. — «Геохимия», 1971, № 3, с. 282—293.

107. *Структурный контроль проявлений кимберлитового магматизма на северо-востоке Сибирской платформы.* Новосибирск, «Наука», 1974. 98 с. Авт.: К. Б. Мокшанцев, В. В. Еловских, В. В. Ковальский, Г. И. Штех, С. Д. Адамов, Ф. Ф. Брахфогель, Т. В. Голубева, Л. А. Зимин.

108. *Сфалерит и халькопирит из глубинного ксенолита в кимберлитах.* — «Докл. АН СССР», 1975, т. 220, № 6, с. 1402—1405. Авт.: М. Г. Добровольская, В. С. Ровша, А. И. Цепин, И. П. Илупин.

109. Тихоненкова Р. П., Нечаева Н. А., Осокин Е. Д. Петрология калиевых щелочных пород. М., «Наука», 1971.
110. Томаповская Ю. И. Геохимические особенности кимберлитов Сибирской платформы. — В кн.: Минералогия, геохимия и прогнозирование алмазных месторождений. Л., 1974, с. 32—44.
111. Уханов А. В. Никель в ультраосновных включениях из кимберлитовых трубок Северной Якутии. — «Геохимия», 1968, № 12, с. 1470—1478.
112. Уханов А. В. К геохимии хрома в верхней мантии по данным исследования ультраосновных включений в кимберлитовой трубке. — «Геохимия», 1970, № 9, с. 1053—1065.
113. Уханов А. В. Включения ультраосновных пород в кимберлитах и некоторые вопросы геохимии верхней мантии. — В кн.: «Международный геохимический конгресс. Тезисы докладов. I», М., 1971, с. 173—174.
114. Уханов А. В., Пчелинцева Н. Ф. Содержание золота в перидотитовых и эклогитовых включениях из кимберлитовой трубки «Обнаженная». — «Геохимия», 1972, № 2, с. 247.
115. Уханов А. В., Рассказова В. С. Новые данные о содержании вольфрама в ультраосновных породах. — «Геохимия», 1973, № 6, с. 925—926.
116. Францессон Е. В. О сопряженности карбонатитов и кимберлитов Сибирской платформы. — «Докл. АН СССР», 1968, т. 183, № 6, с. 1404—1405.
117. Францессон Е. В. Петрология кимберлитов. М., «Недра», 1968. 198 с.
118. Фролов А. А., Багдасаров Ю. А., Нечаева Е. А. Карбонатизированные кимберлиты и карбонатиты. — «Сов. геология», 1970, № 6, с. 72—84.
119. Харькив А. Д. Кимберлитовые жилы, сопряженные с трубками, как самостоятельная фаза кимберлитового магматизма. — «Докл. АН СССР», 1975, т. 224, № 1, с. 190—193.
120. Харькив А. Д. Минералого-геохимические особенности включений мантийных пород в кимберлитах Якутии и их связь с алмазностью. — «Геохимия», 1976, № 7, с. 983—996.
121. Хомяков А. П., Францессон Е. В. Состав апатита из карбонатитов Якутской алмазоносной провинции и распределение в нем редкоземельных элементов. — «Геология и геофизика», 1971, № 12, с. 121—125.
122. Черепанов В. А. Бор в кимберлитах и меймечитах Сибири. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 172, № 3, с. 696—699.
123. Щека С. А. Золото во включениях шпинелевых и гранатовых перидотитов в эффузивах. — В кн.: Геохимия золота. Ч. 2. Владивосток, 1974, с. 12—14.
124. Эрланк А. Связь между содержаниями калия и рубидия в земных породах. — В кн.: Распространенность элементов в земной коре. М., 1972, с. 70—88.
125. Юшко-Захарова О. Е. Платиноносность рудных месторождений. М., «Недра», 1975. 248 с.
126. Юшко-Захарова О. Е., Илупин И. П. Распространение платины и палладия в мантийных включениях из кимберлитов и некоторые вопросы глубинного фракционирования этих элементов. — «Докл. АН СССР», 1973, т. 212, № 5, с. 1213—1215.
127. A comparative trace element study of diamonds from Premier, Finisch and Jagersfontein mines, South Africa. In: Physics and

chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 817—836. Authors: H. W. Fesq, D. M. Bibby, C. S. Erasmus, E. J. D. Kable and J. P. F. Sellschop.

