

Особенности вещественного состава кимберлитов Сюльдюкарского поля (Западная Якутия)

М.В. Мальцев, А.В. Толстов, Т.С. Старкова, А.С. Иванов

Акционерная компания «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный, Россия
e-mail: tolstovav@alrosa.ru

Аннотация. Перспективы коренной алмазности Вилюй-Мархинского междуречья обосновывались разными исследователями. В 1982 г. в бассейне р. Сюльдюкар по результатам групповой геологической съемки масштаба 1:50000 геологом С.В. Овчинниковым было выделено несколько ореолов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), среди которых наиболее перспективный получил название по близлежащему ручью Хатырык. Спустя более 30 лет, в 2015 г. вблизи Хатырыкского ореола при заверке поисковым бурением аэромагнитной аномалии Т-54-14, выделенной геофизиком М.В. Покровским, геологами АК «АЛРОСА» (ПАО) было вскрыто первое кимберлитовое тело нового Сюльдюкарского поля, расположенного в западной части Вилюйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей зоны глубинных разломов. Оно подтвердило наличие прогнозируемого Ыгыаттинского алмазносного района. Изучение вещественного состава кимберлитов нового поля выявило их существенные отличия от южного (Мирнинского) и северных (Накынского, Далдынского, Алаkitского и др.) полей, а индикаторных минералов – от близрасположенного ореола Хатырык, что позволяет прогнозировать обнаружение в данном районе новых тел.

Ключевые слова: кимберлиты, Вилюйско-Мархинская кимберлитоконтролирующая зона, Сюльдюкарское кимберлитовое поле, Ыгыаттинский алмазносный район, индикаторные минералы кимберлита.

Features of the Matter of the Suldyukar Field Kimberlites (Western Yakutia)

M.V. Maltsev, A.V. Tolstov, T.S. Starkova, A.S. Ivanov

PJSC «ALROSA», Mirny, Russia
e-mail: tolstovav@alrosa.ru

Abstract. The prospects for primary diamond bearing of the Vilyui-Markhinsky interfluvium were substantiated by different researchers. In 1982 in the basin of the river Suldyukar a geologist S.V. Ovchinnikov identified several halos of indicator minerals of kimberlites (IMK) by the results of a group geological survey of a scale 1: 50000, among which the most promising was named after the nearby Khatyryk stream. More than 30 years later, in 2015, near the Khatyryk halo, during an exploratory drilling of the T-54-14 aeromagnetic anomaly, identified by geophysicist M.V. Pokrovsky, JSC «ALROSA» geologists revealed first kimberlite body of a new Suldyukar field located in the western part of the Vilyuisk-Marhinsky kimberlite controlling zone of deep faults. It confirmed the existence of the predicted Igyattinsky diamondiferous district. A study of the composition of the new field kimberlites revealed their essential differences from the ones from the southern (Mirny) and northern (Nakynsky, Daldynsky, Alakitsky and others) fields and the indicator minerals differ-

МАЛЬЦЕВ Михаил Викторович – начальник партии; ТОЛСТОВ Александр Васильевич – д.г.-м.н., директор Научно-исследовательского геологоразведочного предприятия; СТАРКОВА Татьяна Семеновна – зав. лаб.; ИВАНОВ Александр Сергеевич – к.г.-м.н., зав. лаб.

ence from the minerals of the nearby Khatyryk halo. These differences let us to predict a discovery of new bodies in the area.

Key words: kimberlites, Vilyuisko-Marhinsky kimberlite-controlling zone, Syldyukar kimberlite field, Igyattinsky diamondiferous region, indicator minerals of kimberlite.

Изучение состава кимберлитов нового поля выявило их существенные отличия от южного (Мирнинского) и северных (Накынского, Далдынского, Алакитского и др.) полей, а составы их индикаторных минералов кимберлита (ИМК) – от аналогов из ореола Хатырык, что позволяет уверенно прогнозировать обнаружение в данном районе новых кимберлитовых тел [9, 14, 20]. Геолого-структурная позиция Сюльдюкарского кимберлитового тела (рис. 1) определяется приуроченностью к Вилуйско-Мархинской кимберлитоконтролирующей зоне [3, 7, 8, 11, 14, 19]. Новая кимберлитовая трубка включает два сопряженных тела: Западное и Восточное (рис. 2), различающиеся по вещественному составу: минералогии, геохимии и петрографии [10, 13].

