

ности центральной части Мало-Ботуобинского района. Так, нами осуществлено изучение алмазов из аллювиальных отложений р. Малая Ботуобия из этого района, результаты которого показали присутствие на отдельных участках не менее 30% алмазов, отличающихся от таковых в трубке Мир. Следует также отметить, что установлен высокий процент (около 5%) кристаллов типа  $IaB_1$ , которые только в единичных случаях встречаются в трубках Мир и Интернациональная. Эти данные позволили сделать вывод о возможном присутствии в бассейне этой реки одного или нескольких неоткрытых продуктивных кимберлитовых тел среднего размера. В предполагаемом новом источнике прогнозируется высокий процент низкоазотистых и типа  $IaB_1 + IaA$  кристаллов.

Известно, что на физико-механические свойства и качество алмазов, в конечном счете на их сохранность при обогащении оказывают влияние содержания азота в форме  $A$ -,  $B_1$ -,  $B_2$ -дефектов [2]. Разработанный программный комплекс позволяет установить процентное содержание индивидов с заданными диапазонами концентраций азота в той или иной форме и определенным их сочетанием. Эта информация поможет правильно подобрать процессы и технологические схемы для

промышленных обогатительных фабрик, а также вести отбор образцов для применения их в технике. Появилась возможность не только прогнозировать наличие новых коренных источников, но еще на стадии разведочных работ оценивать физико-механические свойства алмазов, тип месторождений, уровень потенциальной алмазности, качество алмазного сырья.

Таким образом, для каждого коренного месторождения выявлено типичное соотношение основных  $A$ -,  $B_1$ -,  $B_2$ -дефектов кристаллической структуры алмазов. На основе этого разработан математический и программный аппараты для построения многомерных вероятностных моделей кристаллов отдельных кимберлитовых трубок по результатам ИК спектроскопии, являющихся своего рода паспортами и отражающих условия генезиса и физико-механические свойства алмазов. Данный подход позволяет определять вероятность принадлежности обнаруживаемых в процессе проведения поисковых работ единичных кристаллов из россыпных проявлений к известному или прогнозируемому коренному источнику по  $N$  параметрам, проводить локализацию перспективных площадей и поиск на них кимберлитовых трубок по алмазам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Биленко Ю.М. Содержание азота в алмазах Якутских месторождений // Геология и геофизика. 1979. № 7.
2. Бок и Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Ю.А. и др. Природные и синтетические алмазы. М.: Наука, 1986.
3. Владимирова Б.М., Зубарев Б.М., Каминский Ф.В. и др. Геология и генезис алмазных месторождений. Кн. 2. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1989.
4. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе // Классификация и кластер. М: Мир, 1980.
5. Ключев Ю.А., Налетов А.М., Белименко Л.Д. и др. Превращение оптически активных центров в синтетических алмазах под действием температуры // ЖФК. 1982. Т. 56. № 3.
6. Ключев Ю.А., Смирнов В.И., Непша В.И. Сравнительная характеристика алмазов из разных месторождений // Алмазы и сверхтвердые минералы. 1979. № 11.
7. Макарский И.В., Васильев Е.А., Данилова О.В. Определение азотных дефектов в алмазах по ИК спектрам // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001.
8. Соболев Е.В., Ленская С.В., Лисовая И.В. О пластинчатых образованиях в структуре природных алмазов // Журнал структурной химии. 1968. Т. 9. № 6.

ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА»  
Рецензент — Е.Р. Васильева

УДК 550.42:669.292:552.323.6

И.П. ИЛУПИН, Ю.Ю. ГОЛУБЕВА

### ВАНАДИЙ В КИМБЕРЛИТАХ

Определены содержания ванадия в образцах кимберлитов Сибирской провинции. Сведения о концентрации ванадия в кимберлитах других провинций заимствованы из литературы. Содержание ванадия в отдельных образцах кимберлитов варьирует обычно от 40 до 260 г/т, среднее около 120 г/т. Отношение  $TiO_2/V$  в кимберлитах колеблется от 40 до 400 (что соответствует отношению  $Ti/V$  от 24 до 240). Найдены прямая корреляция отношения  $Ti/V$  с «показателями щелочности» кимберлитов — концентрациями  $Ti$ ,  $P$ ,  $La$ ,  $Zr$ ,  $Nb$  — и обратная с отношением  $Mg/Fe$ . Выявлены отдельные группы кимберлитовых тел, характеризующиеся аномально высокими или аномально низкими значениями  $Ti/V$ .

Геохимии ванадия в кимберлитах уделяется мало внимания. В некоторых публикациях, посвященных петро- и геохимии кимберлитов, сведения о содержании ванадия в изучаемых образ-

цах не приведены. Так, для кимберлитов трубки Премьер (Южная Африка) показаны количества более 20 малых и редких элементов [28], но ванадия среди них нет.

