

СРЕДНИЕ СОСТАВЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ВИЛЮЙСКОЙ СУБПРОВИНЦИИ ЯКУТИИ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМАЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КИМБЕРЛИТОВ

В. Б. Василенко, Н. Н. Зинчук*, Л. Г. Кузнецова, В. А. Минин, Л. Д. Холодова

Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

**АК «АЛРОСА», г. Мирный, республика Саха*

ВВЕДЕНИЕ

В практике исследования вулканических комплексов представляется очевидным, что методы их расчленения и корреляции должны базироваться на принципах и методах формационного анализа [1].

Главными признаками, определяющими формационную принадлежность вулканических массивов и комплексов, являются их состав и строение. В формационном анализе под составом магматических объектов понимается состав слагающих их пород, а под строением — способы сочетания этих пород [2].

Для некоторых видов магматических пород, в силу ряда особенностей их состава, необходимо предварительно ответить на вопрос о том, могут ли они являться объектом формационного анализа. Кимберлиты относятся именно к такому типу магматических пород. К числу признаков, отличающих кимберлиты от других магматитов, относятся низкое содержание SiO_2 , наличие значительного количества магматического кальцита и насыщенность коровыми и мантийными ксенолитами.

Содержание кремнекислоты в кимберлитах ниже нижнего предела (табл. 1) для всех видов магматических пород, включая безпироксеновый щелочной пикрит с предельным содержанием SiO_2 от 30 до 40 % [3]. Содержания $\text{SiO}_2 > 30\%$ и достигающие иногда 40-50 % и более связаны с аутометасоматическими и гипергенными процессами изменения этих пород.

Пониженное содержание SiO_2 в кимберлитах является следствием наличия в них магматического кальцита, количество которого может колебаться от

© Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г., Минин В. А., Холодова Л. Д., 2006

нескольких до 70—80 %. Этот феномен подробно исследован на примере главных алмазных месторождений Якутии [4, 5], где было показано, что в результате наличия в кимберлите магматического кальцита резко понижается вязкость этих пород на ликвидусе. В результате кимберлитовые расплавы поднимались с относительно более высокими скоростями, что способствовало большей сохранности алмазов при их транспортировке в верхние части земной коры. Отношение содержаний кальцита и оливина является одним из важнейших петрохимических факторов температурной эволюции кимберлитовых проторасплавов и их алмазоносности [6].

Наличие в кимберлитах большого количества мантийных и коровых ксенолитов смещает акцент в работах подавляющего числа исследователей именно на их изучение с игнорированием собственно кимберлитов. Наиболее отчетливо подобный подход нашел отражение в работе Л. А.Тейлора с соавторами [7]:

«Большинство алмазов добывают из кимберлитов, но это отражает только, как алмазы были транспортированы к поверхности. Мантийные породы, в которых алмазы действительно росли (перидотиты и эклогиты), большей частью были разрушены турбулентным течением флюида в кимберлитовой магме, посредством чего из них были высвобождены алмазы. Перидотиты особенно чувствительны к разрушению, поскольку они состоят из легко изменяющегося и относительно слабого оливина. Однако, эклогиты, хотя и не такие многочисленные, как перидотиты при кимберлитовом опробовании мантии, часто остаются неповрежденными, иногда встречаясь и виде алмазоносных ксенолитов. Эти ксенолиты содержат петро-

Таблица 1

Средний состав кимберлитов Вилюйской субпровинции Якутии (включены составы кимберлитов Мирнинского, Накынского, Алаakit-Мархинского, Далдынского и Верхнемунского полей)

Кол-во анализов	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ппп
7537	26.73	1.34	2.70	6.73	25.42	14.04	0.13	0.58	0.50	21.84

логическую и геохимическую информацию об условиях, в которых росли алмазы» (с. 960).

Как видно, проблема генезиса кимберлитовых проторасплавов, их составы и направления их эволюции для исследователей мантийных ксенолитов интереса не представляет. Такое отношение к кимберлитам не оправдано. Как показали исследования сопряженности между составами кимберлитов и включенными в них мантийными ксенолитами [8], ксенолиты перидотитов и включающие их кимберлиты представляют собой парагенетическую ассоциацию, в которой ксенолиты — это тугоплавкий рестит, а кимберлиты — легкоплавкая выплавка. Ксенолиты пироксенитов предпочтительно распределены в высококалийевых, а ксенолиты эклогитов — в высоконатровых составах.

ПОДГОТОВКА АНАЛИТИЧЕСКИХ НАВЕСОК

Наиболее часто встречающееся отрицание петрологической значимости химического состава кимберлитов аргументируется наличием в них большого количества ксенолитов вмещающих пород, которые смещают средние составы пород. С подобными аргументами нельзя не согласиться и потому перед анализом кимберлиты следует освободить от ксенолитов.

Проблема посторонних включений при описании валового состава кимберлитов может быть снята методами элементарной петрографии: во время подготовки аналитической навески чужеродный материал изымается из изучаемого образца.

Эта задача решается следующим образом. Фрагмент керна скважины или штуфной образец породы распиливается на ряд пластинок с таким расчетом, чтобы количество исследуемого материала для каждой пробы составляло 400-600 грамм. Толщина пластинок (рис. 1-А) зависит от прочности породы и варьирует от 5 до 12 мм. Затем пластинка помещается под бинокулярный микроскоп и каждый ксенолит обводится маркером или закрашивается (рис. 1-Б). Далее пластинка дробится и ксенолит удаляется из препарата. Связующая масса (рис. 1-В) является образцом собственно кимберлита.

При этом резонно возразить, что полностью материал ксенолитов извлечь не возможно, какие-то фрагменты мельчайших размеров непременно останутся в аналитической навеске. Однако, эти остатки существенного вклада в изменение состава аналитической навески не принесут, поскольку естественная неоднородность опробованных кимберлитов весьма высока и погрешность за счет мелких вклю-