128. Ahrens L. H., Cherry R. D., Erlank A. J. Observations on the Th-U relationship in zircons from granitic rocks and from kimberlites. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1967, v. 31, p. 2379.

129. Allsopp H. L., Nicolaysen L. O., Hahn-Weinheimer P. Rb/K ratios and Sr-isotopic compositions of minerals in eclogitic and peridotitic rocks. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1968, v. 5, N 4, p. 231—244.

130. Barrett D. R., Berg G. W. Complementary petrographic and strontium-isotope ratio studies of South African kimberlite. In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 619—635.

131. Bishop F. C., Smith J. V., Dawson J. B. Pentlandite-magnetite intergrowth in De Beers spinel lherzolite: review of sulphides in nodules. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 323—337.

132. Brookins D. G. The kimberlites of Riley County, Kansas. — „State geological survey of Kansas bulletin“, 200, 1970, 32 p.

133. Brookins D. G., McDermott V. J. The mineralogy of the Randolph kimberlites Riley County, Kansas. — „Trans. Kans. Acad. Sci.“, 1970, v. 73, N 1, p. 31—39.

134. Chemical variation among French ultramafic xenoliths — evidence for a heterogeneous upper mantle. — „Mineralogical Magazine“, 1975, v. 40, N 310, p. 153—170. Auth.: R. Hutchison, A. L. Chambers, D. K. Paul, P. G. Harris.

135. Chen Ju-chin. Vanadium, nickel and cobalt variations in eclogites from Roberts Victor mine, South Africa. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1971, v. 35, N 8, p. 839—844.

136. Chen Ju-chin. Petrology and chemistry of garnet lherzolite nodules in kimberlite from South Africa. — „Amer. Miner.“, 1971, v. 56, N 11—12, p. 2098—2110.

137. Clarke D. B., Mitchell R. H. Mineralogy and petrology of the kimberlite from Somerset Island, N. W. T., Canada. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 123—135.

138. Clement C. R. The emplacement of some diatreme-facies kimberlites. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a. 1975, p. 51—59.

139. Craig H. The geochemistry of stable carbon isotopes. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1953, v. 3, N 2—3, p. 53—92.

140. Dawson J. B. Basutoland kimberlites. — „The Geological Society of America Bulletin“, 1962, v. 73, N 5, p. 545—560.

141. Dawson J. B. Advances in kimberlite geology. — „Earth-Sci. Rev.“, 1971, v. 7, N 4, p. 187—214.

142. Dawson J. B. Kimberlites and their relation to the mantle. — „Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.“, 1972, v. A271, N 1213, p. 297—311.

143. Dawson J. B., Hawthorne J. B. Intrusion features of some hypabyssal South African kimberlites. — „Bull. volcan.“, 1970 (1971), v. 34, N 3, p. 740—757.

144. Dawson J. B., Smith J. V. Chemistry and origin of phlogopite megacrysts in kimberlite. — „Nature“, 1975, v. 253, N 5490, p. 336—338.

145. Dawson J. B., Hawthorne J. B. Magmatic sedimentation and carbonatitic differentiation in kimberlite sills at Benfontein, South Africa. — „J. Geol. Soc.“, 1973, v. 129, N 1, p. 61—85.

