

УДК 552.323.6(552.22,552.23)

УТОЧНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ДИАГНОСТИКИ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТИИ: ПЕТРОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ

© 2004 г. Ю. Ю. Голубева, А. И. Цепин

Представлено академиком В.И. Коваленко 03.03.2004 г.

Поступило 11.03.2004 г.

В публикациях последних лет, посвященных Якутской алмазодобывающей провинции, кроме кимберлитов упоминалось присутствие лампроитов [1], кимберлитов группы II [2] и маджганитов [3]. Классификация, разделяющая кимберлиты на группы I и II, была основана на изотопно-геохимических отличиях [4]. Позднее Р.Г. Митчелл [5] предложил сохранить термин “кимберлит” только применительно к кимберлитам группы I, а кимберлиты группы II выделить под названием “оранжиты” в качестве самостоятельного петрологического клана (серии), отличающегося от кимберлитов не только изотопно-геохимическими свойствами, но и специфическими петрографическими и минералогическими характеристиками. Проведенные нами исследования (55 образцов из 38 объектов, частично охарактеризованных в публикациях [6, 7]) показали, что по изотопным характеристикам все изученные образцы принадлежат кимберлитам группы I по [4] или кимберлитам по [5]. В то же время среди изученной выборки встречаются породы, обладающие некоторыми петрогеохимическими особенностями состава, сближающими их с оранжитами или лампроитами, согласно [4, 5] (рис. 1, 2). К ним относятся: а) некоторые образцы пород Накынского поля (трубки Ботуобинская и Нюрбинская), находящиеся на рис. 1 в поле оранжитов; б) серия высокотитанистых пород Огонер-Юряхского (трубка Аэрогеологическая, дайки Аномалия (далее Ан.) 1, 5, 12) и Лучаканского (трубка Лыхчан) полей, приближающихся согласно [3] к высокотитанистым кимберлитам трубки Маджган (Индия); в) образец из дайки Ан. 12 из Огонер-Юряхского поля, который (рис. 2) попадает в поле оливиновых лампроитов. Кроме того, высокие содержания TiO_2 и K_2O в щелочно-ультраосновных породах из трубок Лыхчан, даек Ан. 12 и 5 позволяют согласно В.Р. Тейлору [8] отнести их к оливиновым лампроитам.

С целью уточнения номенклатуры изученных щелочно-ультраосновных пород дополнительно использованы минералогические критерии. Согласно [5] это слюды и перовскиты. Были сопоставлены химические составы слюд из типичных кимберлитов (трубка Удачная Далдынского поля по данным [5], трубка Малокуонамская Куранахского поля, трубка Небайбыт Среднекуонамского поля и трубки Базовая-2 и Биллях-4 Харамайского поля) со слюдами из перечисленных выше объектов, имеющих сходство с оранжитами и

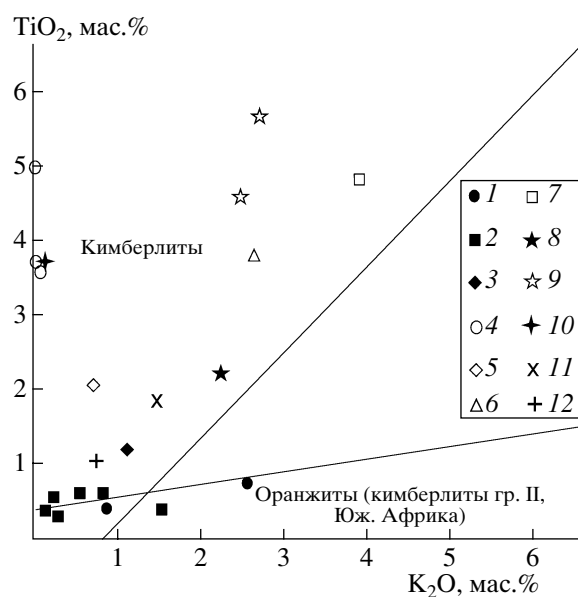


Рис. 1. Вариации TiO_2 и K_2O в кимберлитах Якутии (границы полей по [4, 5]).

