

Литература

1. Семенов Е.И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972.
2. Пеков И.В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы.-М.: Творческое объединение «Земля» Ассоциация Экоств, 2001.-464 с.

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ХЛОРИДСОДЕРЖАЩИХ НОДУЛЕЙ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ, ЯКУТИЯ

*Шарыгин В.В.**, *Каменецкий В.С.***, *Каменецкая М.Б.***, *Головин А.В.**

**Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, sharygin@uiggm.nsc.ru*

*** Центр по изучению рудных месторождений, Университет Тасмании, Хобарт, Австралия, dima.kamenetsky@utas.edu.au*

Введение

В последнее время кимберлиты трубки Удачная-Восточная (УВ) стали объектом пристального внимания петрологов, занимающихся мантийным магматизмом. В первую очередь это связано с тем, что на глубине более 350 м были выявлены уникально свежие породы [1]: как сами кимберлиты, так и ксенолиты. Нодули в кимберлитах (перидотиты, эклогиты, метаморфические и осадочные породы, а также алмазсодержащие породы) обычно используются для оценки главных физических, химических и структурных параметров субконтинентальной литосферы, свойств кимберлитовой магмы и условий кристаллизации алмазов. Кимберлитовая трубка Удачная, несомненно, является благодатным объектом для таких исследований благодаря большому количеству и разнообразию нодулей и их исключительной сохранности.

Объектом наших исследований являются уникальные хлоридсодержащие нодули, недавно выявленные в кимберлитах трубки УВ на глубоких горизонтах карьера (400-500 м) [2-3]. Вмещающие породы также уникальны по своему химическому и минеральному составу. Основная масса кимберлитов имеет существенно оливин-карбонат-хлоридный состав и практически лишена каких-либо признаков замещения [4, 5]. По-видимому, присутствие нодулей хлоридного состава в неизменных кимберлитах не является случайным совпадением, и это дает возможность по-новому взглянуть на эволюционную историю кимберлитовых магм.

Особенность хлоридсодержащих нодулей в кимберлитах УВ заключается в том, что по своему химическому и минеральному составу с одной стороны они полностью идентичны расплавленным включениям ($T_{\text{гом}}=650-800^{\circ}\text{C}$), выявленным в оливинах вмещающих кимберлитов, и весьма близки к натрокарбонатитам Олдоиньо-Ленгаи [2-5], а с другой стороны напоминают эвапориты. В целом, минералогическое разнообразие в хлоридсодержащих нодулях УВ значительно выше, чем в самих кимберлитах и во включениях расплава кимберлитовых оливинов (Таблица 1).

Минералогия и петрография хлоридсодержащих нодулей

Хлоридсодержащие нодули имеют округлую или угловатую форму, их размер обычно варьирует от 5 до 30 см, иногда до 1 м. Минеральный состав также сильно варьирует: от хлоридных до пород, близких по составу к кимберлитам. Наиболее распространенными являются хлоридные нодули (>90-95% NaCl+KCl). Хлоридно-карбонатные (примерно 50% NaCl+KCl), хлорид-карбонат-силикатные (50-70% NaCl+KCl) и карбонатные с небольшой долей хлоридов встречаются значительно реже. Помимо хлоридного и карбонатного компонентов, для всех нодулей характерно присутствие (обычно 1-5%, реже до 30% - хлорид-карбонат-силикатные нодули) тонкокристаллического агрегата, состоящего из хлоридов, силикатов, карбонатов и сульфатов (\pm сульфидов). Контакт нодулей с кимберлитом резкий, без каких-либо признаков термического воздействия. В зоне контакта

Таблица 1. Перечень минералов, обнаруженных в хлоридсодержащих нодулях (ND), в основной массе кимберлитов (KG) и в расплавных включениях в оливине кимберлитов (MI), трубка Удачная-В.