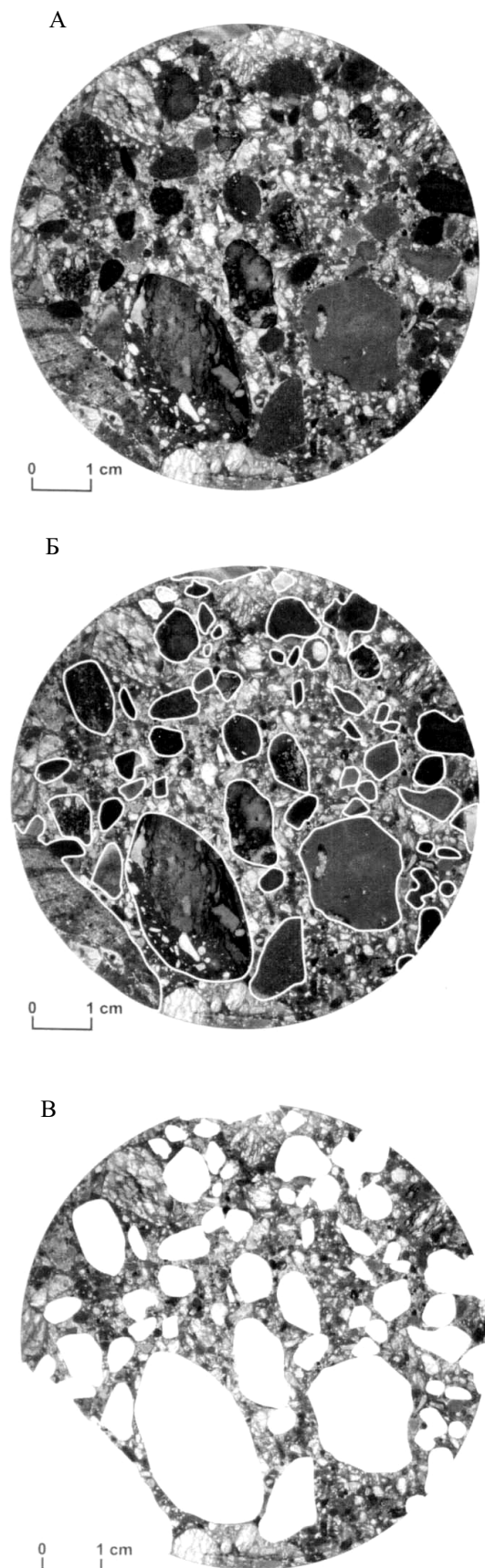


Рис. 1. Этапы освобождения кимберлита от примесных компонентов

чений даст отклонения в пределах ошибки опробования. Если влияние остаточных фрагментов окажется более значительным, то оно будет сnivelировано большим количеством отобранных образцов из исследуемого объекта. Основой для выбора такой стратегии является закон «больших чисел». Этот закон — одно из основных положений теории вероятностей, в силу которого совокупное действие большого числа случайных факторов приводит к результату, почти не зависящему от случая.

Разъясняя этот закон, Гарольд Крамер [9] в разделе «Статистическая устойчивость» отметил, что «в последовательности случайных экспериментов невозможно предсказывать индивидуальные результаты, так как в этих результатах обнаруживаются неправильные случайные комбинации, не подлежащие точному учету. Однако, так только мы перенесем свое внимание с индивидуальных экспериментов на последовательность экспериментов в целом, положение коренным образом изменится и обнаружится чрезвычайно важное явление: несмотря на неправильное поведение индивидуальных результатов, средние результаты достаточно длинной последовательности случайных экспериментов обнаруживают поразительную устойчивость» (С. 162).

Убедиться в этом возможно на материале специально спланированного эксперимента по изучению ошибок воспроизводимости метода опробования кимберлитов и подготовки аналитических навесок.

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОШИБКИ ОПРОВАНИА

Для исследования эффективности использования силикатных анализов кимберлитов в целях формационного анализа важно убедиться, что ошибки опробования не искажают (с данной веро-

ятностью) суждений о химическом составе исследуемого объекта.

Ошибки опробования являются интегральной оценкой надежности всех этапов получения знаний о содержании в породе химических элементов и включают ошибки, генерируемые неоднородностью горной породы, особенностями подготовки аналитических навесок и методом анализа содержаний химических элементов.

Нами изучены ошибки опробования кимберлитов по двум параллельным сериям опробования и петрохимического изучения 48 штучков керна кимберлитов трубки Ботуобинская. Первая серия наблюдений осуществлена в 2005 году, вторая — в 2006 году. В обоих случаях из штучков кимберлитов случайным образом формировались образцы для анализа, затем они освобождались от случайных включений и истирались. Из истертых образцов после тщательного перемешивания формировались аналитические навески. С помощью рентгенофлуоресцентного анализатора ВРА-20Р (Карл Цейс) в навесках определялись содержания порообразующих оксидов. На рисунке 2 показано почти полное совпадение эмпирических распределений частот концентраций порообразующих оксидов в одних и тех же образцах в двух проведенных сериях наблюдений.

Средние содержания и дисперсии одноименных оксидов в первой и второй сериях наблюдений значимо ($\alpha \approx 0.01$) не различаются. Об этом свидетельствуют значения критериев Стьюдента и Фишера для всех изученных оксидов (табл. 2).

Проведенный эксперимент показал, что выбранная методика петрохимического анализа пород дает устойчивые и достоверно воспроизводимые результаты.

Таблица 2

Статистические характеристики распределений оксидов в двух контрольных выборках аналитических навесок

Серия измерений	Характеристики	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
1(48)*	Среднее	30.68	0.37	3.49	5.58	26.41	12.07	1.17	0.40	19.94
	Дисперсия	12.37	0.01	0.32	0.78	9.52	7.85	0.35	0.01	11.29
	Коэф.вар.	11.5	18.5	16.3	15.9	11.7	23.2	50.9	22.0	16.9
2 (48)	Среднее	31.79	0.38	3.75	5.33	26.37	11.38	1.18	0.37	19.75
	Дисперсия	12.00	0.01	0.57	0.94	9.99	8.48	0.38	0.01	11.56
	Коэф.вар.	10.9	18.9	20.1	18.2	11.9	25.6	52.	19.9	17.2
$t(t_{01}=2.63)$		1.56	1.00	2.07	0.72	0.42	0.76	0.08	1.50	0.27
$F(F_{01}=1.99)$		1.05	1.08	1.72	1.17	1.03	1.06	1.04	1.47	1.00