Подробнее рассматривается поведение ванадия в базальтах и в родственных с ними породах. Постоянно подчеркивается тесная положительная связь между содержаниями ванадия и титана. Отмечается, что ванадий концентрируется прежде всего в магнетите и ильмените. Повышенные значения отношения  $Ti/V$  характерны для щелочных пород [34]. Отношение  $Ti/V$  растет также со степенью дифференциации, которая выражается, в частности, в росте отношения  $FeO_{tot}/MgO$  [13, 15].

Интересно выяснить, будут ли эти закономерности справедливы для кимберлитов. В качестве «показателей щелочности» кимберлитов мы привлекем концентрации тех компонентов, обогащенность которыми типична для щелочных пород. Это — титан, фосфор и ряд литофильных редких элементов — легкие РЗЭ, торий, цирконий, ниобий. Далекое не всегда удается охарактеризовать «степень щелочности» кимберлитов самым простым (казалось бы) показателем — содержанием калия. На примере кимберлитов Сибири показано, что целые группы кимберлитовых тел могут обнаруживать аномальную (в одних случаях — высокую, в других — низкую) концентрацию калия [3]. Очевидно, содержание калия в кимберлитах может существенно меняться на постмагматической стадии в отличие от концентраций менее подвижных  $Ti, P, La, Th, Zr, Nb$ .

К. Ведеполь и Я. Мураматы [39] сопоставили сведения о средних содержаниях макро- и микрокомпонентов в кимберлитах, нефелинитах, щелочных оливиновых базальтах, толеитовых базальтах и ультраосновных породах. Отдельные показатели из этой сводки приведены в табл. 1. В [39] показаны содержания элементов; для породообразующих компонентов мы выполнили пересчет на оксиды.

Таблица 1  
Особенности химического состава кимберлитов и некоторых горных пород [39]

Компонент	Кимберлиты	Нефелиниты	Щелочные оливиновые базальты	Толеитовые базальты	Ультраосновные породы
V, г/т	120	221	213	251	50
$TiO_2$ , %	1,968	2,802	2,400	1,620	0,130
$TiO_2/V$	164,0	126,8	112,7	64,5	26,0
$FeO_{tot}$ , %	9,21	11,72	11,68	11,00	8,34
$K_2O$ , %	1,25	1,47	1,60	0,84	0,047
$P_2O_5$ , %	0,889	0,871	0,479	0,220	0,050
La, г/т	150	89	54	15	0,92
Th, г/т	16	11	3	1,8	0,07
Zr, г/т	250	205	189	137	16
Nb, г/т	110	103	69	13	1,3

Ванадия в кимберлитах в среднем вдвое меньше, чем в базальтах, а концентрация титана практически такая же, как в базальтах. Соответственно отношение  $Ti/V$  в кимберлитах заметно выше, чем в базальтах. Отчетливо виден (табл. 1) рост концентраций  $Ti, P, La, Th, Zr$  и  $Nb$  от ультраосновных пород к щелочным оливиновым базальтам и нефелинитам. В этом же направлении растет и отношение  $Ti/V$  — в полном соответствии с закономерностью, отмеченной в [34].

Сведения о содержании ванадия в кимберлитах Сибири отражены в табл. 2. Ю.И. Томановская [6] привела результаты количественного спектрального анализа, выполненного в НИИГА (ныне ВНИИОкеангеология). В [2] показаны содержания по результатам приближенно-количественного спектрального анализа, выполненного в ДВГИ ДВНЦ. О.П. Цамерян с соавторами [7] использовала определения, сделанные рентгенофлюоресцентным методом в ГЕОХИ РАН. Наши данные — результат рентгенофлюоресцентного анализа, проведенного в ИГЕМ РАН. Средние значения (табл. 2) подсчитаны отдельно для южных (алмазоносных) и северных (убогоалмазоносных) полей Сибирской провинции, причем для северных полей исключены данные по образцам Куойского и Харамайского полей.

Таблица 2  
Содержание ванадия в кимберлитах южной и северной частей Сибирской провинции

Источник данных	Юг		Север	
	V, г/т	n	V, г/т	n
Ю.И. Томановская и др. [6]	31—176 77	171	10—760 128	149
То же, без экстремальных значений			10—210 120	147
И.Н. Говоров и др. [2]	2—140 44	49	4—400 110	48
О.П. Цамерян и др. [7]	60—260 130	36	80—440 260	29
Данные авторов	59—208 102	18	60—269 147	32

Примечание. Над чертой — минимальное и максимальное содержания, под чертой — среднее, n — количество анализов.