действием наложенных гидротермально-метасоматических процессов породы, содержащие ксенолиты среднепалеозойских базитов и нижнепалеозойских осадочных пород [13]. Тела выполнены двумя разновидностями пород – автолитовой кимберлитовой брекчией (АКБ) и порфировым кимберлитом (ПК). Количество обломочного материала варьирует в АКБ от 6 до 26 %, в ПК – от 2 до 17 %. Среди обломков преобладают ксенолиты карбонатных пород (известняки, мергели) (до 11,4 %) и базитов (в верхних горизонтах восточного тела). Ксенолиты ультраосновных пород крайне редки: в западном теле до 1,01 %, в восточном теле около 0,08 %.

Структура кимберлитов среднепорфировая: вкрапленники нескольких генераций размером от 0,2 до 5–7 мм представлены псевдоморфозами по оливину или его гломеропорфировыми сростками. Среди вкрапленников генерации-1 (величиной более 1 мм) преобладают выделения

Вещественный состав кимберлитов

Кимберлиты Сюльдюкарского поля представляют собой сильно измененные под воз-

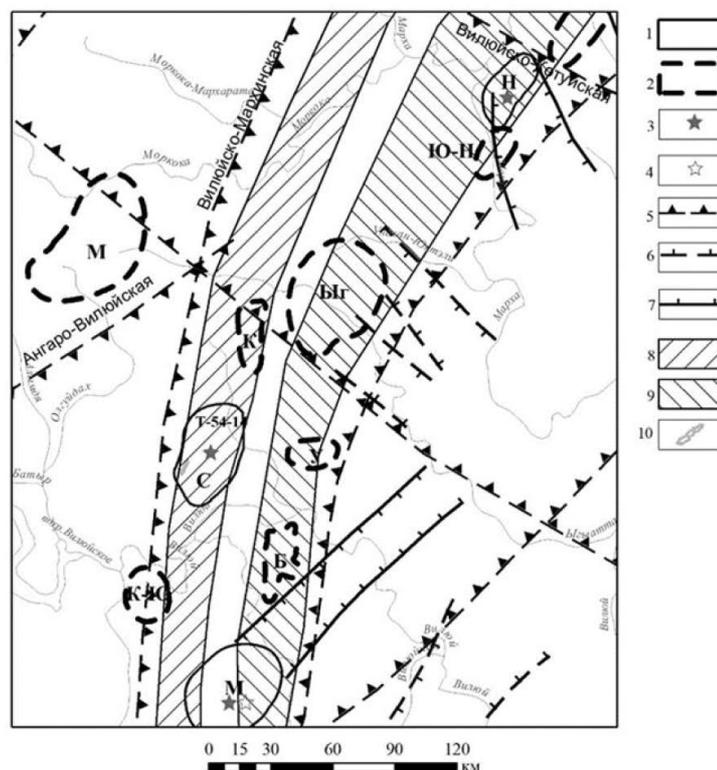


Рис. 1. Схема Вилуйско-Мархинской зоны:

1 – контуры кимберлитовых полей: Н – Накынского, М – Мирнинское, С – Сюльдюкарское; 2 – контуры потенциальных кимберлитовых полей: Ю-Н – Южно-Накынского, К-Ю – Курунг-Юряхское, Б – Бахчинское, К – Кютерское, М – Моркокинское, У – Утунинское, Ы – Ыгыаттинское; 3,4 – кимберлиты и базиты; 5 – границы ВМС; 6 – зоны глубинных разломов; 7 – глубинные разломы II порядка; 8, 9 – западная и восточная ветви ВМЗ; 10 – Хатырыкский ореол ИМК

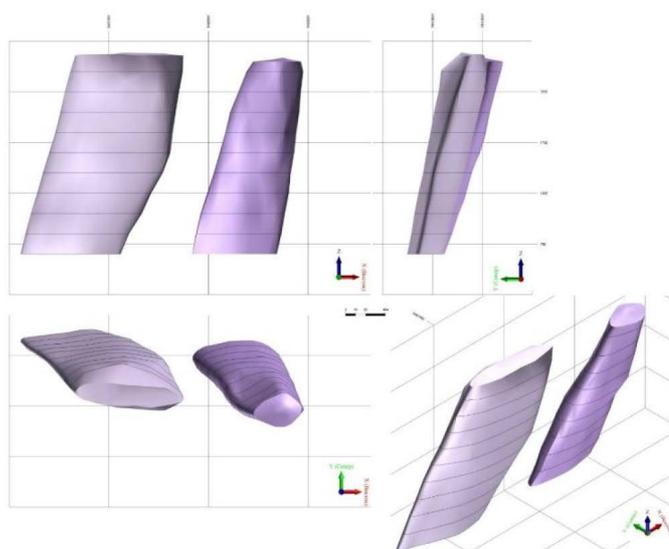


Рис. 2. Объемная модель Сюльдюкарского кимберлитового тела (Аномалия Т-54-14)