146. *Deines P., Gold D. P.* The isotopic composition of carbonate and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1973, v. 37, N 7, p. 1709—1733.
147. *Ehman W. D., Baedeker P. A., McKown D. M.* Gold and iridium in meteorites and some selected rocks. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1970, v. 34, N 4, p. 493—507.
148. *Emeleus C. H., Andrews J. R.* Mineralogy and petrology of kimberlite dyke and sheet intrusions and included peridotite xenoliths from South—West Greenland. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 179—197.
149. *Fairbairn P. E., Robertson R. H. S.* Stages in the tropical weathering of kimberlite. — „Clay Minerals“, 1966, v. 6, N 4, p. 351—370.
150. *Fesq H. W., Kable E. J. D., Gurney J. J.* Aspects of the geochemistry of kimberlites from the Premier mine, and other selected South African occurrences with particular reference to the rare earth elements. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 687—707.
151. *Fisher D. E., Joensuu O., Boström K.* Elemental abundances in ultramafic rocks and their relation to the upper mantle. — „Journal of Geophysical Research“, 1969, v. 74, N 15, p. 3865—3873.
152. *Frey F. A., Haskin L. A., Haskin M. A.* Rare-earth abundances in some ultramafic rocks. — „Journ. Geophys. Res.“, 1971, v. 76, N 8, p. 2057—2070.
153. *Gangadharam E. V., Aswathanarayana V.* Trace element content of kimberlites of South India. — „Trans. Amer. Geophys. Union“, 1969, v. 50, N 4, p. 341.
154. *Gittins J., Hewins R. H., Laurin A. F.* Kimberlitic-carbonatic dikes of the Saguenay River Valley, Quebec, Canada. — In: Physics and chemistry of the Earth, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 137—148.
155. *Gold D. P.* Average chemical composition of carbonatites. — „Econ. Geol.“, 1963, v. 58, N 6.
156. *Grantham D. R., Allen J. B.* Kimberlite in Sierra-Leone. — „Overseas geol. and mineral resources“, 1960, v. 8, N 1.
157. *Griffin W. L., Rama Murthy V.* Abundances of K, Rb, Sr and Ba in some ultramafic rocks and minerals. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1968, v. 4, N 6, p. 497—501.
158. *Gurney J. J., Ahrens L. H.* The zinc content of some ultramafic and basic rocks. — „Trans. Geol. Soc. South Africa“, 1973, v. 76, N 3, p. 301—307.
159. *Gurney J. J., Berg G. W., Ahrens L. H.* Observations on caesium enrichment and the potassium/rubidium/caesium relationship in eclogites from the Roberts Victor mine, South Africa. — „Nature“, 1966, v. 210, N 5040, p. 1025—1027.
160. *Gurney J. J., Hobbs J. B. M.* Potassium, thorium and uranium in some kimberlites from South Africa. — Int. Conf. on Kimberlites. Ext. Abstracts, 1973, p. 143—145.
161. *Harris P. G., Middlemost E. A. K.* The evolution of kimberlites. „Lithos“, 1970, v. 3, N 1, p. 77—88.
162. *Heier K. S. U.* Th, K in the eclogite rocks. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1963, v. 27, N 8, p. 684—691.
163. *Heier K. S., Compston W.* K/Rb ratios of eclogites. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1966, v. 1, N 5, p. 293—294.

164. *Heier K. S., Carter J. L.* Uranium, thorium and potassium contents in basic rocks and their bearing on the nature of the upper mantle. — *The National Radiation Environment*. Chicago, Univ. Press, 1964, p. 63—85.

165. *Inclusions in diamonds: garnet lherzolite and eclogite assemblages.* — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a. 1975, p. 797—815. Auth.: M. Prinz, D. V. Manson, P. F. Hlava, K. Keil.

166. *Janse A. J. A.* Kimberlite and related rocks from the Nama Plateau of South-West Africa. — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 81—94.

167. *Kable E. J. D., Fesq H. W., Gurney J. J.* The significance of the inter-element relationships of some minor and trace elements in South African kimberlites. — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 709—734.

168. *Kresten P.* Kimberlitic zircons. — *Int. Conf. on Kimberlites*. Ext. Abstracts, Cape Town, 1973, p. 191—194.

169. *Kresten P.* Uranium in Kimberlites and rocks, with the special reference to Lesotho occurrences. — „*Lithos*“, 1974, v. 7, N 3.

170. *Kresten P., Fels P., Berggren G.* Kimberlitic zircons — a possible aid in prospecting for kimberlites. — „*Mineralium Deposita*“, 1975, v. 10, N 1, p. 47—56.

171. *Lee H. A., Lawrence D. E.* A new occurrence of kimberlite in Gauthier Township, Ontario. — „*Geological Survey of Canada paper*“, 1968, N 68—22, 16 p.

172. *Lesotho kimberlites.* Edited by P. H. Nixon. Lesotho National Development Corporation, Maseru, 1973.

173. *McCallum M. E., Egger D. H.* Mineralogy of the Sloan diatreme, a kimberlite pipe in Northern Larimer County, Colorado. — „*Amer. Miner.*“, 1971, v. 56, N 9—10, p. 1735—1749.

174. *McGetchin T. R., Silver L. T.* Compositional relations in minerals from kimberlite and related rocks in the Moses Rock dike, San Juan County, Utah. — „*Amer. Miner.*“, 1970, v. 55, N 9—10, p. 1738—1771.