Помимо кимберлитов Сибирской провинции, мы собрали сведения о содержании V в кимберлитах ряда местонахождений мира. Для каждого поля в пределах Сибирской провинции (табл. 3) и для каждого из перечисленных объектов других провинций (табл. 4) вычислены средние арифметические значения. Такой подсчет позволяет нивелировать возможные случайные ошибки анализа, а также ошибки, которые могут быть вызваны «непредставительностью» (принадлежностью к редкой разновидности, интенсивной измененно-

Таблица 3  
Среднее содержание ванадия и титана в кимберлитах Сибири

Кимберлитовое поле	n <sup>1</sup>	V, г/т	$TiO_2$ , %	$TiO_2/V$
Накынское (трубка Нюрбинская)	3	71,3	0,493	69,1
Далдынское	5	97,2	1,716	176,5
Верхне-Мунское	5	109,0	1,750	160,6
Чомурдахское	8	123,4	2,441	197,8
Верхне-Моторчунское	9	139,7	3,846	275,3
Куойское	4	83,2	1,578	189,7
Лучаканское	8	157,0	3,309	210,8
Куонамские (Средне- и Нижне-Куонамское)	7	168,9	3,143	186,1
Харамайское	10	90,3	1,933	214,1

<sup>1</sup> Количество анализов.



Среднее содержание ванадия и титана  
в кимберлитах из разных провинций мира

Местонахождение	n <sup>1</sup>	V, г/т	TiO <sub>2</sub> , %	TiO <sub>2</sub> /V
Средний Тиман, тр.Водораздельная [1]	2	186,0	2,905	156,2
Архангельская провинция, Золотицкое поле [1, 10, 23]	14	71,1	0,819	115,2
Кольский п-ов [11]	3	99,0	1,300	131,3
Финляндия [26]	26	135,0	1,987	147,2
Китай, провинция Менгин [38]	10	82,2	1,664	202,4
Китай, провинция Фуксиан [38]	17	96,1	1,164	121,1
Австралия, участок Эрахеди [18]	3	187,7	3,003	160,0
Австралия, трубка Ариес [16]	2	86,5	1,210	139,9
Австралия, тело K7 группы Орпору [32]	4	112,8	1,332	118,1
Южная Африка, область Кимберли [25]	11	98,6	1,606	162,9
Южная Африка, кимберлиты группы I [36]	17	115,8	2,711	234,1
Южная Африка, кимберлиты группы II [36]	16	90,6	1,097	121,1
Южная Африка, трубка Финш [17]	16	141,6	0,916	64,7
Южная Африка, кимберлиты куста Венетиа [33]	13	79,2	1,097	138,5
Южная Африка, участок Приеска [35]	17	157,1	2,035	129,5
Южная Африка, силлы Бенфонтейн [27]	4	220,2	3,808	172,9
Западная Африка, Сьерра-Леоне, дайки [37]	13	74,2	2,018	272,0
Западная Африка, Сьерра-Леоне, трубки [37]	5	69,8	1,588	227,5
Западная Африка, Либерия [37]	14	163,7	5,317	324,8
Бразилия, шел.провинция Альто Паранаиба [8]	5	111,0	2,212	199,3
Бразилия, трубка Паранатинга [19]	11	142,7	2,026	142,0
Канада, Онтарио, дайка Пиктон [9]	4	140,0	1,715	122,5
Канада, Онтарио, дайка Варти Лейк [9]	3	123,7	3,477	281,1
Канада, Онтарио, участок Джеймс Бэй [30]	25	131	1,44	109,9
Канада, С.З.Т., трубка Джери-ко [29]	7	91,1	0,636	69,8
Канада, о. Сомерсет, трубка Никос [31]	5	131,6	1,814	137,8
Западная Гренландия [22]	8	153,9	2,554	166,0

<sup>1</sup> Количество анализов.

стью) отдельных образцов. Ниже при сопоставлении отдельных объектов (в том числе при вычислении коэффициентов корреляции) мы используем эти средние значения.

Концентрации ванадия и титана, вычисленные как средние из суммированных нами данных по кимберлитам мира, совпадают со средними, приведенными в [39]: TiO<sub>2</sub> 1,98 и 1,97%; V 122 и 120 г/т. Примерно такие же содержания ванадия характерны (табл. 2) для Сибирской провинции в

целом. Пределы колебаний содержания V в кимберлитах разных провинций (для отдельных образцов) показаны на рис. 1, а вариации отношения TiO<sub>2</sub>/V — на рис. 2. Не исключено, что экстремальные значения (как для содержаний, так и для отношения) — результат аналитических ошибок.