Здесь и на рис. 2, 3, 4 – поля кимберлитов палеозойского возраста: юг – Накынное поле (трубка Нюрбинская (1), трубка Ботуобинская (2), Далдынное поле (трубка Удачная (3) (по [5])); северо-восток – Огонер-Юряхское: трубка Аэрогеологическая (4), дайка Ан. 1 (5), дайка Ан. 5 (6), дайка Ан. 12 (7). Поля кимберлитов мезозойского возраста: северо-запад – Куранахское поле: трубка Малокуонамская (8), Лучаканское поле: трубка Лыхчан (9), Средне-Куонамское поле: трубка Небайбыт (10), запад – Харамайское поле: трубка Базовая-2 (11); трубка Биллях-4 (12).

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

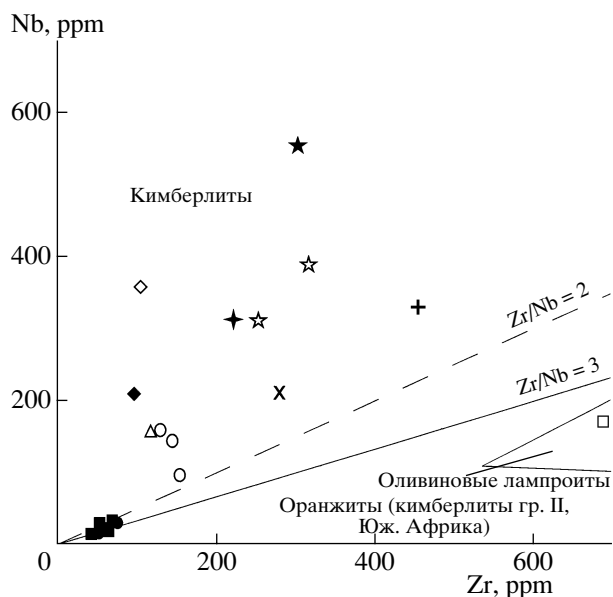


Рис. 2. Соотношение Zr–Nb в кимберлитах Якутии (штриховая линия по [4]; сплошная линия и поле оливиновых лампроитов Австралии по [5]).

лампроитами по некоторым особенностям петрохимии пород.

Химический анализ слюды и перовскитов определяли на микронзонде Camebax SX-50 в институте

Гинцветмет. Всего было получено 70 анализов слюды (наиболее представительные анализы представлены в табл. 1, а более полная выборка – на рис. 3, 4) и 10 анализов перовскитов (табл. 2).

Слюды. Согласно Р.Г. Митчеллу [5] по типоморфным особенностям, отражающим разные этапы кристаллизации, изученные слюды были разделены на 3 группы (см. табл. 1): макрокристы (>0.5 мм), микрофенокристы (0.01–0.3 мм) и слюда основной массы (0.02–0.1 мм). Все изученные слюды относятся к флогопиту, за исключением слюд из дайки Ан. 5, где тетраферрифлогопит образует каймы вокруг зерен флогопита (см. табл. 1, ан. 14, 15, рис. 3). Тетраферрифлогопит обнаружен также в дайке Ан. 1, но достоверно установить химический состав кайм не удалось.

Макрокристы флогопита изучены в породах дайки Ан. 5 и в типичных кимберлитах трубки Небайбыт, где они слагают порфиоровые, иногда до 1 мм, удлиненные вкрапленники с множеством включений рудных минералов и минералов основной массы породы. Характерной чертой этих макрокристов является ярко выраженная зональность. В породах дайки Ан. 5 ядро флогопита окружено каймой из тетраферрифлогопита (см. табл. 1, рис. 3). Макрокристы флогопита из трубки Небайбыт характеризуются повышением содержания Al_2O_3 , MgO , K_2O и BaO и понижением $FeO_{общ.}$ от центра к краю (см. табл. 1, ан. 26, 27).

