

УДК 549.322+552.323.6

## ДЖЕРФИШЕРИТ В НЕИЗМЕНЕННЫХ КИМБЕРЛИТАХ ТРУБКИ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ, ЯКУТИЯ

© 2003 г. В. В. Шарыгин, А. В. Головин, Н. П. Похиленко, академик Н. В. Соболев

Поступило 31.01.2003 г.

Джерфишерит  $K_6Na(Fe,Ni,Cu)_{24}S_{26}Cl$ , открытый в метеоритах [1], затем был обнаружен в медно-никелевых рудах, в кимберлитах, в щелочно-ультраосновных и карбонатитовых породах, в щелочных агпаитовых породах, а также в скарнах вокруг щелочных массивов. Данные по находкам и генезису джерфишерита обобщены Д. Кларк с соавторами [2], а информация о новых проявлениях этого минерала приведена в [3–5]. В кимберлитах джерфишерит отмечается довольно редко. Вначале этот минерал был идентифицирован в алмазах и ксенолитах из кимберлитов Якутии и Южной Африки как фаза, образующая каймы вокруг первичных Fe–Ni–Cu-сульфидов [6–8]. Позже джерфишерит установлен в основной массе кимберлитов Канады (Северо-Западные территории) как первичная фаза, кристаллизующаяся на позднематематической стадии [2, 9].

В настоящей работе приводятся результаты детального изучения джерфишерита из основной массы неизменных кимберлитовых брекчий и монтичеллитовых кимберлитов трубки Удачная-Восточная. Ранее нам удалось обнаружить и проанализировать джерфишерит только во вторичных включениях расплава в оливине кимберлитовых брекчий [10].

Изученные кимберлитовые брекчии представляют основной третий этап внедрения в трубке Удачная-Восточная. Эти породы слагают центральную часть тела на глубине ниже 350 м. Они содержат значительное количество мантийных ксенокристов и ксенолитов, а также коровый ксеногенный материал. Фенокристы представлены оливином и флогопитом. Основная масса состоит из оливина, кальцита, флогопита, перовскита, зональной шпинели (хромит–Ti-магнетит–магнетит), ильменита, джерфишерита, пирротина и, возможно, Na–Ca-карбонатов. Монтичеллитовый кимберлит является более поздней фазой внедрения по отношению к кимберлитовой брек-

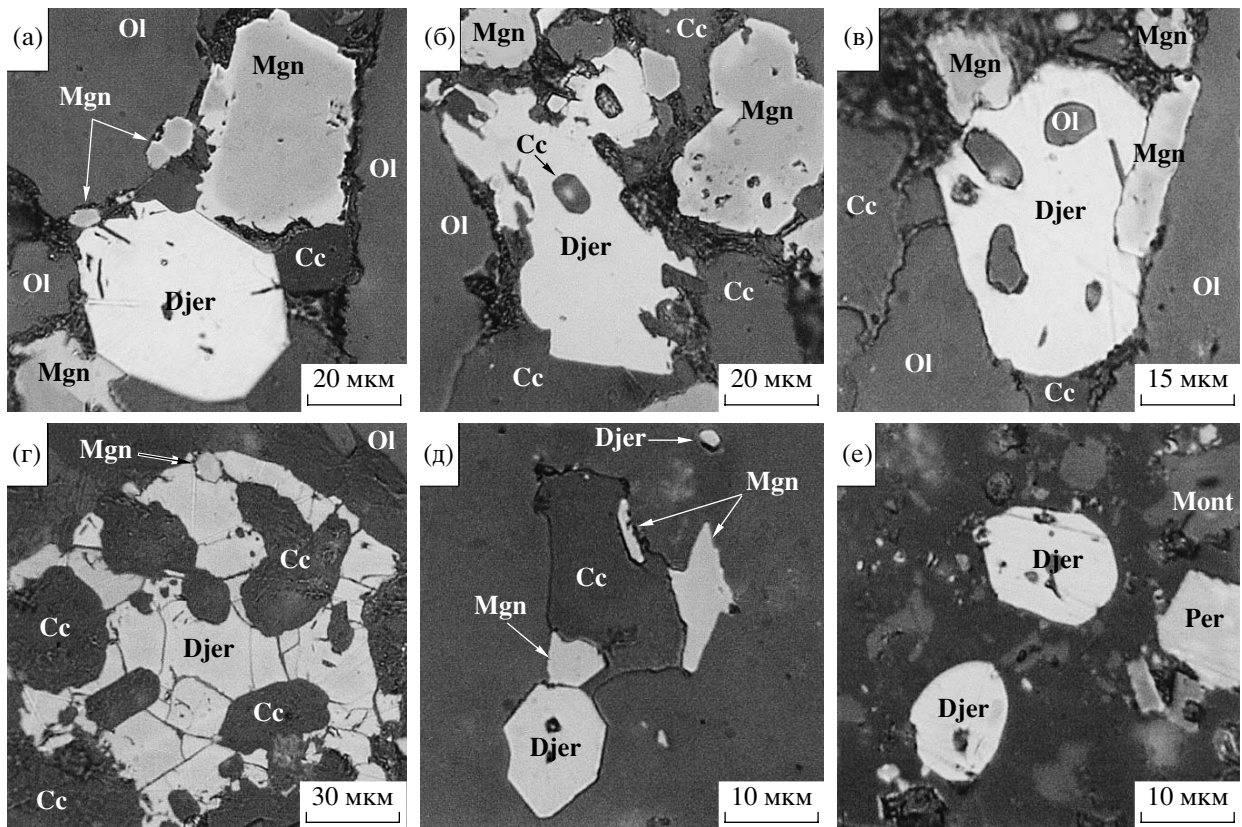
чии. В некоторых случаях он образует в последней крупные блоки и инъекции [11]. Нами изучены черные маломощные (до 2–3 см) инъекции монтичеллитовой породы. Количество ксеногенного материала в монтичеллитовом кимберлите составляет менее 5 об.%. Вкрапленники представлены оливином, реже флогопитом. Основная масса содержит оливин, перовскит, флогопит, монтичеллит, зональную шпинель (хромит–Ti-магнетит–магнетит), содалит и джерфишерит, кальцит присутствует в малых количествах. Следы вторичных изменений во всех изученных образцах кимберлитов практически отсутствуют. Следует также отметить, что джерфишерит – преобладающая сульфидная фаза в изученных кимберлитовых породах.