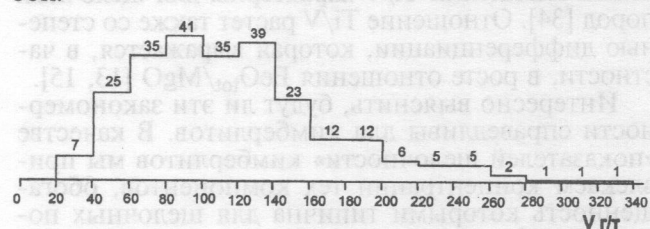


Рис. 1. Содержание ванадия в отдельных образцах (местонахождения см. табл. 4). Цифры — количества образцов, приходящиеся на каждый интервал

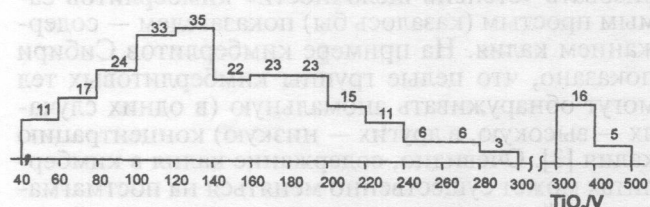


Рис. 2. Отношение TiO<sub>2</sub>/V в отдельных образцах (рис. 1). Не показаны два образца с аномально высокими значениями отношения TiO<sub>2</sub>/V

Высокие содержания ванадия, показанные в некоторых образцах, представляются реальными, например, 337 г/т V при 5,92% TiO<sub>2</sub> в одном из образцов силла Бенфонтейн [27]; или 307 г/т V при 9,35% TiO<sub>2</sub> в образце из Либерии [37]. Но значения 535 и 616 г/т (при 4,59 и 4,72% TiO<sub>2</sub>) из участка Холстейнсборг (на фоне вариаций 117–208 г/т V при 1,55–3,63% TiO<sub>2</sub> для восьми образцов из других проявлений Западной Гренландии [22]) скорее всего завышены; эти два образца в нашей сводке не использованы.

Примерно такие же значения (660 и 760 г/т V) приведены в [6] для двух образцов Малокуонамского поля. Для других образцов из трубок (Малокуонамская и Куранахская) в той же статье показаны обычные величины — от 84 до 110 г/т. Близкие значения получены позднее для образцов из этих двух трубок другими исследователями, в частности, в нашем образце Мкн-3430 — 112 г/т V.

Что касается низких содержаний ванадия, то они представляются правдоподобными в тех образцах, где мала и концентрация титана. Например, 41 г/т V при 0,43% TiO<sub>2</sub> в одном из образцов кимберлитов группы II Южной Африки [36]; 48 г/т V при 0,48% TiO<sub>2</sub> в образце из Золотицкого поля Архангельской провинции [10]; 24 г/т V при 0,41% TiO<sub>2</sub> в образце из провинции Фуксиан (Китай) [38].

Однако скорее всего занижен ванадий в образце из трубки Трес Ранчос (Бразилия) — 17,8 г/т V при 1,25% TiO<sub>2</sub> [12] (отношение 702), образец не включен в сводку. В образце из той же трубки в [14] приведены значения 72 г/т V при 1,35% TiO<sub>2</sub>.

Вызывают сомнения некоторые экстремальные значения отношения TiO<sub>2</sub>/V. Среди образцов кимберлитов из Бразилии, включенных в нашу сводку, в одном случае это отношение — 477,6;

тогда как в остальных 15 образцах — от 66,2 до 215,4 [8, 19]. Среди рассмотренных кимберлитов группы I (Южная Африка) в 16 случаях отношение  $TiO_2/V$  варьирует от 82,6 до 353,8, но в одном образце составляет 1195 [36]; здесь скорее всего занижен ванадий — 39 г/т при 4,66%  $TiO_2$ .

При рассмотрении корреляционных связей между  $TiO_2/V$  и показателями щелочности обращает на себя внимание аномально высокое отношение титана к ванадию в кимберлитах Западной Африки (Либерия, дайки Сьерра-Леоне) и аномально низкое в кимберлитах Бенфонтейн (Южная Африка). Известны также оригинальные особенности кимберлитов трубки Ариес (Австралия), в том числе аномально высокие содержания Th и Nb. Поэтому коэффициенты корреляции (табл. 5)

значимой корреляции необходимо, чтобы коэффициент превышал критическое значение, равное 0,707. Такие значения получены для титана (0,755), общего железа (0,832), ниобия (0,844) и циркония (0,708). Лантан и торий в этой коллекции кимберлитов не определялись.

Своеобразие кимберлитов Верхне-Моторчунского поля можно считать надежно установленным, поскольку анализы всей коллекции образцов из Сибири выполнены в одной лаборатории. В тех же случаях, когда сопоставляются данные из разных публикаций, появление аномалий (отмеченное выше своеобразие кимберлитов Западной Африки и силлов Бенфонтейн) может быть вызвано систематическими ошибками в отдельных лабораториях.