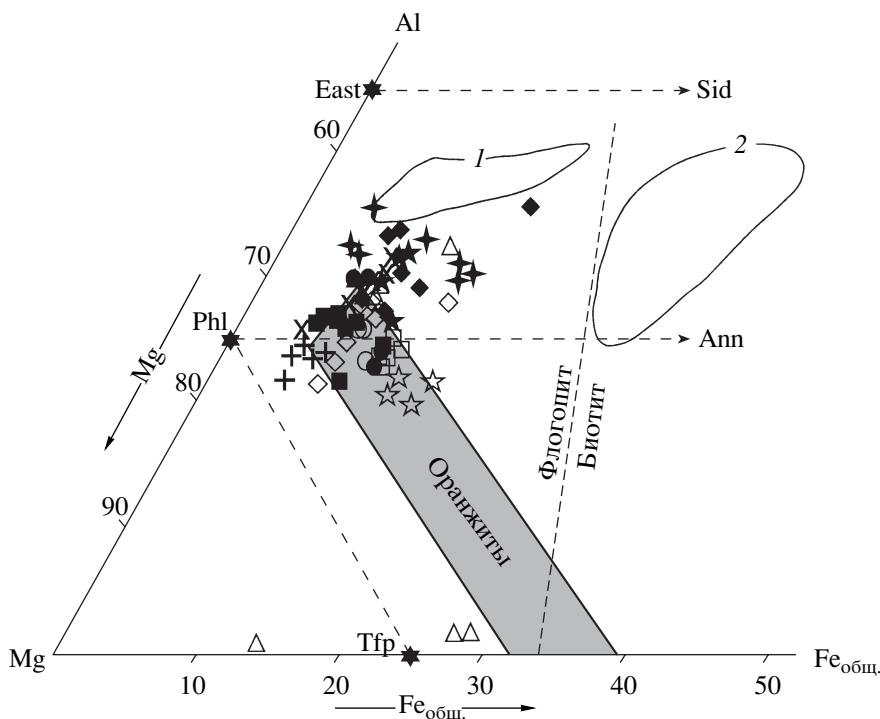


Рис. 3. Диаграмма Al–Mg– $Fe_{общ.}$ для слюды из кимберлитов Якутии (составы слюды пересчитаны на 22 атома кислорода). Поля по [5]: 1 – микроксенолиты; 2 – макрокристы. East – истонит, Sid – сидерофиллит, Phl – флогопит, Ann – аннит, Tfp – тетраферрифлогопит.