размером 1–2 мм, содержание которых выше в ПК и АКБ западного тела. Выделения размером 2–4 мм в западном теле встречаются реже, доля более крупных вкрапленников (4–8 мм) выше в ПК обоих тел по сравнению с АКБ, в которых они зафиксированы только в западном теле. Помимо псевдоморфоз по оливину отмечаются зерна пикроильменитов, пиропов малиновой, лиловой и оранжевой цветовой гаммы, а также редкие таблички хлоритизированного флогопита.

Основная масса в ПК сложена серпентином, микролитами карбоната величиной 0,1–0,2 мм, редкими, соразмерными кальциту, табличками флогопита, микрокристаллами непрозрачных рудных минералов (~2 %) или их сростками, размер которых варьирует от зерен пылеватой размерности до 0,1 мм. Среди микрокристаллических оксидов установлены рутил, титаномагнетит, ильменит и хромит, в той или иной степени преобразованные, что обычно для других

кимберлитовых тел [17,18]. Флогопиты представлены Ti-содержащими разностями зонального строения: центральные части таблиц не содержат примеси BaO, тогда как краевые части представлены Ba-содержащим флогопитом, в котором содержание составляет 5,81–6,46 мас.%. В апатите отмечается существенная примесь Sr (до 1,87 мас.%), в рутиле – Nb (6,81 мас.%) [13–15].

В порфировых кимберлитах установлены редкие автолиты порфирового строения, в которых вкрапленники представлены псевдоморфозами карбоната по субидиоморфному оливину размером 0,1–0,5 мм (50 %), выделениями ильменита 0,05–0,1 мм (7 %), табличками флогопита 0,03–0,05 мм. Основная масса выполнена мелкозернистым карбонатом (90 %), на фоне которого отмечаются хаотично расположенные микролиты карбоната (5–7%), редкие чешуйки хлоритизированного флогопита и микрокристаллы рудных минералов (рис. 3).