Т а б л и ц а 5

Коэффициенты парной корреляции

	V	Ti	Ti/V	Fe <sub>tot</sub>	P	La	Th	Zr	Nb	Mg/Fe
V	1	0,666	0,031	0,463	0,332	-0,072	0,043	0,584	0,005	-0,534
Ti	0,670	1	0,740	0,847	0,223	0,101	0,210	0,607	0,438	-0,704
Ti/V	0,087	0,788	1	0,730	0,028	0,243	0,247	0,325	0,547	-0,494
Fe <sub>tot</sub>	0,372	0,807	0,764	1	0,245	0,356	0,327	0,483	0,642	-0,823
P	-0,249	0,156	0,415	0,195	1	0,533	0,458	0,711	0,128	-0,282
La	-0,164	0,332	0,551	0,466	0,621	1	0,822	0,361	0,637	-0,487
Th	-0,119	0,284	0,446	0,171	0,569	0,804	1	0,402	0,704	-0,441
Zr	0,311	0,537	0,488	0,328	0,535	0,400	0,423	1	0,228	-0,466
Nb	-0,033	0,470	0,629	0,562	0,519	0,829	0,661	0,323	1	-0,689
Mg/Fe	-0,527	-0,757	-0,560	-0,788	-0,240	-0,496	-0,255	-0,383	-0,647	1

П р и м е ч а н и е. Сверху справа — данные для всей выборки (объекты в табл. 4);  $n = 27$ ,  $r_{0,05} = 0,381$ ; внизу слева — без объектов с экстремальными значениями  $Ti/V$  и объектов, где не определены La и Th;  $n = 19$ ,  $r_{0,05} = 0,456$ .

мы подсчитали отдельно: для всей выборки и без учета данных по упомянутым аномальным и тем объектам, где не определены La и Th (Оррору, Приеска, Джеймс Бэй). Изъятие из рассмотрения аномальных образцов приводит к заметному росту коэффициентов корреляции: для титана от 0,247 до 0,446 (критическое значение 0,456); для фосфора от 0,028 до 0,415 (ниже критического); для циркония от 0,325 до 0,488; для лантана от 0,243 до 0,551; небольшой рост отмечен для ниобия — от 0,547 до 0,629. После исключения аномальных образцов значимая (при 5-процентном уровне) положительная корреляция титан-ванадиевого отношения получена при сопоставлении с  $TiO_2$ ,  $FeO_{tot}$ , La, Zr, Nb; значимая отрицательная — с отношением  $MgO/FeO_{tot}$  (положительная с отношением железа к магнезию). Корреляция ванадия с титаном — значимая для всей выборки (0,666) и практически не меняется при исключении аномальных объектов.

Для Сибирской провинции сопоставлены средние значения по 9 объектам, в каждом от 3 до 10 образцов (табл. 3). Отчетливо выделяется (подчеркнем, среди изученных объектов, так как проанализированы образцы далеко не из всех кимберлитовых полей Сибири) аномально высокое значение отношения  $TiO_2/V$  в кимберлитах Верхне-Моторчунского поля; в образцах из трубок это отношение (352,3 по 4 образцам) выше, чем в образцах из даек (230,4 по 5 образцам). За вычетом аномального поля остаются всего 8 объектов, для получе-

По данным разных авторов, обобщенным в [5], концентрации ванадия (г/т) в важнейших глубинных минералах кимберлитов следующие: оливин 4—12; ортопироксен 20—95; клинопироксен 200—300; гранат 150—300. Из числа распространенных минералов наиболее богаты ванадием ильменит и магнетит. В ильменитах (пикроильменитах) из кимберлитов Сибири, проанализированных методом «мокрой химии», содержание  $V_2O_5$ , как правило, варьирует в пределах 0,2—0,4%, что отвечает 1100—2200 г/т V. Лишь в одной лаборатории в разные годы давали отличающиеся значения  $V_2O_5$ : в 1959 г. 0,33 и 0,40%; в 1960 г. 0,003—0,005%; в 1961—1962 гг. 0,012—0,023% [4]. В работах, где приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа (микросонд), ванадий в ильменитах не показан, вероятно, из-за перекрытия пиков Ti и V.

Для двух образцов магнетита из кимберлитов Южной Африки Я. Мураматсу [25] показал 0,55 и 0,85%  $V_2O_3$ , т. е. около 3700 и 5800 г/т V. Эти два образца магнетита наиболее бедны  $TiO_2$  — 0,05 и 0,09%; в остальных 4 образцах из той же публикации ( $TiO_2$  от 0,26 до 19,09%) ванадий не определялся.