В основной массе кимберлитовой брекчии джерфишерит является наиболее поздней фазой. Он образует либо отдельные зерна (до 50–100 мкм) в тесной ассоциации с магнетитом и иногда с пирротинном, либо заполняет интерстиции между зернами других минералов. В качестве включений в зернах джерфишерита присутствуют оливин, кальцит и другие минералы основной массы (рис. 1а–г).

Джерфишерит также присутствует во вторичных включениях, которые образуют трассирующие цепочки во вкрапленниках оливина. В этом минерале джерфишерит выявлен как в виде отдельных сульфидных глобул (до 30 мкм), так и в виде индивидуальных фаз во вторичных расплавленных и полиминеральных включениях (5–80 мкм). В расплавленных включениях он присутствует совместно с карбонатами, силикатами, магнетитом, хлоридами, сульфатами и Ni-пирротинном (4.4 мас. % Ni) [10]. Размер зерен джерфишерита – 2–15 мкм. Гомогенизация включений расплава происходит при 700–800°C, а их захват осуществлялся в приповерхностных условиях [10]. Полиминеральные включения представлены ассоциацией кальцит + магнетит + джерфишерит (рис. 1д).

В монтичеллитовом кимберлите джерфишерит образует округлые обособления (до 20 мкм) в основной массе и в пойкилитовом содалите совместно с монтичеллитом, перовскитом и магнетитом (рис. 1е).

*Институт минералогии и петрографии  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Новосибирск*



**Рис. 1.** Джерфишерит в кимберлитах трубки Удачная-Восточная (отраженный свет). а–д – в кимберлитовой брекчии: а – полигональное зерно в основной массе в ассоциации с зональной шпинелью (центр – хромпикотит, середина – Тi-магнезиоферрит, край – магнезиоферрит), оливином и кальцитом; б – ксеноморфное выделение с включением кальцита; в – зерно с включениями оливина; г – ксеноморфное выделение с включениями кальцита; д – вторичное полиминеральное включение (кальцит + магнетит + джерфишерит) в краевой зоне ксеногенного оливина; е – округлые выделения джерфишерита в ассоциации с монтичеллитом и перовскитом в пойкилитовом содалите монтичеллитового кимберлита. Djer – джерфишерит; Mgn – зональная шпинель; Ol – оливин; Cc – кальцит; Mont – монтичеллит; Per – перовскит.