175. *Manton W. I., Tatsumoto M.* Some Pb and Sr isotopic measurements on eclogites from the Roberts Victor mine, South Africa. — „*Earth and Planet. Sci. Lett.*“, 1971, v. 10, N 2, p. 217—226.

176. *Meyer H. O. A.* Kimberlites of the continental United States. a review. — „*Journal of Geology*“, 1976, v. 84, N 4, p. 377—403.

177. *Mitchell R. H.* Kimberlite and related rocks — a critical reappraisal. — „*Journal of Geology*“, 1970, v. 78, N 6, p. 686—704.

178. *Mitchell R. H.* Composition of perovskite in kimberlite. — „*Amer. Miner.*“, 1972, v. 57, N 11—12, p. 1748—1753.

179. *Mitchell R. H.* Magnesian ilmenite and its role in kimberlite petrogenesis. — „*Journal of Geology*“, 1973, v. 81, N 3, p. 301—311.

180. *Mitchell R. H.* Theoretical aspects of gaseous and isotopic equilibria in the system C—H—O—S with application to kimberlite. In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a. 1975, p. 903—915.

181. *Mitchell R. H., Brunfelt A. O.* Rare earth element geochemistry of kimberlite. In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 671—686.

182. *Mitchell R. H., Carswell D. A.* Lanthanum, samarium and ytterbium abundances in some Southern African garnet herzolites. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1976, v. 31, N 1, p. 175—178.
183. *Mitchell R. H., Crocket J. H.* The isotopic composition of strontium in some South African kimberlites. — „Contrib. Mineral. and Petrol.“, 1971, v. 30, N 4, p. 277—290.
184. *Morgan J. W., Lovering J. F.* Uranium and thorium in some basic and ultrabasic rocks of possible deep-seated origin. — „Activation Analysis in Geochemistry and Cosmochemistry“. Oslo, 1971, p. 445—454.
185. *Norman J. C., Haskin L. A.* The geochemistry of Sc: A comparison to the rare earths and Fe. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1968, v. 32, N 1, p. 93—108.
186. *Nixon P. H.* Kimberlitic volcanoes in East Africa. — *Overseas Geology and Mineral Resources*. 1973, N 41, p. 119—138.
187. *Paul D. K., Buckley F., Nixon P. H.* Fluorine and chlorine geochemistry of kimberlites. — „Chemical Geology“, 1976, v. 17, N 2, p. 125—133.
188. *Paul D. K., Hutchison R.* Potassium and rubidium in ultramafic xenoliths. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1970, v. 34, N 11, p. 1249—1250.
189. *Paul D. K., Potts P. J.* Rare-earth abundances in kimberlites from Greenland and Zambia. — „Chemical Geology“, 1976, v. 18, p. 161—167.
190. *Paul D. K., Rex D. C., Harris P. G.* Chemical characteristics and K-Ar ages of Indian kimberlite. — „Geological Society of America Bulletin“, 1975, v. 86, N 3, p. 364—366.
191. *Philpotts J. A., Schnetzler C. C., Thomas H. H.* Petrogenetic implications of some new geochemical data on eclogitic and ultrabasic inclusions. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1972, v. 36, N 10, p. 1131—1166.
192. *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., Pergamon Press, 1975.
193. *Rare-earth abundances in Indian kimberlite*. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1975, v. 25, N 2, p. 151—158, Auth.: D. K. Paul, P. J. Potts, J. L. Gibson, P. G. Harris.
194. *Rhodes J. M., Dawson J. B.* Major and trace element chemistry of peridotite inclusions from the Lashaine volcano, Tanzania. — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 545—557.
195. *Rickwood P. C.* Possible evidence for regional chemical heterogeneity of the upper mantle. — „Contrib. Mineral. and Petrol.“, 1969, v. 24, N 4, p. 354—358.
196. *Ruotsala A. P.* Alteration of the Finnish kimberlite pipe, South Africa. — „Economic Geology“, 1975, v. 70, N 3, p. 587—590.
197. *Sheppard S. M. F., Dawson J. B.* Hydrogen, carbon and oxygen isotope studies of megacryst and matrix minerals from Lesithan and South African kimberlites. — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 747—763.
198. *Shimizu N.* Geochemistry of ultramafic inclusions from Salt Lake Crater, Hawaii, and from Southern African Kimberlites. — In: *Physics and chemistry of the Earth*, v. 9, Oxford e. a., 1975, p. 655—669.