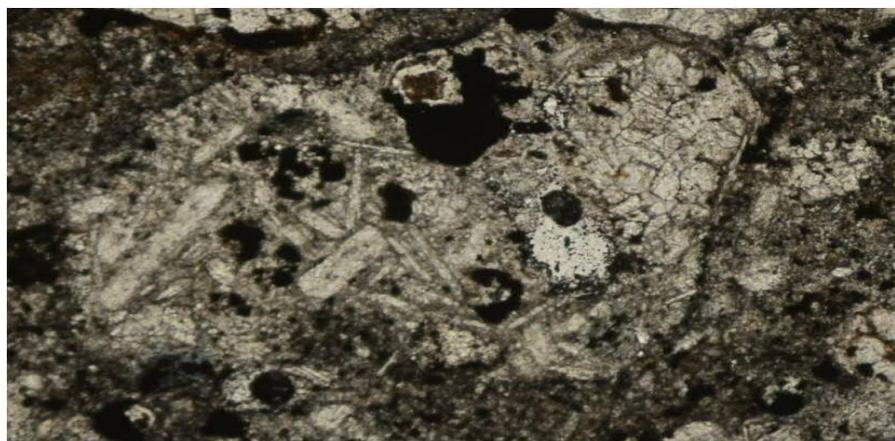


Рис. 3. Автолит порфировой структуры в ПК

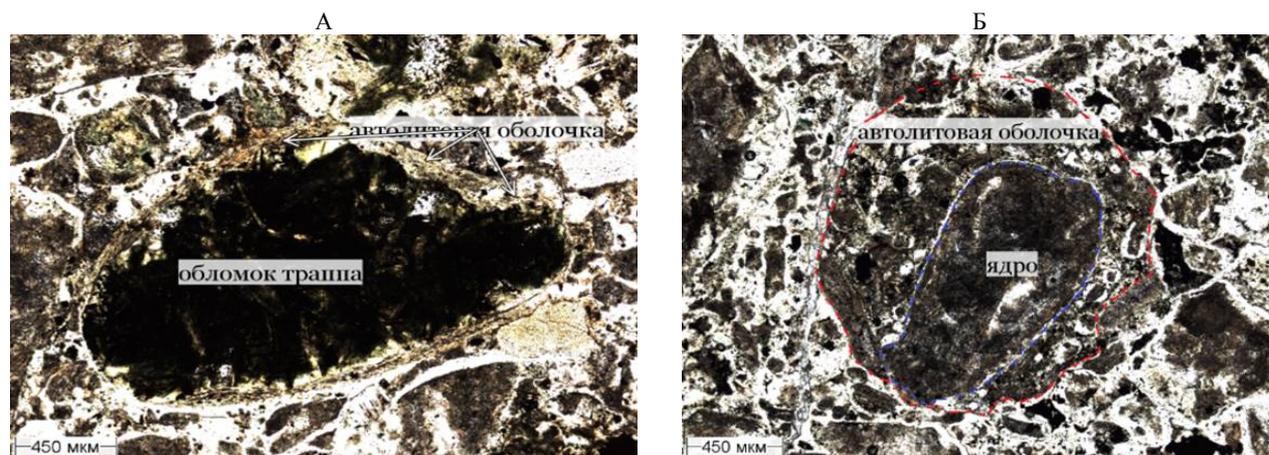


Рис. 4. Ядерные автолиты: А – в ядре обломок трапша. Шлиф с анализатором; Б – в ядре ксенолит осадочной породы ксенолита (ядро). Шлиф с анализатором

Текстура АКБ среднеавтолитовая, проявлена нечетко: явные автолиты единичны, имеют ядерное сложение, состоят из центрального ядра и окружающей ядро оболочки (рис. 4). Оболочки тонкие, не превышающие десятых долей мм. В ядрах располагаются преимущественно псевдоморфозы по оливину, реже отмечаются ксенолиты (обломки осадочных пород и измененные породы трапповой формации), келифитизированный пироп и пикроильмениты. Размеры автолитов варьируют от долей мм до 2 мм и в основном зависят от размеров ядер. Оболочки состоят из серпентина (преобладает), тонких пластинчатых кристаллов кальцита (микролитов). Породы нередко пронизаны тончайшей сетью гидротермальных прожилков кальцита.

По результатам рентгенографического анализа серпентин наиболее распространен в кимберлитах восточного тела, где представлен двумя разновидностями – лизардитом и хризотилом. Кимберлиты западного тела характеризуются большей степенью вторичного преобразования. Практически во всех образцах, за некоторым исключением, установлены смешанослойные минералы. Среди карбонатов преобладает кальцит. При широких вариациях содержаний средние содержания хлорита, серпентина, кальцита ниже, а смектитов, доломита и других компонентов выше в АКБ западного тела по сравнению с ПК, тогда как в АКБ восточного тела больше серпентина, меньше смектитов, доломита и других минералов по сравнению с ПК.

Результаты химического анализа кимберлитов подтверждают данные рентгенофазового анализа: более измененные кимберлиты западного тела характеризуются пониженными содержаниями оксидов Si и Mg и более высокими содержаниями Ca, летучих компонентов, щелочей, Sr, Zn и Ni по сравнению с характерными значениями для кимберлитов [5,6,11,12].

Среднее содержание K_2O в западном теле в 2 раза, а NiO в 2,5 раза превышает его количество в восточном (таблица). Установлены близкие средние содержания практически всех основных оксидов в ПК и АКБ при заметно повышенных количествах суммарного Fe, Ba и Zn в ПК. Для кимберлитов в целом характерны средняя титанистость (содержание TiO_2 обычно более 1 мас.%), повышенная щелочность и широкие вариации содержаний CaO. Данные химизма свидетельствуют о высокой агрессивности кимберлитового расплава [5,6,22,23], что подтверждается и интенсивной келифитизацией гранатов и может быть использовано при проведении поисковых геолого-геохимических работ [16,17].

Индикаторные минералы кимберлитов

Ассоциация ИМК в АКБ преимущественно хромшпинель-гранат-ильменитовая, в порфировых кимберлитах – хромшпинель-ильменит-гранатовая. Количество ИМК в АКБ составляет: гранат – 6,1 кг/т, ильменит 6,9 кг/т, хромшпинелид – 306 г/т; в ПК: гранат – 5,3 кг/т, ильменит – 4,5 кг/т, хромшпинелид – 200 г/т.