* В скобках количество анализов

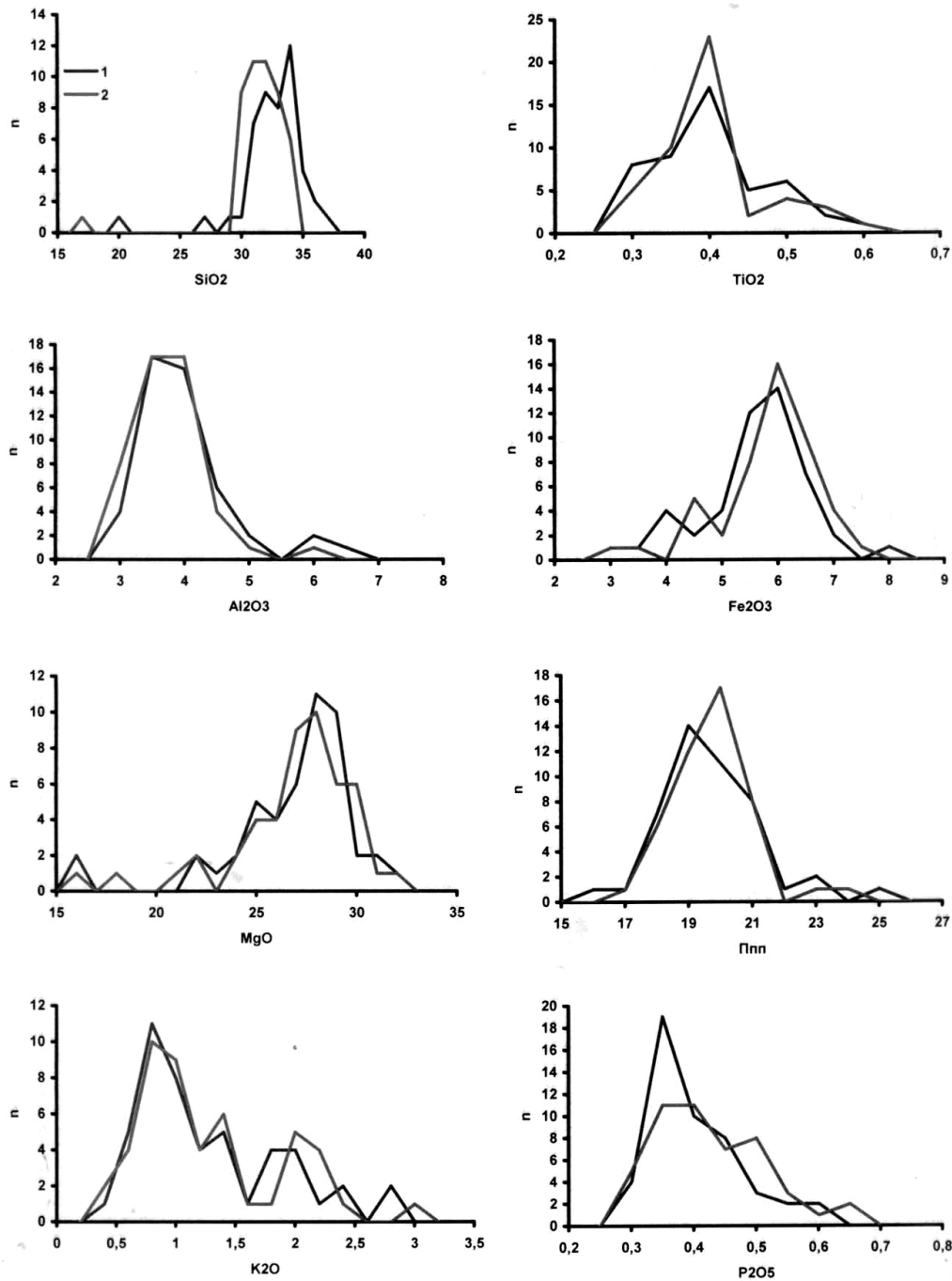


Рис. 2. Распределения породообразующих оксидов в экспериментах первой (1) и второй (2) серий

Для более уверенного использования петрохимической информации необходимо убедиться, что достигнутая точность описания составов кимберлитов достаточна для описания вариативности химического состава кимберлитов в целом по изученной части трубки Ботуобинская, которая описана 984 химическими анализами. Для этого сопоставим статистики распределений

содержаний оксидов по данным 2-й серии описания составов 48 штучков кимберлита (см. табл. 2) со статистиками квазигенеральной совокупности из 984 химических составов пород трубки Ботуобинская (табл. 3). Проведенное сравнение показало, что вариативность содержаний SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, ΣFe₂O₃, MgO, CaO, P₂O₅ и Ппп в квазигенеральной совокупности в не-

Статистические характеристики распределений оксидов в квазигенеральной совокупности и контрольной выборке аналитических навесок

Кол-во анализов	Характеристики	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
984*	Среднее	29.41	0.41	3.63	5.31	24.16	14.21	1.18	0.42	25.49
	Дисперсия	44.17	0.03	3.47	3.48	11.28	37.98	0.44	0.02	26.36
	Коэф.вар.	22.1	43.3	47.9	34.7	28.4	43.8	53.9	32.8	24.3
48**	Среднее	31.79	0.38	3.75	5.33	26.37	11.38	1.18	0.37	19.75
	Дисперсия	12.00	0.01	0.57	0.94	9.99	8.48	0.38	0.01	11.56
	Коэф.вар.	10.9	18.9	20.1	18.2	11.9	25.6	52.0	19.9	17.2
$t(t_{01}=2.58)$		3.27	4.00	1.00	0.32	5.90	5.85	0.55	7.00	2.69
$F(F_{01}=1.73)$		3.68	6.37	6.10	3.72	4.43	4.48	1.16	3.83	2.28

* анализы по трубке Ботуобинская

** вторая серия анализов при измерении ошибки опробования (см. табл. 2).

сколько раз выше, нежели в 48 исследованных штуфах. Это позволяет использовать данную методику для описания вариабильности составов кимберлитов как трубки Ботуобинская, так и более сложно построенных кимберлитовых тел.

СРЕДНИЕ СОСТАВЫ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Как это ни парадоксально, но до сих пор нет формальных сравнений составов кимберлитовых тел из одной или нескольких провинций. Поэтому нет оценок вариабильности составов в пределах отдельных кимберлитовых полей, провинций и кимберлитовых образований в целом. Причина тому видится в отсутствии достоверных данных о химическом составе пород, слагающих кимберлитовые тела. Исключением является Якутская кимберлитовая провинция. Ее исследователи постоянно уделяли внимание петрохимическому изучению кимберлитов. Часть авторов настоящей публикации, используя вышеупомянутые методы подготовки аналитических образцов и их анализы методом РФА, создали петрохимическую базу данных для алмазных месторождений Якутии [4, 5]. В последнее время база данных химических анализов кимберлитов пополнялась постоянно и к настоящему времени составляет более 5 000 силикатных анализов кимберлитов, очищенных от включений. Наличие такого большого количества аналитических данных позволяет нам надежно оценить средние составы большинства из 93 исследованных тел кимберлитов Вилюйской субпровинции (рис. 2, табл. 4) и уста-

новить их относительное изменение путем вычисления коэффициентов вариаций средних содержаний для каждого из оксидов следующим образом:

$$v_{\bar{x}_i} = \frac{s_{\bar{x}_i}}{\hat{x}_i} \cdot 100,$$

где $v_{\bar{x}_i}$ — коэффициент вариации средних содержаний i -того оксида; $s_{\bar{x}_i}$ — стандартное отклонение содержаний i -того оксида; \hat{x}_i — среднее содержание i -того оксида в исследованной совокупности 93 кимберлитовых тел.

Для сопоставления относительной вариабильности оксидов в исследованной кимберлитовой ассоциации с аналогичными показателями других мантийных формаций нами вычислены статистики распределений оксидов в других магматических формациях с использованием средних составов массивов и комплексов, входящих в состав данной формации (табл. 5). Вычисления проведены с использованием уникальной сводки о средних составах массивов и комплексов, входящих в состав наиболее распространенных магматических формаций, содержащейся в монографии Д. М. Орлова с соавторами [2].

ФОРМАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КИМБЕРЛИТОВ

Прежде всего, убедимся, что по относительному разбросу средних содержаний оксидов в отдельных кимберлитовых телах исследуемая кимберлитовая ассоциация соответствует аналогичным показателям наиболее распространенных магматических формаций. Для этого построим распределение значений формационных коэффициентов вариации для каж-