Таблица 1. Химические составы слюд (мас. %) из кимберлитов Якутии

№ анализа	Зерно		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	NiO	Сумма
Трубка Нюрбинская														
1	Микрофено-крист	центр	39.26	2.02	14.23	1.28	3.97	0.00	23.30	0.63	9.30	0.12	0.03	94.14
2		край	39.18	2.25	14.12	1.04	4.31	0.04	23.06	0.56	9.37	0.21	0.08	94.22
3	Основная масса		39.01	1.74	11.49	0.76	7.31	0.05	23.80	0.36	7.93	0.08	0.00	92.53
4			39.89	1.80	10.31	0.24	8.00	0.06	22.79	0.48	8.46	0.11	0.07	92.21
Трубка Ботуобинская														
5	Микрофено-крист	центр	39.98	1.78	11.82	0.11	5.25	0.09	23.14	0.55	9.13	0.05	0.08	91.98
6		край	41.34	1.70	12.06	0.19	4.56	0.05	23.97	0.62	9.43	0.03	0.05	94.00
7	Основная масса		36.11	1.66	12.24	0.83	7.70	0.05	25.37	0.13	6.42	0.19	0.06	90.76
8			38.19	1.54	10.09	0.73	6.16	0.03	25.31	0.33	6.78	0.00	0.16	89.32
Трубка Аэрогеологическая														
9	Микрофено-крист	центр	41.87	1.60	11.56	0.13	5.56	0.02	22.94	0.17	10.07	0.04	0.07	94.03
10		край	41.83	1.54	11.65	0.08	5.41	0.00	23.20	0.22	9.93	0.00	0.09	93.95
11	Основная масса		42.05	0.79	10.61	0.09	6.58	0.07	23.70	0.08	9.92	0.05	0.06	94.00
Дайка Ан. 1														
12	Микрофенокристы		38.13	1.55	13.70	0.06	9.46	0.13	22.35	0.15	9.89	0.32	0.05	95.79
13			38.97	1.33	11.79	0.03	5.49	0.07	25.00	0.23	8.21	0.38	0.02	91.52
Дайка Ан. 5														
14	Тетраферрифлогопит		41.23	0.92	0.70	0.06	17.05	0.16	23.37	0.15	9.48	0.03	0.00	93.15
15			41.52	0.66	0.66	0.05	16.26	0.22	23.51	0.15	9.37	0.00	0.04	92.44
16	Макрокрист		39.26	0.99	14.78	0.00	4.37	0.06	24.69	0.13	9.69	0.42	0.00	94.39
Дайка Ан. 12														
17	Микрофено-крист	центр	40.56	1.91	10.73	0.05	7.49	0.07	22.93	0.22	9.80	0.46	0.08	94.30
18		край	42.42	2.00	11.39	0.05	7.32	0.01	24.32	0.22	9.77	0.51	0.09	98.10
19	Микрофено-крист	центр	39.36	2.30	10.95	0.00	7.34	0.08	22.76	0.20	9.70	0.80	0.02	93.51
20		край	40.48	2.40	11.56	0.00	7.30	0.06	22.83	0.20	9.61	0.84	0.00	95.28
Трубка Малокуонамская														
21	Микрофенокристы		36.90	3.26	14.25	0.47	5.45	0.06	20.70	0.21	9.63	0.33	0.05	91.31
22			37.76	2.81	13.89	0.42	5.40	0.06	22.31	0.09	9.22	0.95	0.00	92.91
23			37.64	3.39	14.01	0.42	5.41	0.03	20.71	0.22	9.37	0.42	0.06	91.68
Трубка Лыхчан														
24	Микрофено-крист	центр	40.89	3.10	8.89	0.13	8.11	0.04	22.08	0.26	9.75	0.55	0.00	93.80
25		край	42.15	2.16	8.85	0.00	9.56	0.13	22.38	0.21	9.80	0.19	0.03	95.46
Трубка Небайбыт														
26	Макрокрист	центр	37.74	4.27	12.84	0.03	8.33	0.07	19.05	0.08	9.51	0.18	0.06	92.16
27		край	37.75	1.29	15.34	0.02	3.22	0.04	23.11	0.06	9.85	1.39	0.00	92.07
28	Макрокрист		38.05	1.37	15.05	0.03	3.73	0.02	23.05	0.03	9.48	1.38	0.00	92.19
Трубка Базовая-2														
29	Микрофено-крист	центр	40.13	4.19	12.46	1.53	4.45	0.03	20.99	0.21	9.77	0.10	0.22	94.08
30		край	38.44	3.56	13.20	0.93	4.97	0.03	21.24	0.10	10.16	0.32	0.07	93.02
31	Микрофено-крист	центр	42.18	0.12	11.69	0.34	2.86	0.02	24.90	0.90	8.88	0.26	0.15	92.30
32		край	38.35	3.14	14.34	0.58	5.07	0.05	21.81	0.09	9.38	0.90	0.05	93.76
Трубка Биллях-4														
33	Микрофено-крист	центр	41.48	0.39	10.70	0.30	3.52	0.02	24.86	0.09	10.24	0.31	0.23	92.14
34		край	41.27	0.39	10.69	0.24	3.70	0.05	25.00	0.09	10.36	0.35	0.10	92.24
35	Микрофенокрист		42.17	0.42	10.28	0.22	4.20	0.03	24.83	0.11	10.25	0.07	0.12	92.70