Гранаты характеризуются невысокой сохранностью, преобладают обломки (45 %), осколки (38 %), поврежденные зерна составляют 14 %, целые – 1,5 %, преобладают фиолетовые (>70 %) с разной степенью насыщенности окраски, от бледно-сиреневых до черных; малиновые составляют 17 %, оранжево-красные – 11 %. Характерны гранаты с реликтами келифитовых кайм, их количество составляет 55 %.

Отмечены серпентин-карбонатные «автолитовые» оболочки (15 %), выполненные рудными минералами, преимущественно, сульфидами, количество зерен с такими оболочками составляет 1 %. По химическому составу среди гранатов из восточного тела установлены пиропы ультраосновного, пироп-альмандины экло-

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА КИМБЕРЛИТОВ СЮЛЬДЮКАРСКОГО ПОЛЯ

Химический состав кимберлитов Аномалии Т-54-14, %

	Среднее по 10 анализам (восточное тело)	Среднее по 10 анализам (западное тело)	Среднее по АКБ (по 11 анализам)	Среднее по ПК (по 9 анализам)
SiO ₂	24,12	18,85	21,62	21,64
TiO ₂	1,40	1,33	1,25	1,53
Al ₂ O ₃	3,30	3,51	3,26	3,61
Fe ₂ O ₃	7,50	5,72	5,42	8,34
MnO	0,15	0,11	0,11	0,16
MgO	18,98	12,60	16,04	15,85
CaO	19,34	27,95	24,33	22,18
Na ₂ O	0,15	0,18	0,17	0,17
K ₂ O	0,31	0,71	0,50	0,50
P ₂ O ₅	0,64	0,62	0,54	0,75
S	0,39	0,45	0,44	0,40
П.п.п.	23,36	27,76	24,41	26,20
ppm				
Ba	1166,63	1162,70	837,48	1614,79
Be	2,10	1,41	1,53	2,11
Ce	195,11	217,98	189,38	228,71
Co	69,70	46,64	52,27	67,73
Cr	843,65	626,65	617,61	910,33
Cu	51,14	52,64	53,72	49,28
La	122,55	142,72	120,80	147,65
Li	87,03	95,48	92,79	88,62
Mo	3,29	1,25	2,62	1,92
Nb	140,91	145,52	125,35	167,48
Nd	78,97	79,44	70,21	91,54
Ni	1026,38	466,51	630,08	941,45
Rb	16,03	25,51	20,86	20,05
Sc	22,67	20,16	18,44	25,67
Sr	599,75	887,41	664,07	834,92
V	134,34	131,18	121,04	149,07
Y	14,33	15,57	14,02	16,14
Yb	1,33	1,46	1,32	1,49
Zn	63,24	36,38	38,48	67,07

гитового парагенезисов, а также магниальные альмандины. Среди пиропов ультраосновного парагенезиса преобладают гранаты из лерцолитов (82,5 %) и верлитов (10,3 %). Гранаты дунит-гарцбургитового парагенезиса составляют 3,14 %, алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса – 4,0 %. Среди гранатов лерцолитового парагенезиса преобладают среднехромистые (Cr₂O₃ от 2 до 8 мас.%), их количество в изученной выборке составляет 89 %.

Среди гранатов западного тела основную долю составляют гранаты ультраосновного парагенезиса 81,6 %, альмандины и пироп-альмандины присутствуют в количестве 18,4 %. Среди ультраосновных гранатов наиболее распространены

зерна лерцолитового парагенезиса 89,2 %, из которых преобладают гранаты, содержащие от 4 до 6 мас.% Cr₂O₃ и такие же количества CaO. Доля гранатов верлитового парагенезиса составляет 8,1 %, содержащих от 5 до 7 мас.% Cr₂O₃. Гранаты алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса не обнаружены. Доля гранатов неалмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса составляет 2,7 %. По содержанию MnO значительную долю (75,7 %) составляют гранаты, образовавшиеся при низких температурах, что оценивается как положительный критерий при оценке потенциальной алмазоносности тела [4, 17, 22].