Таблица 4

Средние составы кимберлитовых тел Вилюйской субпровинции Якутии

Поле, грубка	Кол-во ан-зов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
Накынское поле:											
Ботуобинская	984	29.41	0.41	3.63	5.31	24.16	14.21	0.01	1.18	0.42	25.49
Нюрбинская	505	27.68	0.44	3.64	5.53	23.57	14.76	0.01	0.94	0.50	22.97
Мирнинское поле:											
Интернациональная	100	28.92	0.49	2.25	6.10	28.82	9.07	1.08	0.76	0.46	22.02
Мир	631	1.42	1.42	2.43	8.35	28.02	8.56	0.25	0.71	0.36	23.98
Алакит-Мархинское поле:											
Коллективная	6	23.09	0.24	1.33	5.00	20.43	22.80	0.05	0.16	0.42	24.64
Алакитская	15	14.81	0.25	3.29	2.04	14.10	27.06	0.02	1.72	0.42	36.91
Айхал	326	22.64	0.43	2.40	4.28	23.44	17.53	0.17	0.85	0.65	27.41
Салот	13	19.23	0.59	2.86	3.58	12.34	29.13	0.05	0.78	0.52	30.49
Геохимическая	16	24.34	0.76	3.48	5.19	18.01	20.90	0.01	1.02	0.41	25.49
Светлая	6	21.52	0.89	2.53	5.37	20.28	21.49	0.07	0.30	0.48	25.38
Октябрьская	9	24.94	1.00	2.78	7.04	22.31	18.20	0.08	0.23	0.39	21.18
Юбилейная	888	28.55	1.01	1.89	7.08	28.85	11.12	0.11	0.32	0.39	21.26
Краснопресненская	193	29.02	1.02	3.07	6.70	26.41	13.03	0.09	0.39	0.42	16.60
Кисмет	8	14.46	1.02	3.22	3.67	7.51	34.18	0.18	0.89	0.59	32.13
Отторженец	7	18.37	1.03	1.82	6.06	11.91	29.04	0.18	0.22	0.41	24.57
Веселая	6	20.29	1.04	2.84	7.75	23.39	18.70	0.16	0.17	0.65	23.58
Победа	5	25.89	1.05	2.73	6.64	23.41	15.78	0.10	0.31	0.52	19.77
Одинцова	9	24.11	1.08	2.15	5.76	23.46	18.77	0.00	0.41	0.63	23.64
Магистральная	18	25.53	1.08	3.13	5.78	21.68	17.08	0.08	0.66	0.57	22.61
Макагойская	10	33.32	1.12	3.36	5.99	31.00	7.31	0.31	0.18	0.60	16.14
Начальная	7	23.50	1.16	2.38	4.28	17.27	24.71	0.07	0.89	0.74	24.58
Файнштейн	27	26.82	1.17	2.18	6.03	25.10	15.59	0.01	0.50	0.38	22.41
Искорка	5	13.33	1.20	3.23	4.76	5.56	36.88	0.21	1.42	0.51	32.09
Маркока	1	19.08	1.26	2.92	6.96	24.38	16.74	0.23	0.08	0.30	25.71
Смежная	4	22.23	1.26	1.93	4.27	17.91	23.73	0.27	0.45	0.76	24.34
Снежинка	54	29.08	1.26	2.94	6.57	27.30	12.61	0.13	0.54	0.45	18.52
Юность	8	24.11	1.31	1.92	7.21	17.75	20.90	0.14	0.29	0.50	18.89
Заря	6	27.57	1.38	2.27	7.50	24.60	14.65	0.10	0.12	0.32	10.87
Москвичка	15	21.03	1.37	2.52	5.48	20.24	20.08	0.15	0.44	0.42	27.93

Окончание табл. 4

Поле, грубка	Кол-во ан-зов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
Восток	63	31.91	1.38	3.21	7.19	29.58	8.73	0.04	0.62	0.37	16.50
Сувенир	9	24.53	1.49	2.47	7.74	24.63	15.76	0.14	0.19	0.43	15.66
Талисман	9	27.47	1.55	1.91	8.05	25.71	12.62	0.11	0.27	0.44	11.91
Мархинская	30	22.81	1.45	2.60	7.43	25.15	17.16	0.10	0.20	0.62	21.54
Молодость	266	26.74	1.60	3.19	6.90	25.48	14.13	0.05	0.95	0.64	20.21
Маршрутная	10	29.54	1.62	4.57	4.57	30.87	4.75	0.18	0.77	0.71	5.39
Подтрапловая	8	23.88	1.68	1.90	7.11	22.13	18.80	0.18	0.20	0.41	14.23
Дружба	4	32.06	1.69	2.69	10.12	30.90	5.67	0.13	0.46	0.34	12.29
Радиогеофизическая	9	31.11	1.69	2.33	6.32	29.40	9.00	0.06	0.19	0.39	17.80
Комсомольская	146	31.22	1.78	2.79	8.12	27.10	10.20	0.02	0.44	0.26	18.00
Сытыканская	529	28.79	1.79	1.85	8.09	28.02	10.83	0.11	0.22	0.25	19.84
Байтахская	15	23.25	1.84	2.13	7.34	23.85	16.52	0.01	0.40	0.56	23.04
Липа	13	18.01	1.93	1.87	9.76	17.04	24.95	0.15	0.09	0.68	25.50
НИИГА	9	29.01	1.98	2.64	7.45	27.03	11.54	0.16	0.24	0.37	14.48
Кира	26	29.45	2.05	3.36	9.82	29.72	6.65	0.13	0.49	0.59	16.89
Нева	6	24.43	2.19	2.28	9.04	20.04	16.92	0.12	0.25	0.59	18.64
Олимпийская	1	25.96	2.56	2.64	9.03	17.71	20.15	0.00	0.37	0.63	21.31
Далдынское поле:											
Горняцкая	8	24.74	0.05	3.39	4.37	22.47	16.31	0.12	0.42	0.78	25.70
Иксвая	3	23.80	0.46	3.50	4.39	18.65	20.49	0.16	0.53	0.16	20.82
Летняя	2	23.59	0.45	2.24	4.63	20.86	18.93	0.06	0.31	0.73	24.34
Веснушка	2	26.76	0.60	2.10	5.11	18.08	20.02	0.14	0.20	0.68	25.12
Овал	2	26.37	0.64	3.86	6.59	22.33	16.29	0.12	0.24	0.43	17.26
Удачная-западная	890	25.79	0.86	2.29	6.29	25.44	15.33	0.17	0.63	0.33	21.93
Полуночная	3	28.65	0.89	3.85	5.83	14.33	21.74	0.18	1.05	0.75	17.65
Маастахская	6	24.92	0.95	2.57	6.71	17.51	20.43	0.12	1.10	0.19	21.29
Дайковая	6	22.66	1.03	2.93	5.17	17.19	21.61	0.08	0.71	0.25	26.11
Зимняя	4	28.55	1.05	2.41	6.38	26.46	13.69	0.02	0.43	0.41	20.67
Соседняя	2	23.10	1.10	3.50	9.03	22.58	17.32	0.30	0.01	0.03	21.20
Осенняя	5	27.14	1.16	2.42	6.40	25.14	15.78	0.14	0.37	0.53	20.95
Удачная-восточная	673	26.10	1.18	2.09	7.14	28.10	13.33	0.14	0.58	0.34	20.95
Иреляхская	66	29.83	1.30	2.55	7.91	30.61	8.53	0.01	0.58	0.38	18.07
Нюрба	6	26.25	1.28	2.50	5.63	21.58	17.76	0.09	0.77	0.42	17.76