Химический состав джерфишерита определен на микрозонде "Camebax" в ОИГГМ СО РАН. Для анализа подбирались зерна размером более 10 мкм (размер пучка зонда – 2 мкм). Для джерфишерита из включений в оливине кимберлитовой брекчии характерны наиболее широкие вариации по составу, мас. %: Fe 32.6–38.8; Ni 4.2–23.1; Co 0.2–0.5; Cu 0.1–17.56; K 8.9–9.3; Na 0.04–0.7; S 32.5–33.4; Cl 1.2–1.4. Однако в пределах одного зерна (центр–край) вариации по Fe, Ni и Cu незначительны. Джерфишерит из основной массы кимберлитовых брекчий и монтичеллитовых кимберлитов в целом по концентрации Fe, Ni, Cu характеризуется более узкими вариациями состава, при этом в пределах одного зерна (центр–край) изменения состава также минимальны (табл. 1). Так, джерфишерит из основной массы кимберлитовой брекчии имеет следующие вариации состава, мас. %: Fe 37.0–42.7; Ni 2.0–6.3; Co 0.2–0.4; Cu 9.9–14.9; K 8.8–9.4; Na 0–0.2; S 32.6–33.3; Cl 1.2–1.5. К-сульфид из основной массы монтичеллитового

кимберлита характеризуется более низкими концентрациями Cu и более высокими содержаниями Ni, мас. %: Fe 38.1–43.5; Ni 5.8–7.9; Co 0.15–0.22; Cu 6.1–10.0; K 9.1–9.4; S 33.1–33.4; Cl 1.3–1.5 (табл. 1).

На вариационных диаграммах (рис. 2) хорошо проявляются различия между джерфишеритами из включений в оливине и из основной массы кимберлитовой брекчии и монтичеллитового кимберлита. По содержанию Cu джерфишерит из основной массы кимберлитовой брекчии образует две группы составов, причем одна из групп перекрывается с частью составов К-сульфида из включений в оливине. Это свидетельствует о том, что часть джерфишеритов в оливине, по-видимому, является результатом внедрения остаточного кимберлитового расплава [10]. Тогда как остальные джерфишериты в ксенокристаллах оливина, возможно, образовались за счет замещения первичных сульфидов. В целом для джерфишеритов из основной массы кимберлитовой брекчии и мон-

**Таблица 1.** Представительные анализы джерфшерита из кимберлитов трубки Удачная-Восточная, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K	8.94	8.95	9.05	9.00	9.01	9.30	9.04	9.38	9.02	9.10	9.27	9.25	9.23	9.14	9.41
Na	0.08	0.69	<0.05	0.05	0.07	0.09	<0.05	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Fe	34.82	34.78	38.83	35.96	32.56	42.79	42.23	42.73	37.03	38.99	43.49	42.13	43.40	38.07	40.85
Ni	4.20	5.33	5.45	15.54	23.09	1.97	1.98	2.50	4.60	6.30	5.84	6.32	6.35	7.55	7.85
Co	0.17	0.16	0.26	0.34	0.50	0.19	0.20	0.19	0.18	0.49	0.19	0.20	0.18	0.17	0.15
Cu	17.56	15.95	12.01	4.88	0.06	10.66	9.93	10.47	14.86	11.33	6.53	7.54	6.05	10.00	7.23
S	32.81	32.80	32.74	32.88	33.09	33.18	32.90	32.77	32.75	32.68	33.31	33.11	33.18	33.37	33.10
Cl	1.35	1.28	1.35	1.32	1.29	1.33	1.33	1.40	1.34	1.29	1.41	1.38	1.40	1.45	1.42
Сумма	99.93	99.94	99.69	99.97	99.67	99.51	97.61	99.63	99.78	100.18	100.04	99.93	99.80	99.75	100.01
K	5.81	5.82	5.89	5.84	5.81	5.98	5.86	6.10	5.87	5.94	5.93	5.96	5.93	5.84	6.06
Na	0.09	0.76	0.00	0.06	0.08	0.10	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	15.84	15.83	17.70	16.32	14.69	19.25	19.16	19.46	16.88	17.81	19.49	18.99	19.52	17.03	18.42
Ni	1.82	2.31	2.36	6.71	9.91	0.84	0.86	1.08	2.00	2.74	2.49	2.71	2.72	3.21	3.37
Co	0.07	0.07	0.11	0.14	0.21	0.08	0.09	0.08	0.08	0.21	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07
Cu	7.02	6.38	4.81	1.95	0.02	4.21	3.96	4.19	5.95	4.55	2.57	2.99	2.40	3.93	2.87
S	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
Cl	0.97	0.92	0.97	0.94	0.92	0.94	0.95	1.00	0.96	0.93	1.00	0.98	0.99	1.02	1.01

Примечание. 1–5 – из включений в ксенокристаллах оливина кимберлитовой брекчии; 6–10 – из основной массы кимберлитовой брекчии; 11–15 – из основной массы монтичеллитового кимберлита. Формула рассчитана на S = 26.