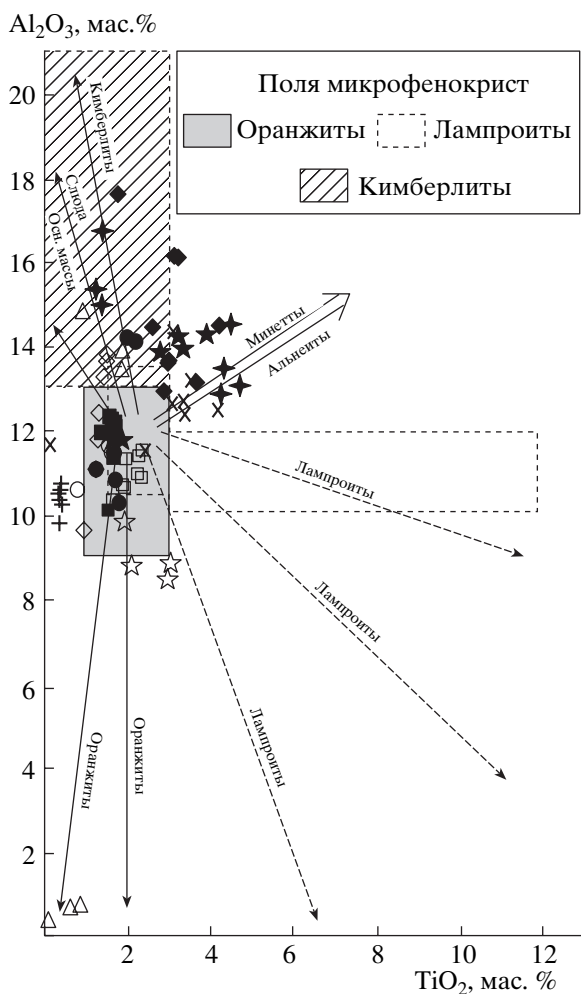


Рис. 4. Al_2O_3 – TiO_2 (мас. %) вариации составов слюд из кимберлитов Якутии (тренды эволюции составов слюд и границы полей по [5]).

Согласно Р.Г. Митчеллу [5] наличие подобных трендов – повышение содержания Al_2O_3 и BaO (тр. Небайбит) и развитие кайм тетраферрифлогопита при условии, что центр зерна обогащен Al_2O_3 , позволяет флогопиты данных пород считать типичными для кимберлитов (см. рис. 3, 4). При этом резкое изменение состава слюды от флогопита, обогащенного алюминием, до тетраферрифлогопита (дайка Ан. 5) является свидетельством внезапных изменений условий в ходе последних стадий кристаллизации. Это может быть связано с добавлением поверхностных вод к расплаву и/или с быстрой потерей CO_2 [5]. С условиями кристаллизации связывают и наличие тетраферрифлогопита во вторичных включениях расплава, законсервированных в оливине кимберлитов трубки Удачная [9]. Предполагается, что кимберлитовый расплав на поздних стадиях кристаллизации имел силикатно-карбонатный состав с высоким содержанием летучих: эволю-

ция кимберлитового расплава была направлена в сторону повышения количества CaO , Na_2O , K_2O , FeO , летучих и понижения SiO_2 , MgO , Al_2O_3 .

Микрофенокристы флогопита часто слагают гипидиоморфные вкрапленники, в большинстве которых отсутствуют включения других минералов (трубки Нюрбинская, Ботуобинская, Аэрогеологическая, Малокуонамская, Базовая-2), а если и присутствуют, то в незначительных количествах (дайки Ан. 1, 12, трубка Лыхчан). Включения представлены рудными минералами и перовскитом. Зональность в изученных микрофенокристах проявлена нечетко или отсутствует (см. табл. 1).

Флогопит основной массы слагает мелкие чешуйки и не превышает по размеру 0.1 мм. На рис. 3, 4 видно, что в поле кимберлитов согласно [5] попадают микрофенокристы флогопитов из пород трубки Нюрбинская, дайки Ан. 1, и типичных кимберлитов трубок Малокуонамская, Базовая-2. Слюды из трубок Ботуобинская, Аэрогеологическая, Лыхчан, Биллях-4, дайки Ан. 12 попадают в поле оранжеитов; в это же поле попадает слюда из основной массы пород трубок Нюрбинская, Ботуобинская и Аэрогеологическая.