Богаты ванадием некоторые редкие минералы, встреченные в кимберлитах Южной Африки. Отметим, что иногда были допущены грубые ошибки в аналитике. Так, С.Е. Хагерти [28] сообщил о находке в руднике Де Бирс сложного титаната Ba, Fe, Cr, Mg и V с 8,46%  $V_2O_3$ ; позднее [21] значение уточнено — 0,6%  $V_2O_3$ , т. е. около 4000 г/т V.



В минерале линдслеите [20] содержится от 0,62 до 1,91%, в среднем 0,98%  $V_2O_5$ , т. е. от 3500 до 10700, среднее около 5500 г/т V. Видимо, наиболее богат ванадием (из числа встреченных нами в публикациях) титанат, сходный с праидеритом, из трубки Нью Иландс, Южная Африка [24]; в этом минерале от 1,65 до 4,51, в среднем 3,05%  $V_2O_5$ , т. е. от 11200 до 30700, в среднем 20700 г/т V.

### Выводы

1. Среднее содержание ванадия в кимберлитах около 120 г/т. Это примерно вдвое ниже, чем в базальтах. Содержание ванадия в отдельных образцах кимберлитов обычно варьирует от 40 до 260 г/т.

2. Концентрации ванадия и титана в кимберлитах связаны, как и в базальтах, прямой корреляционной зависимостью.

В то же время отношение  $TiO_2/V$  варьирует в кимберлитах от 40 до 400, что соответствует от 24 до 240  $Ti/V$ . Значения более 400  $TiO_2/V$ , вероятно, результат аналитических ошибок.

3. Найдена прямая корреляция отношения  $TiO_2/V$  с отношением  $FeO_{tot}/MgO$ , а также с «показателями щелочности» кимберлитов — концентрациями Ti, P, La, Zr, Nb. Таким образом, для кимберлитов справедливы закономерности, которые выявлены для базальтов.