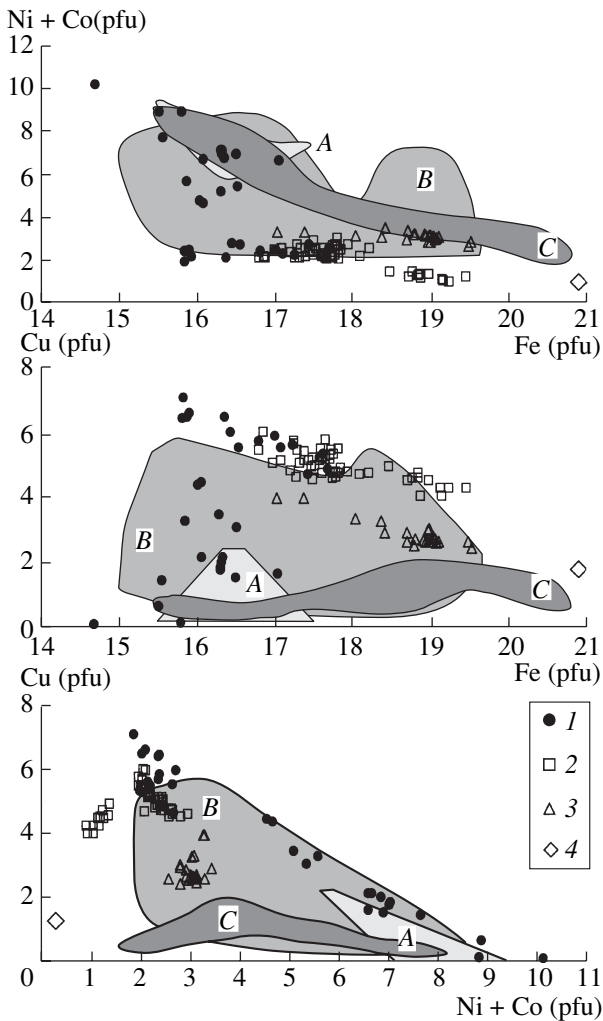
тичеллитового кимберлита характерна отрицательная корреляция между Cu и Fe, что, по-видимому, свидетельствует об изоморфизме этих элементов в структуре джерфшерита, а какие-либо корреляции между Cu и (Ni + Co) практически отсутствуют. В отличие от основной массы для джерфшерита из включений в оливине выявляется отрицательная корреляция между Cu и (Ni + Co).

Данные по составу джерфшерита из кимберлитов трубки Удачная-Восточная были сопоставлены с литературными данными по составу джерфшеритов из сульфидных ассоциаций в алмазах и ксенолитах из кимберлитов Якутии, а также из основной массы кимберлитов Канады [2, 6–8]. В целом большинство составов джерфшерита из кимберлитов трубки Удачная-Восточная попадают в поля составов этого минерала из алмазов и ксенолитов Якутии (рис. 2). Джерфшерит из основной массы кимберлитов этой трубки имеет более медистые составы, чем минерал из кимберлитов Элвин-Бей (Канада) [2].

Полученные данные свидетельствуют о том, что джерфшерит в кимберлитах трубки Удачная-Восточная является продуктом позднематматической кристаллизации, когда остаточный расплав имел существенно карбонатитовый состав [10]. Следует отметить, что джерфшерит и другие калиевые сульфиды являются достаточно обычными поздними фазами для вулканических и

интрузивных карбонатитов и щелочных пород, генетически связанных с ними [3–5]. В процессе формирования кимберлитовых брекчий за счет кристаллизации фенокритов состав кимберлитового расплава постепенно смещался в сторону карбонатитов. Кристаллизация карбонатитов из силикатно-карбонатного расплава, по-видимому, способствовала стабилизации джерфшерита. Монтичеллитовый кимберлит по минеральному составу основной массы принципиально отличается от кимберлитовой брекчии, в частности незначительным количеством карбонатитов и присутствием монтичеллита и содалита [11]. Это свидетельствует о том, что кимберлитовый расплав, формировавший породы более поздних стадий, имел несколько иной состав. Состав и характер эволюции для кимберлитовых расплавов, формировавших кимберлиты разных стадий трубки Удачная-Восточная, по-видимому, определили различия в составе джерфшеритов.