Особый интерес вызывают слюды нескольких объектов. Во-первых, это кимберлиты Накынского поля (трубки Ботуобинская и Нюрбинская), которые некоторыми авторами [2] относятся к кимберлитам группы II Южной Африки. Как показали наши исследования, геохимические и изотопные характеристики кимберлитов Накынского поля сопоставимы с кимберлитами Золотицкого поля Архангельской провинции [6, 7] и кимберлитами Снэп-Лэйк (провинция Слэйв, Канада) [10]. При этом содержание Al_2O_3 в флогопитах из кимберлитов Золотицкого поля колеблется в пределах 12.5–16 мас. % [11], в флогопитах из кимберлитов Снэп-Лэйк также наблюдаются широкие вариации содержания Al_2O_3 (11.8–19.6 мас. %) [12, 13], что согласуется с полученными нами данными по кимберлитам Накынского поля (см. табл. 1). Несколько пониженное содержание BaO Н.П. Похиленко с соавторами [13] связывают со вторичными изменениями флогопита.

Микрофенокристы флогопита из трубки Биллях-4 обладают пониженным содержанием Al_2O_3 (9.79–10.70 мас. %), хотя здесь представлены как классические кимберлиты (см. рис. 3, 4). Видимо, как и в случае с кимберлитами Накынского поля, состав слюд отражает особенности расплава и условия кристаллизации кимберлитов.

Самыми необычными составами обладают слюды из щелочно-ультраосновных пород трубки Лыхчан и дайки Ан. 12. На рис. 4 анализы этих пород попадают на тренды, характерные для оранжеитов и лампроитов. На диаграмме K_2O – TiO_2 (см. рис. 1) точки химических составов данных пород также располагаются рядом, согласно [8] они по-

Таблица 2. Химический состав перовскитов (мас. %) из кимберлитов Якутии

Компонент	Трубка Аэрогеологическая					Трубка Лыхчан				
Nb ₂ O ₃	0.28	0.38	0.29	0.17	0.28	0.45	0.44	0.41	0.27	0.34
TiO ₂	56.66	57.30	56.88	56.70	56.97	56.31	56.85	56.93	56.56	56.93
Th ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
La ₂ O ₃	0.03	0.00	0.00	0.20	0.04	0.22	0.30	0.25	0.47	0.16
Ce ₂ O ₃	0.11	0.07	0.19	0.97	0.29	0.93	0.95	0.81	1.43	0.64
Pr ₂ O ₃	0.16	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.13	0.00	0.12	0.05
Nd ₂ O ₃	0.17	0.00	0.11	0.34	0.02	0.38	0.21	0.04	0.27	0.03
FeO	0.96	0.80	0.89	0.67	0.79	0.75	0.94	0.74	0.91	0.84
MnO	0.07	0.03	0.03	0.08	0.03	0.05	0.02	0.04	0.04	0.05
MgO	0.00	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02
CaO	40.34	40.27	39.60	38.78	39.95	39.04	38.53	39.01	38.05	39.02
SrO	0.33	0.00	0.30	0.24	0.18	0.61	0.31	0.00	0.03	0.27
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.29	0.30	0.27	0.49	0.33	0.44	0.45	0.46	0.46	0.45
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.05	0.16	0.11	0.19	0.10	0.20	0.20	0.20
Сумма	99.43	99.29	98.64	98.99	99.01	99.52	99.25	98.89	98.83	99.00

падают в поле оливиновых лампроитов. Слюды из трубки Лыхчан и дайки Ан. 12 отличаются высоким содержанием FeO_{общ.} (7.15–9.56 мас. %), что смещает их в сторону биотита (рис. 3). Похожим содержанием FeO_{общ.} обладает флогопит из основной массы трубки Нюрбинская. Кроме того, в флогопитах из трубки Лыхчан наряду с низкими значениями Al₂O₃ наблюдается обеднение BaO от центра к краю микрофенокристалла. Данный тренд является необычным для кимберлитов, но согласно Р.Г. Митчеллу [5] встречается в кимберлитах Намибии.