4. Отдельные группы кимберлитовых тел характеризуются в одних случаях аномально высокими, в других — аномально низкими значениями  $TiO_2/V$ . Наиболее надежно высокое титан-ванадиевое отношение установлено для кимберлитов Верхне-Моторчунского поля Сибирской провинции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богатиков О.А., Кононова В.А., Первов В.А., Журавлев Д.З. Источники, геодинамическая обстановка образования и перспективы алмазности кимберлитов северной окраины Русской плиты: Sr-Nd изотопия и ICP-MS геохимия // Петрология. 2001. Т.9. № 3. С. 227—241.
2. Говоров И.Н., Илупин И.П., Харькив А.Д., Голубева Э.Д., Денисов Е.П. Геохимия глубинных вулканических пород и ксенолитов / В.С. Соболев. М.: Наука, 1980. 332 с.
3. Илупин И.П. Тантал в ильменитах из кимберлитов и в самих кимберлитах Сибирской провинции // Докл. АН СССР. 1983. Т. 272. № 5. С. 1212—1214.
4. Илупин И.П. О достоверности цифрового материала в минералогических публикациях // Зап. ВМО. 1989. Ч. 118. В. 5. С. 120—125.
5. Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук Б.И. Кимберлиты: Справочник. М.: Недра, 1990. 248 с.
6. Гомановская Ю.И. Геохимические особенности кимберлитов Сибирской платформы // Минералогия, геохимия и прогнозирование алмазных месторождений. Л., 1974. С. 32—44.
7. Цамерян О.П., Рощина И.А., Уханов А.В., Коровкина Н.А., Шевалеевский И.Д. Опыт определения химического состава кимберлитов методом рентгенофлуоресцентного анализа // Геохимия. 1980. № 11. С. 1691—1699.
8. Aгау́о A.L.N., Carlson R.W., Gaspar J.C., Bizzi L.A. Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais, Brazil // Contrib. Mineral. Petrol. 2001. V. 142. P. 163—177.
9. Arima M., Kerrich R. Jurassic kimberlites from Picton and Varty Lake, Ontario: Geochemical and stable isotopic characteristics // Contrib. Mineral. Petrol. 1988. V. 99. № 3. P. 385—391.
10. Beard A.D., Downes H., Hegner E., Sablukov S.M. Geochemistry and mineralogy of kimberlites from the Arkhangelsk Region, NW Russia: evidence for transitional kimberlite magma types // Lithos. 2000. V. 51, № 1—2. P. 47—73.
11. Beard A.D., Downes H., Hegner E., Sablukov S.M., Vetrin V.R., Balogh K. Mineralogy and geochemistry of Devonian ultramafic minor intrusions of the southern Kola Peninsula, Russia: Implications for the petrogenesis of kimberlites and mellilitites // Contrib. Mineral. Petrol. 1998. V. 130. № 3—4. P. 288—303.
12. Bizzi L.A., Smith C.B., de Wit M.J., Armstrong R.A., Meyer H.O.A. Mesozoic kimberlites and related alkalic rocks in the southwestern São Francisco Craton, Brazil: A case for local mantle reservoirs and their interaction // Proc. 5th Int. Kimberlite Conf., CPRM Special Publication 1A Jan/94. V. 1. Brasília, 1994. P. 156—171.
13. Brooks C.K., Nielsen T.F.D. Early stages in the differentiation of the Skaergaard magma as revealed by a closely related suite of dike rocks // Lithos. 1978. V. 11. № 1. P. 1—14.
14. Carlson R.W., Esperanza S., Svisero D.P. Chemical and Os isotopic study of Cretaceous potassic rocks from Southern Brazil // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. V. 125. № 4. P. 393—405.
15. Dostal J., Baragar W.R.A., Dupuy C. Geochemistry and petrogenesis of basaltic rocks from Coppermine River area, Northwest Territories // Can. J. Earth Sci. 1983. V. 2. № 5. P. 684—698.
16. Edwards D., Rock N.M.C., Taylor W.R., Griffin B.J., Ramsay R.R. Mineralogy and petrology of the Aries diamondiferous kimberlite pipe, central Kimberley Block, Western Australia // J. Petrol. 1992. V. 33. № 5. P. 1157—1191.
17. Fraser K.J., Hawkesworth C.J. The petrogenesis of group 2 ultrapotassic kimberlites from Finsch Mine, South Africa // Lithos. 1992. V. 28. № 3—6. P. 327—345.
18. Graham S., Lambert D.D., Shee S.R., Smith C.B., Hamblton R. Re-Os and Sm-Nd isotopic constraints on the sources of kimberlites and melnoites, Earaheedy Basin, Western Australia // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V.1. Cape Town: S.Afr., 1999. P. 280—290.
19. Greenwood J.C., Gibson S.A., Thompson R.N., Weska R.K., Dickin A.P. Cretaceous kimberlites from the Paranatinga-Batovi region, Central Brazil: Geochemical evidence for subcratonic lithospheric mantle heterogeneity // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf., V. 1. Cape Town: S.Afr., 1999. P. 291—298.
20. Haggerty S.E., Smyth J.R., Erlank A.J., Rickard R.S., Danchin R.V. Lindsleyite (Ba) and mathiasite (K): two new chromium-titanates in the crichonite series from the upper mantle // Amer. Mineral. 1983. V. 68. № 5—6. P. 494—505.
21. Jones A.P., Smith J.V., Dawson J.B. Mantle metasomatism in 14 veined peridotites from Bultfontein mine, South Africa // J. Geol. 1982. V. 90. № 4. P. 435—453.
22. Larsen L.M., Rex D.C. A review of the 2500 Ma span of alkaline-ultramafic, potassic and carbonatitic magmatism in West Greenland // Lithos. 1992. V. 28. № 3—6. P. 367—402.
23. Mahotkin I.L., Gibson S.A., Thompson R.N., Zhuravlev D.Z., Zherdev P.U. Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk Region, NW Russia // J. Petrol. 2000. V. 41. № 2. P. 201—227.
24. Mitchell R.H., Haggerty S.E. A new K-V-Ba titanate related to priderite from the New Elands kimberlite, South Africa // Neues Jb. Miner. Mh. 1986. № 8. P. 376—384.
25. Muramatsu Y. Geochemical investigations of kimberlites from the Kimberley area, South Africa // Geochem. J. 1983. V. 17. № 2. P. 71—86.
26. O'Brien H.E., Tyni M. Mineralogy and geochemistry of kimberlites and related rocks from Finland // Proc. 7th Int. Kimberlite Conf. V.2. Cape Town: S.Afr., 1999. P. 625—636.
27. Pearson J.M., Taylor W.R. Mineralogy and geochemistry of fenitized alkaline ultrabasic sills of the Gifford Creek Complex, Gascoyne Province, Western Australia // Can. Mineral. 1996. V. 34. P. 2. P. 201—219.