199. Shimizu N. Rare earth elements in garnets and clinopyroxenes from garnet lherzolite nodules in kimberlites. — „Earth and Planet. Sci. Lett.“, 1975, v. 25, N 1, p. 26—32.
200. Stueber A. M., Goles G. G. Abundances of Na, Mn, Cr, Sc and Co in ultramafic rocks. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1967, v. 31, N 1, p. 75—93.
201. Stueber A. M., Huang W. H., Johns W. D. Chlorine and fluorine abundances in ultramafic rocks. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1968, v. 32, N 3, p. 353—358.
202. Stueber A. M., Murthy V. R. Potassium: rubidium ratio in ultramafic rocks: differentiation history of the upper mantle. — „Science“, 1966, v. 153, N3737, p. 740—741.
203. Stueber A. M., Nurthy V. R. Strontium isotope and alkali element abundances in ultramafic rocks. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1966, v. 30, N 12, p. 1243—1259.
204. The scandium geochemistry of deep-seated nodules from the Stockdale kimberlite pipe, Riley County, Kansas. — „Trans. Kans. Acad. Sci.“, 1970, v. 73, N 4, p. 486—490. Auth.: M. J. Woods, P. F. Ervin, D. G. Brookins, N. D. Eckhoff.
205. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. — „Geological Society of America Bulletin“, 1961, v. 72, N 2, p. 175—192.
206. Uranium, thorium and potassium contents of possible mantle materials. — „Geochemical Journal“, 1967, v. 1, N 4, p. 183—198. Auth.: H. Wakita, H. Nagasawa, S. Uyeda, H. Kuno.
207. Wedepohl K. H. The geochemistry of zinc. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1953, v. 3, p. 93—142.
208. Wickman F. E. The cycle of carbon and the stable carbon isotopes. — „Geochim. et Cosmochim. Acta“, 1956, v. 9, N 3, p. 136—153.

	Стр.
Введение	3
Глава I. Общие сведения о кимберлитах. <i>Е. В. Францесон</i>	7
Характеристика и классификация кимберлитов	7
Форма и размеры кимберлитовых тел	10
Районирование проявлений кимберлитового вулканизма	12
Закономерности размещения кимберлитов	14
Эпохи кимберлитообразования	14
Глава II. Петрогенные элементы кимберлитовых пород.	
<i>И. П. Илупин</i>	17
Аналитические данные и методика их обработки	17
Сводка результатов химического анализа	20
О влиянии вторичных изменений на состав кимберлитов	67
Показательные элементы и показательные отношения	67
Вариации химического состава в пределах кимберлитовых трубок, полей, провинций	73
Состав глубинных включений и некоторых минералов	86
Глава III. Микроэлементы кимберлитовых пород и глупинных включений. <i>И. П. Илупин, Ф. В. Каминский, Е. В. Францесон</i>	88
Редкие щелочи (литий, рубидий, цезий)	88
Бериллий	111
Стронций и барий	112
Бор	124
Редкоземельные элементы и иттрий	130
Торий и уран	161
Группа железа	182
Скандий	207
Цирконий и гафний, ниобий и тантал	215
Молибден	236
Вольфрам	237
Рений	238
Металлы группы платины	238
Медь, золото и серебро	251

Цинк, свинец и олово	265
Ртуть	274
Галлий	280
Германий	283
Фосфор	285
Висмут	291
Сера, селен	293
Фтор и хлор	298
Газовые компоненты	303
Изотопный состав углерода	308
Глава IV. Геохимические особенности кимберлитов.	
<i>Е. В. Францесон</i>	313
Список литературы	339

ИБ № 1390

**Иосиф Петрович Илупин,
Феликс Витольдович Каминский,
Елена Владимировна Францесон**

ГЕОХИМИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Редактор издательства *В. И. Макеев*
 Переплет художника *Ф. Н. Буданова*
 Художественный редактор *В. В. Евдокимов*
 Технические редакторы *Т. Г. Сивова, А. Е. Матвеева*
 Корректор *Э. Г. Агеева*

Сдано в набор 16.12.77.	Подписано в печать 02.08.78.	T-09890
Формат 84×108 ^{1/32}	Бумага № 2	Гарнитура литерат.
Печ. л. 11,0	Усл. п. л. 18,48.	Печать высокая.
Заказ 46/6550—1		Тираж 1000 экз.
		Цена 3 р. 10 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд 1/19
 Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

Зр.10к.

18418

НЕДРА