Средние составы кимберлитовых тел вилюйской субпровинции Якутии

Поле, трубка	Кол-во ан-зов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ΣFe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
Долгожданная	61	25.58	1.32	2.52	6.14	22.61	18.11	0.03	0.30	0.34	23.06
Электра	2	27.15	1.32	5.32	6.03	14.50	18.00	0.15	1.89	0.28	18.77
Академическая	8	25.54	1.40	3.10	6.86	22.90	16.50	0.00	0.21	0.39	23.02
Невидимка	7	29.24	1.42	2.88	6.68	27.87	12.37	0.10	0.41	0.30	18.99
Озерная	12	24.08	1.48	2.74	5.46	19.02	21.48	0.14	0.72	0.26	24.10
Сибирская	4	24.25	1.53	4.17	7.18	20.51	17.19	0.12	0.74	0.32	16.66
Прогнозная	37	24.62	1.65	3.23	6.19	20.89	19.23	0.25	0.94	0.48	22.16
Малютка	3	26.47	1.72	2.41	6.55	26.16	15.51	0.24	0.12	0.29	20.54
Молодежная	17	23.35	1.73	2.85	6.84	20.95	19.73	0.08	0.37	0.50	23.74
Якутская	62	30.43	1.76	2.73	8.23	31.10	8.15	0.02	0.18	0.37	17.32
Фестивальная	7	25.05	1.80	3.29	7.64	21.83	17.06	0.09	0.09	0.24	21.28
Аэромагнитная	8	23.20	1.82	2.99	6.46	22.48	18.13	0.27	0.29	0.26	17.74
Студенческая	2	27.60	1.84	2.92	7.81	22.86	14.21	0.11	0.20	0.31	11.34
Волжанка	8	27.42	1.86	2.60	8.46	19.94	15.98	0.10	0.44	0.37	15.20
Геофизическая	24	26.00	1.88	2.90	8.29	26.23	12.92	0.15	0.43	0.56	18.47
Ленинградская	44	26.19	1.89	2.83	6.69	25.57	15.23	0.07	0.38	0.58	20.69
Любимая	2	23.82	1.89	3.47	7.29	12.82	23.47	0.18	0.91	0.45	27.23
Украинская	7	26.89	1.92	3.45	6.33	28.00	12.27	0.10	0.13	0.20	19.60
Эврика	7	27.43	1.93	2.46	7.55	20.89	14.64	0.09	0.59	0.35	17.31
Дальняя	15	28.19	1.96	3.01	10.04	29.46	8.75	0.19	0.30	0.33	17.10
Аэросъемочная	7	28.20	1.96	3.39	8.16	26.09	11.94	0.06	0.29	0.42	19.36
Зарница	82	26.65	1.97	2.89	8.27	23.44	15.19	0.05	0.29	0.43	20.87
Сараговская	5	24.57	2.00	2.96	5.98	21.35	17.90	0.05	0.68	0.40	21.30
Ильменитовая	2	25.31	2.02	3.69	7.99	20.92	16.66	0.25	0.98	0.34	18.89
Полярная	8	28.68	2.07	4.00	8.55	30.04	8.67	0.20	0.08	0.30	14.06
Угайка	5	22.16	2.31	2.82	6.51	20.60	19.57	0.09	0.23	0.30	19.50
Рог-Фронт	3	25.43	2.41	3.80	8.41	24.81	13.66	0.09	0.97	0.31	19.35
Верхне-Мунское поле:											
Комсомольская-магнит.	41	29.37	1.28	2.34	7.12	30.16	9.75	0.07	1.06	0.55	17.47
Заполярная	276	30.53	1.29	2.20	7.39	32.63	6.71	0.04	0.38	0.41	18.19
Новинка	15	29.42	1.45	2.27	6.75	30.25	9.97	0.36	0.87	0.59	18.74
Легкая	11	29.31	1.70	2.59	6.01	31.15	9.31	.29	0.12	1.02	17.85
Поисковая	30	30.12	1.96	2.16	7.95	32.24	4.84	0.05	0.42	0.34	16.54

Таблица 5

Средние составы, стандартные отклонения и коэффициенты вариаций в массивах пород магматических формаций
(N_1 – число массивов, N_2 – общее число анализов в формации)

Формации	N_1	N_2	Характеристики	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	ΣFe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ппп
Кимберлитовая	99	7537	X	26.73	1.34	2.70	6.73	25.42	14.04	0.13	0.58	0.50	21.84
			s	3.83	0.48	0.47	1.55	4.82	5.70	0.17	0.32	0.20	4.76
			v	14.3	35.5	17.5	23.0	18.9	40.6	127.3	55.9	40.5	24.5
Дунит-перидотитовая	51	2563	X	44.91	0.20	3.82	10.68	37.06	3.42	0.30	0.10	0.05	8.66
			s	1.67	0.19	2.53	2.20	6.32	2.02	0.24	0.09	0.04	4.15
			v	3.7	91.3	66.1	20.6	17.1	59.1	79.4	91.6	69.4	48.0
Дунит-пироксен-норитовая	87	5144	x	49.02	0.53	13.92	9.94	15.23	9.19	1.78	0.41	0.24	2.33
			s	4.78	0.32	4.93	1.73	7.07	2.48	0.74	0.28	1.17	1.70
			v	9.8	59.9	35.4	17.4	46.4	26.9	41.6	67.5	487.5	73.1
Дунит-пироксенит-габбровая	55	3180	x	46.24	0.65	10.66	12.15	19.62	9.70	1.16	0.31	1.10	3.16
			s	2.45	0.54	5.50	1.90	10.95	3.89	0.86	0.36	2.53	3.89
			v	5.3	82.4	51.6	15.6	55.8	40.1	73.8	116.0	231.2	123.1
Габбро-анортозитовая, анортозитовая	15	638	x	49.55	1.42	20.47	11.22	3.69	9.68	3.03	0.88	0.35	0.92
			s	2.09	1.16	3.96	5.59	0.69	2.18	0.55	0.47	0.32	0.21
			v	4.2	82.1	19.3	49.8	18.6	22.5	18.1	53.2	91.8	23.3
Тоналит-плагиогранит-граноди- оритовая	19	1055	x	61.03	0.71	16.17	7.30	3.26	5.94	3.62	2.04	0.19	1.41
			s	3.97	0.16	0.78	1.59	1.34	1.54	0.48	0.91	0.08	0.33
			v	6.5	22.8	4.8	21.8	41.3	25.9	13.3	44.4	41.4	23.4
Диорит-гранодиоритовая	10	346	x	67.91	0.49	15.07	4.68	1.81	3.25	3.58	3.21	0.15	0.92
			s	1.47	0.08	0.53	0.49	0.50	0.67	0.45	0.61	0.04	0.51
			v	2.2	16.2	3.5	10.4	27.4	20.7	12.5	19.1	25.8	55.5
Гранитовая	11	821	x	71.60	0.32	14.68	3.35	0.86	2.06	3.70	3.39	0.17	1.01
			s	1.18	0.08	0.65	0.63	0.26	0.51	0.57	1.25	0.08	0.34
			v	1.7	25.7	4.4	18.8	30.4	24.9	15.3	36.8	45.9	34.0
Лейкогранитовая	12	665	x	74.14	0.23	13.45	2.52	0.51	1.23	3.54	4.37	0.09	0.87
			s	0.82	0.04	0.45	0.42	0.16	0.26	0.43	0.47	0.03	0.51
			v	1.1	16.8	3.4	16.7	31.1	21.5	12.0	10.8	30.1	59.0