Перовскит. Всего проведено 10 анализов перовскитов (табл. 2). Содержание перовскита широко варьирует в изученных породах: от практически полного отсутствия до 50–60% в основной массе породы. Изучены породы с наиболее высоким содержанием перовскита: трубки Аэрогеологическая и Лыхчан (табл. 2). В основной массе пород данных трубок перовскит имеет идиоморфную, округлую форму, нередко с элементами огранки. В щелочно-ультраосновных породах трубки Лыхчан перовскит вместе с титаномагнетитом образует реакционные каймы вокруг зерен пикроильменита. Размер зерен перовскита из изученных пород составляет 0.07–0.12 мм.

Основным отличием перовскитов из кимберлитов от перовскитов других щелочных ультраосновных пород согласно Р.Г. Митчеллу [5] являются размеры зерен перовскитов 0.01–0.2 мм (в оранжитах <0.01 мм), низкое содержание SrO и редкоземельных элементов. Низкое содержание SrO (не больше 0.5 мас. %) и Ce₂O₃ (0.1–5.4 мас. %)

установлено также А.В. Бовкун с соавторами [14] для кимберлитов из 25 тел Якутии. Согласно [14] содержание SrO в кимберлитах трубки Базовая-2 Харамайского поля составляет 0.4–0.5 мас. %, Ce₂O₃ – 0.6–1.5 мас. %, т.е. близко к полученным нами данным.

Таким образом, состав слюд не может служить критерием классификации щелочно-ультраосновных пород и разграничения кимберлитов, оранжитов и лампроитов. Аналогичный вывод получен при изучении кимберлитов трубки Ягерсфонтейн (Южная Африка) [15]. В.Р. Тейлор и Л. Киндом [15] полагают, что сходство в минералогии между кимберлитами и оранжитами обусловлено условиями кристаллизации расплава. Согласно [13] на изменение состава слюд влияют также вторичные процессы. Единственным критерием, позволяющим разделять щелочно-ультраосновные породы на кимберлиты группы I и II (или кимберлиты и оранжиты по [5]), остается изотопно-геохимическая характеристика породы.

Авторы выражают глубокую признательность И.П. Илупину за предоставленные образцы кимберлитов Якутии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 03–05–64214), гранта Президента РФ “Ведущие научные школы” (НШ–1251.2003.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владыкин Н.В., Лелюх М.И. Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений по-

- лезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. С. 365–370.
2. *Томишин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П. и др.* // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1693–1703.
 3. *Лапин А.В., Харьков А.Д.* // Геохимия. 2003. № 11. С. 1181–1190.
 4. *Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M.W. et al.* // Trans. Geol. Soc. South. Afr. 1985. V. 88. P. 267–280.
 5. *Mitchell R.H.* Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks. N.Y.; L.: Plenum Press, 1995. 410 p.
 6. *Голубева Ю.Ю., Илупин И.П., Журавлев Д.З.* // ДАН. 2003. Т. 390. № 5. С. 668–672.
 7. *Голубева Ю.Ю., Овчинникова Г.В., Левский Л.К.* // ДАН. 2004. Т. 394. № 6. С. 796–800.
 8. *Taylor W.R., Tompkins L.A., Haggerty S.E.* // Geochim. et cosmochim. acta. 1994. V. 58. P. 4017–4037.
 9. *Головин А.В., Шарыгин В.В., Похиленко Н.П. и др.* // ДАН. 2003. Т. 388. № 3. С. 369–372.
 10. *Pokhilenko N., Agashev A., McDonald J. et al.* VIII Intern. Kimberlite Conf. Extended abstrs. Victoria, 2003.
 11. *Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др.* Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999. 560 с.
 12. *Mogg T., Kopylova M., Smith B.S., Kirkley M.* // VIII Intern. Kimberlite Conf. Extended abstrs. Victoria, 2003.
 13. *Pokhilenko N.P., McDonald J.A., Vavilov M.A. et al.* // VIII Intern. Kimberlite Conf. Extended abstrs. Victoria, 2003.
 14. *Бовкун А.В., Серов И.В., Гаранин В.К. и др.* Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. С. 197–202.
 15. *Taylor W.R., Kingdom L.* // VII Intern. Kimberlite Conf. Extended abstrs. Cape Town, 1998. P. 892–894.