Пикроильмениты присутствуют в двух разновидностях: парамагнитной и ферромагнит-

ной. Морфология выделений ильменита из кимберлитов округлая и удлинённо-округлая, зерна с реликтами кристаллографической огранки не установлены. В восточном теле присутствуют зерна, содержащие от 5,18 до 11,38 мас.% MgO и от 40,15 до 51,18 мас.% TiO₂. Доля ферримагнитных ильменитов, содержащих менее 6 мас.% MgO, не превышает 8,3 %. На диаграмме сохранности алмазов большая часть составов ильменита (рис. 5) западного и восточного тел попадает в область 2, характеризующую кимберлиты с минимальной сохранностью алмазов [24]. В данном теле, в противоположность ильменитам восточного тела, заметное количество точек составов ферримагнитных ильменитов располагается в области 1 кимберлитов без алмазов. Отметим, однако, что ильмениты из высокоалмазоносных тел (трубка Мир) также располагаются в этой области [1, 2, 4, 22, 23].

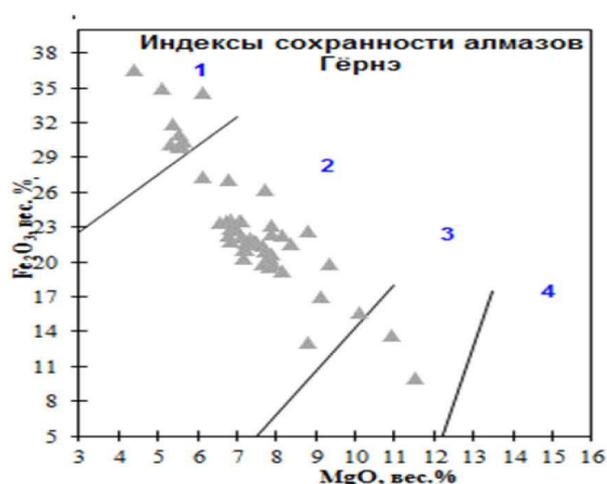


Рис. 5. Фигуративные точки состава ферримагнитных и парамагнитных пикроильменитов на диаграмме Гёрнэ [24] с выделенными областями составов пикроильменитов, отвечающих телам с различной алмазоносностью

Хромшпинелиды присутствуют в единичных количествах, в основном мелкого гранулометрического класса $-1+0,5$ мм (60–70 %) октаэдрического габитуса, ксеноморфные зерна встречаются в единичных количествах. В отличие от других кимберлитовых тел Якутской провинции для восточного тела характерна высокая частота встречаемости обломков кристаллов хромшпинелидов, их количество составляет 33,9 % от количества изученных. Часто встречаются осколки, количество которых достигает 21,4 %, обломки зерен – 19,7 %, целые зерна – 16,1 %, поврежденные – 8,9 %. Такой состав хромшпинелидов характерен для вебстеритов [3, 11, 12, 19]. Преобладание низкохромистых шпинелидов характерно для кимберлитов средней продуктивности. Практически все хромшпинелиды

характеризуются низкими содержаниями TiO₂ от 0 до 0,2 %, за исключением одного зерна (3,7% TiO₂). Количество Cr₂O₃ варьирует от 30,1 до 64,5 мас.%, SiO₂ не превышает 38,6 мас.%.

Выводы

1. Вещественный состав кимберлитов Сюльдюкарского поля характеризуется отличием от других полей ЯАП и различием между отдельными телами. Кимберлиты западного тела содержат меньше обломков осадочных пород и базитов, но больше ксенолитов ультраосновного состава и более изменены постмагматическими процессами. В них наблюдается значительное преобразование серпентина в смешанослойные глинистые образования. Среднее содержание K₂O в кимберлитах западного тела в 2, а NiO в 2,5 раза превышает их количество в кимберлитах восточного тела.

2. Пикроильмениты Сюльдюкарского поля, по сравнению с Мирнинским, характеризуются низкими значениями оксидов Cr, Al и Mg. Основным отличием ильменитов является отсутствие Fe-магнитных разностей, содержащих менее 34–35 мас.% TiO₂ и отсутствие среди них высоко-Cr ферримагнитных ильменитов, которые характерны для трубок Мирнинского поля [23]. В восточном теле отсутствуют высоко-Cr ферримагнитные ильмениты, в то время как в западном отмечены относительно высоко-Cr разности среди парамагнитных и ферримагнитных ильменитов.

3. В западном теле установлен повышенный процент хромшпинелидов алмазной ассоциации, указывающий на его более высокую алмазоносность по сравнению с восточным телом [4, 17, 22].