Средние составы кимберлитовых тел вилюйской субпровинции Якутии

Формации	N ₁	N ₂	Характеристики	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
Аляскитовая	14	1697	x	75.39	0.16	12.96	2.02	0.22	0.71	3.69	4.86	0.05	0.36
			s	1.00	0.05	0.72	0.77	0.08	0.21	0.29	0.50	0.03	0.18
			v	1.3	32.2	5.6	38.3	36.0	29.7	7.7	10.4	71.7	49.8
Рапакиви-гранитовая	4	266	x	71.80	0.36	13.56	4.04	0.51	1.54	2.69	5.33	0.12	0.81
			s	1.44	0.06	0.30	0.77	0.08	0.44	0.41	0.25	0.08	0.13
			v	2.0	18.1	2.2	19.1	16.1	28.7	15.3	4.7	64.4	16.2
Гранит-пироксенитовая	5	176	x	68.62	0.54	14.67	4.19	0.93	1.82	4.59	3.60	0.28	0.82
			s	3.12	0.10	0.97	0.60	0.52	0.99	0.55	1.72	0.27	0.26
			v	4.5	17.7	6.6	14.4	56.4	54.4	12.0	47.9	95.4	31.1
Щелочно-гранитовая	6	257	x	74.30	0.26	12.90	2.94	0.27	0.69	4.21	4.43	0.07	0.74
			s	0.77	0.11	0.76	1.15	0.07	0.27	0.24	0.36	0.02	0.45
			v	1.0	41.7	5.9	39.0	27.5	38.7	5.8	8.2	29.1	60.8
Базальт-долеритовая	27	890	x	48.70	1.58	14.29	14.84	8.32	9.43	2.45	0.92	0.27	2.03
			s	1.62	0.53	1.06	1.65	3.13	1.17	0.42	0.42	0.17	0.91
			v	3.3	33.8	7.4	11.1	37.6	12.4	17.3	45.0	62.4	44.8
Пироксенит-перидогитовая	3	128	x	43.23	0.76	3.53	16.64	31.29	4.09	0.50	0.42	0.07	4.67
			s	1.73	0.33	1.15	1.19	5.70	2.16	0.35	0.22	0.04	1.22
			v	4.0	42.9	32.6	7.2	18.2	52.8	71.2	51.7	52.5	26.1
Габбро-верлиговая	18	947	x	44.34	1.69	5.92	18.89	23.85	5.25	0.56	0.28	1.12	7.13
			s	1.78	0.44	1.27	1.36	3.97	1.81	0.48	0.23	2.73	1.91
			v	4.0	26.0	21.4	7.2	16.7	34.5	87.0	80.5	242.7	26.8
Сиенит-габбровая	9	448	x	50.24	1.43	16.75	11.05	5.48	9.69	3.30	1.98	0.57	1.16
			s	1.67	0.26	0.90	0.95	0.64	1.15	0.39	0.88	0.24	0.36
			v	3.3	18.5	5.4	8.6	11.6	11.8	12.0	44.6	43.1	30.7
Монзонит-сиенитовая	6	172	x	58.97	0.76	17.66	6.88	2.47	4.354	4.85	4.08	0.26	1.55
			s	2.89	0.32	0.81	1.52	1.41	2.19	0.84	1.22	0.11	0.87
			v	4.9	41.6	4.6	22.1	57.0	50.6	17.3	29.8	44.6	56.5
Щелочно-ультрамафитовая	11	1282	x	37.78	3.5	7.04	15.04	18.60	13.73	2.39	1.25	0.77	3.46
			s	4.06	3.70	3.38	3.83	11.87	5.72	1.52	0.67	0.68	1.45
			v	10.7	104.4	48.0	25.5	63.9	41.7	63.5	53.8	88.8	42.0

Окончание табл. 5

Формации	N ₁	N ₂	Характеристики	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ппп
Щелочных габброидов и нефелиновых сиенитов	11	768	x	47.45	1.68	18.34	10.32	3.84	8.84	5.20	3.81	0.80	2.97
			s	3.32	1.00	2.62	3.15	1.82	2.12	1.79	1.93	0.77	2.23
			v	7.0	59.3	14.3	30.5	47.3	24.0	34.4	50.7	86.8	75.2
Щелочных габброидов и псевдолейцит-нефелиновых сиенитов	9	728	x	54.55	0.80	16.78	8.10	3.23	5.33	3.51	7.28	0.63	1.45
			s	2.16	0.27	2.36	1.57	1.25	1.59	1.10	2.29	0.68	0.55
			v	4.0	33.8	14.1	19.4	38.7	29.9	31.5	31.5	108.4	38.3
Нефелиновых и щелочных сиенитов	4	128	x	57.82	0.93	17.93	6.67	1.33	2.89	6.51	5.74	0.24	1.13
			s	2.52	0.27	1.60	0.76	0.55	1.45	1.22	1.11	0.16	0.20
			v	4.4	28.9	8.9	11.4	41.6	50.1	18.8	19.3	65.7	17.5
Нефелиновых, псевдолейцитовых и щелочных сиенитов	5	501	x	57.73	0.46	19.76	4.23	1.27	2.46	3.26	10.65	0.23	1.36
			s	1.40	0.12	1.62	0.84	0.43	0.82	1.03	2.39	0.09	0.17
			v	2.4	26.5	8.2	19.8	33.8	33.4	31.4	22.5	41.2	12.8
Щелочных трахитов и нефелиновых и щелочных сиенитов	4	470	x	48.50	2.48	7.65	9.40	19.80	6.54	1.00	3.81	0.76	6.66
			s	4.20	2.17	4.57	2.68	11.08	4.63	2.02	3.33	0.60	4.56
			v	8.7	87.3	59.7	28.5	55.9	70.8	201.7	87.5	78.6	68.4
Лампроитовая	15	158	x	48.66	3.03	7.37	9.38	18.14	7.26	0.62	4.78	0.94	6.18
			s	4.34	2.12	3.19	2.64	9.07	4.91	0.50	3.08	0.55	4.38
			v	8.9	70.0	43.3	28.2	50.0	67.6	80.9	64.4	58.1	70.9
Коматитовая	7	466	x	44.47	0.19	3.41	10.92	38.25	3.19	0.15	0.04	0.03	10.91
			s	1.62	0.09	1.51	0.69	5.03	1.66	0.10	0.02	0.01	2.53
			v	3.6	46.7	44.2	6.3	13.1	51.9	69.0	57.7	50.3	23.2