Сопоставление данных по химическому составу джерфшерита из кимберлитов и ксенолитов, присутствующих в них, позволяет сделать некоторые предположения о генезисе этого сульфида в ксенолитах и ксенокристаллах. Результаты предыдущих исследований [6–8] свидетельствуют, что джерфшерит в алмазах и ксенолитах является вторичным минералом, образовавшимся за счет первичных мантийных сульфидов под воздействием



**Рис. 2.** Вариации состава джерфишерита (в формульных единицах) из кимберлитов трубки Удачная-Восточная. 1 – из включений в оливине кимберлитовой брекчии; 2 – из основной массы кимберлитовой брекчии; 3 – из основной массы монтчеллитового кимберлита; 4 – из метеоритов [1]. Поля составов джерфишерита: А – из первичных сульфидных включений в алмазах из кимберлитов Якутии [8], В – из сульфидных ассоциаций в глубинных ксенолитах из кимберлитов Якутии [6–8]; С – из основной массы кимберлитов Элвин-Бей, Канада [2].

вием метасоматизирующего флюида/расплава, обогащенного К, Cl, S и другими компонентами. На данный момент нет однозначного ответа по поводу того, каков был источник метасоматического агента и при каких *PT*-параметрах он воздействовал на первичные сульфиды. Существуют три точки зрения на этап воздействия флюида/расплава на первичные мантийные сульфиды: 1) метасоматоз в мантии до их попадания в кимберлитовый расплав; 2) метасоматоз в процессе транспортировки ксенолита на поверхность; 3) метасо-

матоз на пост/позднемагматической стадии формирования кимберлитов [2, 6–8].

В настоящее время имеется ряд весомых аргументов в пользу мантийной природы джерфишерита. В частности, присутствие первичных кристаллических включений флогопита и биотита, имеющих “алмазную” огранку (иногда в сростании с гранатом и омфацитом), а также первичных включений К-титанатов сложного состава в алмазах из различных регионов мира убедительно свидетельствует о возможности существования К–Cl-содержащих флюидов/расплавов в мантии в области устойчивости алмаза [12–14].

С другой стороны, нельзя отрицать и того, что джерфишерит в алмазах и ксенолитах из кимберлитов, возможно, представляет собой в ряде случаев продукт реакции остаточного кимберлитового расплава (либо флюида, отделившегося от него) с первичными мантийными сульфидными ассоциациями, присутствующими в межзерновом пространстве ксенолитов из кимберлитов, можно также допустить не только реакционную природу джерфишерита, но и его обычную кристаллизацию из расплава. В этом случае первичные сульфиды, в первую очередь пентландит из-за сходства структур [15], могли служить затравкой для кристаллизации джерфишерита из остаточного кимберлитового расплава, проникающего в ксенолит по межзерновому пространству.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 02–05–64620 и 00–15–98541), ОИГГМ СО РАН (молодежный грант 1762).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fuchs L.H. // Science. 1966. V. 153. P. 166–167.
2. Clarke D.B., Mitchell R.H., Chapman C.A.T., MacKay R.M. // Can. Miner. 1994. V. 32. № 4. P. 815–823.
3. Dawson J.B., Smith J.V., Steele I.M. // J. Petrol. 1995. V. 36. P. 797–826.
4. Barkov A.Y., Laajoki K.V.O., Gehör S.A. et al. // Can. Miner. 1997. V. 35. P. 1421–1430.
5. Henderson C.M.B., Kogarko L.N., Plant D.A. // Miner. Mag. 1999. V. 63. P. 488–495.
6. Добровольская М.Г., Цепин А.И., Илупин И.П., Пономаренко А.И. В кн.: Минералы и парагенези-

- сы минералов эндогенных месторождений. Л.: Наука, 1975. С. 3–11.
7. Соловьева Л.В., Баранкевич В.Г., Завьялова Л.Л., Липская В.И. // ДАН. 1988. Т. 303. № 6. С. 1450–1454.
  8. Буланова Г.П., Специус З.В., Лескова Н.В. Сульфиды в алмазах и ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.
  9. Chakmouradian A.R., Mitchell R.H. // Mineral. Mag. 2001. V. 65. P. 133–148.
  10. Головин А.В., Шарыгин В.В., Похиленко Н.П. и др. // ДАН. 2003. Т. 388. № 3. С. 369–372.
  11. Корнилова В.П., Егоров К.Н., Сафронов А.Ф. и др. // Отеч. геология. 1998. № 1. С. 48–51.
  12. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Channer D.M.D. et al. // Geology. 1998. V. 26. Iss. 11. P. 971–974.
  13. Sobolev N.V., Kaminsky F.V., Griffin W.L. et al. // Lithos. 1997. V. 39. Iss. 3/4. P. 135–157.
  14. Копылова М.Г., Рикард Р.С., Клейнстьюбер А. и др. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 382–397.
  15. Evans H.T., Clark J.R. // Amer. Miner. 1981. V. 66. P. 376–384.