28. Physics and Chemistry of the Earth. V. 9. / L.H.Ahrens, J.B.Dawson, A.Duncan, A.J.Erlank. Oxford: Pergamon Press, 1975. 940 p.
29. Price S.E., Russell J.K., Kopylova M.G. Primitive magma from the Jericho pipe, N.W.T., Canada: constraints on primary kimberlite melt chemistry // *J. Petrol.* 2000. V. 41. № 6. P. 789—808.
30. Reed L.E., Sinclair I.G.L. The search for kimberlite in the James Bay Lowlands of Ontario // *CIM Bull.* 1991. V. 84. № 947. P. 132—139.
31. Schmidberger S.S., Francis D. Constraints on the trace element composition of the Archean mantle root beneath Somerset Island, Arctic Canada // *J. Petrol.* 2001. V. 42. № 6. P. 1095—1117.
32. Scott Smith B.H., Danchin R.V., Harris J.W., Stracke K.J. Kimberlites near Orroroo, South Australia // *Kimberlites I: Kimberlites and Related Rocks / J.Kornprobst. Elsevier. Amsterdam, 1984. P. 121—142.*
33. Seggie A.G., Hannweg G.W., Colgan E.A., Smith C.B. The geology and geochemistry of the Venetia kimberlite cluster, Northern Province, South Africa // *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town: S. Afr., 1999. P. 750—756.*
34. Shervais J.W. Ti—V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas // *Earth and Planet. Sci. Letters.* 1982. V. 59. № 1. P. 101—118.
35. Skinner E.M.W., Smith C.B., Viljoen K.S., Clark T.C. The petrography, tectonic setting and emplacement ages of kimberlites in the southwestern border region of the Kaapvaal Craton, Prieska area, South Africa // *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf. CPRM Special Publication 1/A Jan/94 V. 1. Brasilia, 1994. P. 80—97.*
36. Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M.W., Clement C.R., Ebrahim N. Geochemical character of Southern African kimberlites: A new approach based on isotopic constraints // *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 1985. V. 88. № 2. P. 267—280.
37. Taylor W.R., Tompkins L.A., Haggerty S.E. Comparative geochemistry of West African kimberlites: Evidence for a micaceous kimberlite endmember of sublithospheric origin // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1994. V. 58. № 19. P. 4017—4037.
38. Tompkins L.A., Meyer S.P., Han Z., Hu S., Armstrong R., Taylor W.R. Petrology and geochemistry of kimberlites from Shandong and Liaoning Provinces, China // *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Kimberlite Conf. V. 2. Cape Town: S.Afr., 1999. P. 872—887.*
39. Wedepohl K.H., Muramatsu Y. The chemical composition of kimberlites compared with the average composition of three basaltic magma types // *Proc. 2<sup>nd</sup> Int Kimberlite Conf. V.1. Washington: AGU, 1979. P. 300—312.*

ЦНИГРИ  
ИГЕМ

Рецензент — В.К. Гаранин

УДК 553.311

А.Ж. КУЗНЕЦОВ

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В МАГНЕТИТАХ ГОРОБЛАГОДАТСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На основании полученных данных о содержании элементов-примесей в магнетитах из основных текстурных разновидностей руд Гороблагодатского месторождения сделаны предположения о первичной вулканогенно-осадочной природе железорудных залежей. Рассмотрено влияние наложенных процессов, связанных с Кушвинской сиенитовой интрузией и ее сателлитами, на эволюцию минералов железа и их элементов-примесей.

Гороблагодатское месторождение расположено в пределах Тагило-Кушвинского железорудного района, открыто в 1828 г. вогулицем Анисимом Чумпиным и разрабатывается (начиная с 1835 г.) до сегодняшних дней.

Месторождение залегает в гороблагодатской толще вулканогенно-осадочных пород нижнего силура, представленной базальтами, андезитобазальтами и их туфами, переслаивающимися с туфоалевролитами, туфопесчаниками и туфогравелитами. Породы прорваны Кушвинской сиенитовой интрузией и серией сиенит-порфировых и микросиенитовых даек. Рудные тела — линзы и пластообразные залежи, залегающие согласно вмещающим породам, образуют три основных продуктивных горизонта, погружающихся под углами 10—30° на северо-восток и прослеживающихся на расстоянии свыше 5 км от интрузии. Мощность рудных тел в среднем не превышает 30 м. Руды деформированы интрузией и после-

рудными складкообразованием и дизъюнктивными нарушениями [4].

Большинство исследователей (Л.Н. Овчинников, Я.П. Баклаев, В.Г. Фоминых и др.) рассматривают Гороблагодатское месторождение как типичное контактово-метасоматическое (скарновое). Другие (Ю.Л. Булашевич, А.М. Дымкин, Я.Н. Белевцев и др.) приводили факты, свидетельствующие в пользу первичного вулканогенно-осадочного происхождения руд, и рассматривали оруденение как полигенное, сильно растянутое во времени, не отрицая при этом метасоматического воздействия интрузий. Элементы-примеси в магнетитах широко используются для выяснения вопросов генезиса руд и горных пород различных месторождений. Так, С.А. Рокачев предполагает определять генетический тип железорудных месторождений с учетом колебаний содержания примесей в рудах [13].

Основная цель автора — оценка влияния геологических процессов в полигенной истории