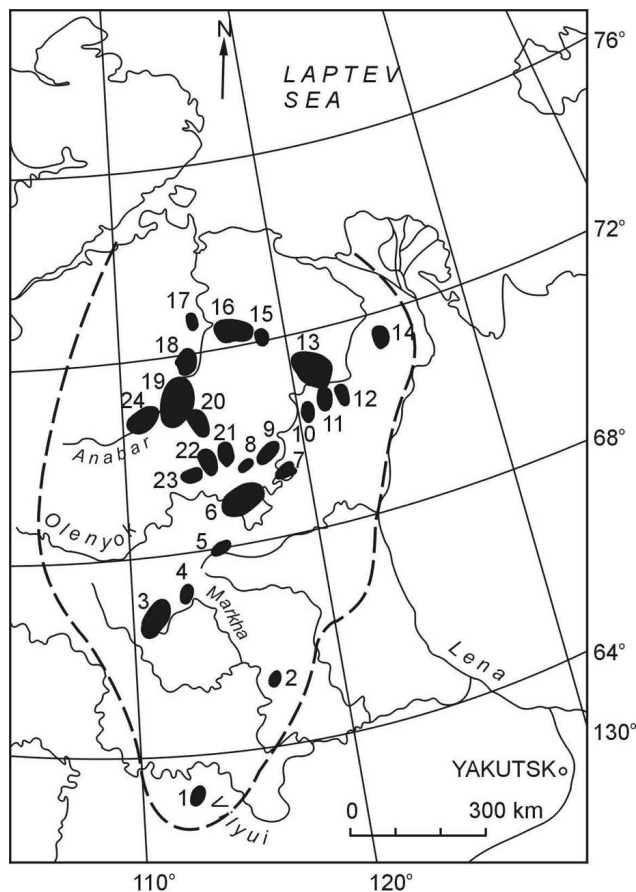


Рис. 3. Расположение кимберлитовых полей Якутской кимберлитовой провинции. Виллюйская субпровинция (1—5): 1 — Мирнинское, 2 — Накынское, 3 — Алакит-Мархинское, 4 — Далдынское, 5 — Верхнемунское; Оленекская группа полей (6-14): 6 — Чомурдахское, 7 — Огоньер-Юряхское, 8 — Западно-Укукитское, 9 — Восточно-Укукитское, 10 — Мерчимденское, 11 — Молодинское, 12 — Толуопское, 13 — Кууйское, 14 — Хорбузонское; Анабарская группа полей (15-24): 15 — Томторское, 16 — Эбеляхское, 17 — Ыаргинское, 18 — Старореченское, 19 — Ары-Мастахское, 20 — Дюкенское, 21 — Лучаканское, 22 — Биригиндинское, 23 — Куранахское, 24 — Анабарское

дого из изученных оксидов и нанесем на них соответствующие фигуративные точки кимберлитов. Как следует из рисунка 4, коэффициенты вариации ассоциации кимберлитовых тел соответствуют модалным значениям коэффициентов вариации магматических формаций для TiO_2 , Al_2O_3 , ΣFe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO , то есть для большинства ведущих породообразующих оксидов.

Более высокий коэффициент вариации для SiO_2 связан, вероятно, с широким развитием в кимберлитах процессов серпентинизации и образованием часто значительного количества вторичного кварца.

Таким образом, по относительно разбросу

средних содержаний оксидов в отдельных телах кимберлитовая ассоциация Якутии соответствует наиболее распространенным типам магматических формаций и может быть отнесена к магматическим формациям.

Идентификация кимберлитовой формации возможна и путем нахождения формаций, близких к кимберлитовой по составу и условиям образования. Сопоставление можно провести по всем оксидам или одному оксиду, имеющему наибольшую информативную нагрузку. Для кимберлитов, как мы обсуждали выше, это CaO . Из таблицы 6, где ранжированы все величины формационных коэффициентов вариации для средних содержаний CaO , видно, что значение коэффициента вариации для кимберлитовой формации находится между таковых для дунит-клинопироксенит-габбровой и щелочно-ультрамафитовой формаций. Итак, проведенная формационная идентификация кимберлитов позволяет говорить о них как о магматической формации, близкой к щелочно-ультрамафитовой.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разнообразие составов магматических формаций в значительной мере определяется вариациями температур и давлений генераций протоматических расплавов. Исходя из предположений о том, что близкие по составу и условиям образования магматические формации должны характеризоваться близкими конфигурациями полей изменения P-T параметров, можно ожидать, что оно должно привести к близким значениям относительных величин вариации составов, входящих в формацию массивов или комплексов магматических пород. Как оказалось, сделанное предположение подтвердилось и позволило показать, что вариации составов в пределах кимберлитовой формации не превышают таковых для других типичных магматических формаций. Из этого следует, что при профессиональном исследовании кимберлитов и кимберлитовых брекчий состав кимберлитов и кимберлитового цемента не подвержены влиянию включенных в эти породы ксенолитов. Кимберлиты формируют типичную магматическую формацию.

К подобному выводу ранее приходили также и известные петрологи. Ю.А.Кузнецов в известной монографии «Главные типы магматических формаций» [1], в ряду формаций центральных интрузий и трубок взрыва выделил формацию кимберлитов. Для этого имелись веские основания в виде ряда геологических исследований кимберлитовых проявлений. В их числе особняком стоит, по-существу, формационный анализ наиболее

Последовательность значений коэффициентов вариаций средних содержаний СаО в магматических формациях

Магматическая формация	Коэффициент вариации (v)
Сиенит-габбровая	11.82
Базальт-долеритовая	12.39
Диорит-гранодиоритовая	20.70
Лейкогранитовая	21.49
Габбро-анортозитовая, анортозитовая	22.53
Щелочных габброидов и нефелиновых сиенитов	24.03
Гранитовая	24.91
Тоналит-плагиогранит-гранодиоритовая	25.94
Дунит-пироксенит-норитовая	26.94
Аляскитовая	28.66
Рапакиви-гранитовая	29.73
Щелочных габброидов и псевдолейцит-нефелиновых сиенитов	29.87
Нефелиновых, псевдолейцитовых и щелочных сиенитов	33.44
Габбро-верлитовая	34.49
Щелочногранитовая	38.71
Дунит-клинопироксенит-габбровая	40.08
Кимберлитовая	40.60
Щелочно-ультрамафитовая	41.67
Нефелиновых и щелочных сиенитов	50.06
Монзонит-сиенитовая	50.56
Коматиитовая	51.93
Пироксенит-перидотитовая	52.81
Гранит-граносиенитовая	54.43
Дунит-перидотитовая	59.14
Лампроитовая	67.57
Щелочных трахитов и нефелиновых и щелочных сиенитов	70.85

известных кимберлитовых провинций, данный В. С. Соболевым [10]. Эта работа В. С. Соболева является классическим примером научного обсуждения геологических, петрографо-минералогических и петрологических аспектов кимберлитовых комплексов. Отметим важнейшие особенности кимберлитов, выделенные В. С. Соболевым в названной работе (с. 17—34):

– некоторые трубки образовались в несколько приемов. Когда кимберлитовые расплавы внедрялись в виде своеобразных струй;

– кроме трубок кимберлиты нередко образуют жилы разной мощности, иногда прослеживающиеся на десятки километров. При поисково-разведочных работах кимберлитовые жилы служат для отыскания новых трубок;

– трубки и в меньшей степени жилы заполнены собственно не настоящей изверженной породой, а эруптивной брекчией. Кроме ксенолитов коры в кимберлитах встречены ксенолиты оливиновых

гипербазитов и кристаллических сланцев из группы эклогита;

– текстурные особенности кимберлитов и их изменения эндо- и экзогенными процессами затрудняют изучение кимберлитов;

– к первым пороодообразующим минералам кимберлита относятся оливин, флогопит, авгит, ильменит, перовскит и апатит. В более поздней работе [11, с. 36] В. С. Соболев отметит, что соотношение кальцита и оливина — главное петрографическое направление изменчивости кимберлитов, причем в кимберлитах Сибири количество кальцита больше, нежели в кимберлитах Африки (авторы настоящей работы считают, что из приведенного тезиса можно сделать вывод о косвенном признании магматического характера кальцита. Иногда к первичным пороодообразующим минералам кимберлита относят также мелилит, нефелин и монтчеллит. Вероятно, авторы таких определений имели дело не с настоящими кимберлитами, а с мелилитовыми базальтами;