4. В кимберлитах Сюльдюкарского поля преобладают гранаты малинового цвета. Лиловые и розовые гранаты, которые наряду с оранжевыми и розовыми присутствуют в восточном теле, но отсутствуют в западном. Пиропы алмазной ассоциации восточного тела представлены ультраосновными гранатами, в западном – Ti гранатами первой группы, которые попадают в поле гранатов из включений в алмазах из эклогитов.

5. Выявленные особенности вещественного состава кимберлитов Сюльдюкарского поля и их ИМК, существенно отличающие их от кимберлитов Мирнинского и Далдынского полей и от расположенного в непосредственной близости ореола ИМК Хатырык, свидетельствуют о наличии высокоалмазоносных кимберлитов в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района, что должно учитываться в приоритетном порядке при постановке поисковых геологоразведочных работ на этой территории [21].

Литература

1. Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В. и др. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Доклады РАН. 2004. Т. 399, № 1. С. 95–99.
2. Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С. и др. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 2. С. 120–127.
3. Белов С.В., Лалин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерагеня платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). М.: ИМГРЭ, 2008. 537 с.
4. Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А. Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. 2010. № 4. С. 366–376.
5. Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Минин В.А., Толстов А.В. Поведение породообразующих и редкоземельных элементов при постмагматическом изменении кимберлитов // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 1. С. 82–100.
6. Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Толстов А.В., Минин В.А. Основные процессы, определяющие вторичные изменения кимберлитов // Геохимия. 2016. № 4. С. 396–406.
7. Емельянов В.С., Толстов А.В., Борис Е.И. Новые данные о перспективах коренной алмазоносности Виллойско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Якутск: ЯФГУ «Издательство СО РАН», 2004. С. 115–123.
8. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И. и др. Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 59–67.
9. Калмыков Б.А., Пелецкий М.Н. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов // Материалы научно-практической конференции, к 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА» «Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов». Мирный, 1998. С. 218–221.
10. Кременецкий А.А., Карась С.А., Толстов А.В. Геохимические поиски кимберлитовых трубок на закрытых территориях: проблемы и решения // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 126–139.
11. Лалин А.В., Толстов А.В., Василенко В.Б. Петрогеохимические особенности кимберлитов Средне-Мархинского района в связи с проблемой геохимической неоднородности кимберлитов // Геохимия. 2007. № 12. С. 1292–1304.
12. Лалин А.В., Толстов А.В., Антонов А.В. Изотопный состав Sr- и Nd кимберлитов и конвективных с ними пород Сибирской платформы // Доклады РАН. 2007. Т. 414, № 1. С. 78–82.
13. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2016. № 3. С. 86–94.
14. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Минин В.А. Перспективы выявления новых кимберлитов на Виллой-Мархинском междуречье (Западная Якутия) // Месторождения алмазов: процессы формирования, закономерности локализации, методы прогнозирования и поисков. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2016. С. 76–80.
15. Мальцев М.В., Толстов А.В. Новые перспективы коренной алмазоносности Виллой-Мархинского междуречья // Материалы Всероссийской научно-практической конференции ВНК-2017. Якутск, 2017. С. 339–344.
16. Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. 2008. № 4–5. С. 108–112.
17. Соболев Н.В., Соболев А.В., Томиленко А.А. и др. Уникальные особенности состава вкрапленников оливина посттрапповой алмазоносной кимберлитовой трубки «Малокуонапская», Якутия // Доклады РАН. 2015. Т. 463, № 5. С. 587–591.
18. Толстов А.В. Пластовые кимберлиты Севера Сибирской платформы (в связи с поисками коренных источников алмазов) // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. АК «АЛРОСА» (ЗАО). Воронеж: ВГУ, 2001. С. 135–143.
19. Толстов А.В. Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. М.: ИМГРЭ, 2006. 212 с.
20. Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б. и др. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накыньском поле Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 3. С. 227–240.
21. Толстов А.В., Фомин В.М., Разумов А.Н., Гончаров Е.М. Новые подходы к поискам месторождений алмазов в Якутской алмазоносной провинции // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. Київ: Изд-во УКР ДГРІ, 2013. №1. С. 154–161.
22. Шкодзинский В.С., Толстов А.В. Признаки алмазоносности кимберлитов // Наука и образование. 2007. № 4. С. 11–16.
23. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V. and at. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb Dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS // Geochemical Journal. 2016. Т. 50, № 5. P. 431–438.
24. Gurney J.J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. 1995. V.53. P.293–309.

Поступила в редакцию 03.11.2017