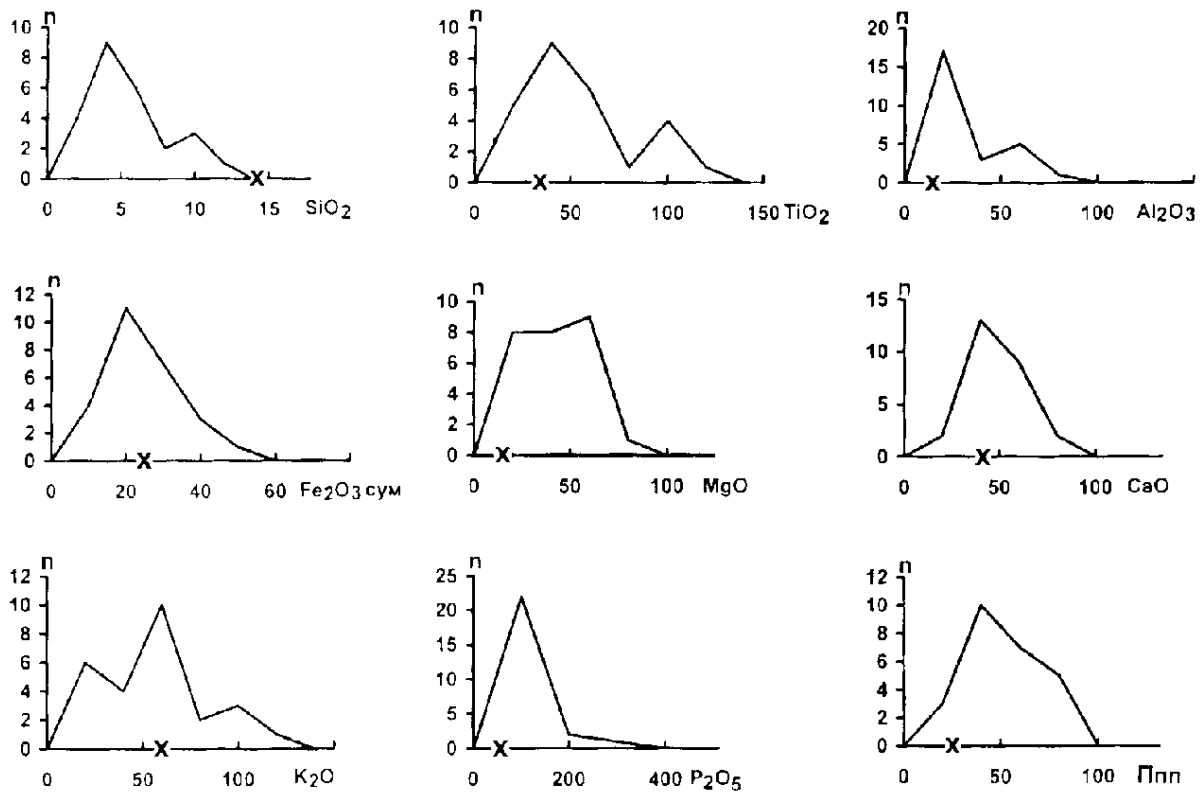


Рис. 4. Распределения формационных коэффициентов вариации породообразующих оксидов и фигуративные точки (x) коэффициентов вариации кимберлитовой ассоциации

– решение проблемы генезиса алмазов надо начинать именно с происхождения кимберлитов;

– весьма загадочным остается присутствие в кимберлитах ксенолитов родственных им перидотитового и эклогитового составов. Считать эти ксенолиты случайными обломками прорванных кимберлитами пород нельзя, так как они встречаются в кимберлитах, разбросанных на огромных площадях в различных частях света. Следовательно, остается либо, вместе с Холмсом, признать существование эклогитового и перидотитового слоев, имеющих региональное распространение, либо считать, что происхождение этих ксенолитов связано с генезисом самих кимберлитов или их магм;

– наиболее вероятной представляется точка зрения о кристаллизации алмазов в самой кимберлитовой магме.

Приведенные вкратце основные положения взглядов В. С. Соболева на кимберлиты не оставляют сомнения в том, что речь идет о магматической формации. Полученные нами данные по исследованию формационной принадлежности кимберлитов по их химическому составу сугубо на фор-

мальной основе находятся в полном соответствии со взглядами В. С. Соболева — выдающегося исследователя кимберлитов.

Исследования вариаций изменения химических составов кимберлитов в зависимости от значений P–T параметров выплавления кимберлитовых составов и составов магмогенерирующей среды (описанные в работах [4, 5, 8, 12, 13] и других) дают возможности для детального формационного анализа кимберлитовой формации.

ВЫВОДЫ

Петрохимическое исследование кимберлитов трубки Интернациональная с использованием методики отбраковки чужеродных включений в кимберлитах и использовании формационных коэффициентов вариации содержаний породообразующих оксидов показало, что химические составы пород дают надежную информацию, с помощью которой стало возможным считать кимберлитовую ассоциацию Вилюйской субпровинции магматической формацией, близкой к формации глубинных щелочно-ультрамафитовой пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. — Новосибирск: Наука, 1964. 394 с.
2. Орлов Д.М., Литнер Г.Н., Орлова М.П., Смелова Л.В. Петрохимия магматических формаций: Справочное пособие. — Л.: Недра, 1991. 229 с.
3. Классификация и номенклатура магматических горных пород: Справочное пособие / О. А. Богатиков, В. И. Гоньшакова, С. В. Ефремова и др.— М.: Недра, 1981. 136 с.
4. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г., Серенко В.П. Петрохимия субщелочных карбонатитсодержащих комплексов Сибири (кимберлиты, кимберлитоподобные породы и месторождения апатита). Новосибирск: Наука, 1994. 235 с.
5. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. — Новосибирск, Наука, 1997. 574 с.
6. Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O., Kuznetsova L.G., Khlestov V.V., Volkova N.I. Diamond potential estimation based on kimberlite major element chemistry // J. of Geochemical Exploration, 2002. V. 76. P. 93—112.
7. Taylor L.A., Keller R.A., Snyder G.A., Wang W., Carlson W.D., Hauri E.H., MacCandless T., Kim K-R., Sobolev N.V., Bezborodov S.M. Diamonds and their mineral inclusions, and what they tell us: a detailed “pull-apart” of a diamondiferous eclogite / International Geology Review, 2000, v. 41, P. 959—983.
8. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Кимберлиты как продукт вязкостной дифференциации кимберлитовых расплавов в диатремах // Петрология, 2000. — № 5. — С. 549—596.
9. Крамер Г. Математические методы статистики. Пер.с англ. М.:Мир, 1975. — 648 с.
10. Соболев В.С. Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, острова Борнео и Северной Америки. М.: Гос.изд. геологической литературы, 1951. — 126 с.
11. Соболев В.С. Избранные труды. Петрология верхней мантии и происхождение алмазов — Новосибирск: Наука, Сиб. отд, 1989. — 252 с.
12. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. О сопряженности составов глубинных включений и петрохимических разновидностей кимберлитов в диатремах Якутии // Петрология, 2001. Т. 9. № 2. — С. 209—220.
13. Vasilenko V.B., Zinchuk N.N. Mantle plumes as determining factor of vertical migration of magma generation zones, fixed the bulk kimberlite composition //Plume sand problems of deep sources of alkaline magmatism. Proceedings of the International Conference. — Khabarovsk. Publishing House of the Irkutsk State Technical University, 2003. P. 96—114.