Минерал	Формула	ND	KG	MI
Сульфиды				
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	x	x	x
Пентландит	$(Fe,Ni)_9S_8$		*	
Халькопирит	$CuFeS_2$	*	*	
Джерфишерит	$K_6Na_{0.1}(Fe,Ni,Cu)_{24}S_{26}Cl$	x	x	X
Расвумит	KFe_2S_3	X	x	
Галениит	PbS	*		
Сфалерит	ZnS	*	*	
Хлориды				
Галит	$NaCl$	X	x	X
Сильвин	KCl	X	x	X
Карбонаты				
Кальцит	$CaCO_3$	X	X	X
Доломит	$CaMg(CO_3)_2$		*	*
Сидерит - Магнезит	$FeCO_3 - MgCO_3$			*
Шортит	$Na_2Ca_2(CO_3)_3$	X	x	X
Земкорит-«ниеререит»	$(Na,K)_2Ca(CO_3)_2$	X	x	X
Нортупит	$Na_3Mg(CO_3)_2Cl$	X		x
Альстонит-Паральстонит	$BaCa(CO_3)_2$	x		
Олекминскит	$Sr(Sr,Ca,Ba)(CO_3)_2$	*		
Нахколит	$NaHCO_3$			*
Пирссонит	$Na_2Ca(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$	x	x	*
Гейлоссит	$Na_2Ca(CO_3)_2 \cdot 5H_2O$	*	*	
Трона	$Na_3(CO_3)(HCO_3) \cdot 2H_2O$	x		
Сульфаты				
Афтиталит	$NaK_3(SO_4)_2$	X	*	X
Шайрерит	$Na_{21}(SO_4)_7F_6Cl$	x		
Барит	$BaSO_4$	x		
Целестин	$SrSO_4$	*		
Ангидрит	$CaSO_4$	*		
Сингенит	$K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$	*		
Фосфаты				
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(F,OH)$	x	x	*
Брэдлиит	$Na_3Mg(PO_4)(CO_3)$	*		
Оксиды				
Рутил	TiO_2		x	*
Перовскит	$CaTiO_3$	x	X	*
Хромит	$(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$	*	X	*
Ti-магнетит	$(Fe,Mg)(Fe,Ti)_2O_4$	*	X	*
Магнетит	$FeFe_2O_4$	x	X	X
Ильменит	$(Fe,Mg)TiO_3$	x	x	x
Пирофанит	$(Mn,Fe)TiO_3$			
Брусит	$Mg(OH)_2$	*		
Силикаты				
Флогопит	$KMg_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$	x	X	X
Тетраферрифлогопит	$KMg_3FeSi_3O_{10}(OH)_2$	x	x	X
Диопсид	$CaMgSi_2O_6$	*	*	*
Гумит	$(Mg,Fe)_7(SiO_4)_3(F,OH)_2$	x		x
Клиногумит	$(Mg,Fe)_9(SiO_4)_4(F,OH)_2$	x		x
Куспидин	$Ca_4Si_2O_7F_2$	*		
Содалит	$Na_8Al_6Si_6O_{24}Cl_2$	*	*	*
Оливин	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	x	X	x
Монтчеллит	$Ca(Mg,Fe)SiO_4$	*	*	*

X - породообразующие (>10 об.%); x - второстепенные (1-5%); * - аксессуарные. Данные авторов и по [2-6].

(до 1 мм) образуется брекчиеподобный агрегат, состоящий из оливина, кальцита, Na-Ca-карбонатов, содалита, флогопита-тетраферрифлогопита, гумита-клиногумита, Fe-Mg-карбонатов, перовскита, апатита, Fe-Ti-оксидов, джерфишерита и щелочных сульфатов в матриксе хлоридов.

Для хлоридно-карбонатных нодулей УВ характерно ориентированное расположение карбонатов в сахаровидном агрегате хлоридов. Такие нодули по минеральному набору карбонатов можно подразделить на две группы: «ниеререитовые» и шортит-кальцит-нортупитовые [2-3].

Главными породообразующими минералами хлорид-«ниеререитовых» нодулей являются галит, сильвин, зональный «ниеререит» (Na-K-Ca-S-карбонат), шортит, афтиталит и расвумит. В незначительных количествах присутствуют апатит, оливин, флогопит-тетраферрифлогопит, джерфишерит, гумит-клиногумит, Fe-Ti-оксиды, перовскит, сфалерит. Зональный характер кристаллов «ниеререита» (до 5 см) выражается в постоянном присутствии оторочки, состоящей из тонкозернистого «губчатого» агрегата шортита, кальцита и афтиталита [2-3]. Центральная часть кристаллов представлена Na-K-Ca-S-карбонатом, близкого по химическому составу к ниеререиту из карбонатитов Олдоиньо — Ленгаи (Танзания) и земкориту из кимберлитов трубки Удачная-Восточная и Южной Индии, но отличающегося от них по рентгendifракционным данным [6-7]. Следует отметить, что хлорид-«ниеререитовые» нодули по минеральному составу напоминают маломощные (1-3 см) жилки (более 2 м в длину), которые иногда присутствуют в свежих кимберлитах (данные авторов). Основным минералом этих жилок является Na-Ca-карбонат («ниеререит» или земкорит), а хлориды имеют подчиненное распространение.

Хлорид-шортит-нортупит-кальцитовые нодулы встречаются значительно реже, чем «ниеререйтовые». Помимо карбонатов, эти нодулы содержат разнообразные второстепенные фазы, которые присутствуют на контакте хлоридов и карбонатов, либо в качестве кристаллических включений в шортите и нортупите. Эти фазы представлены афтиталитом, тетраферрифлогопитом, флогопитом, джерфишеритом, апатитом, Na-сульфатами, Ca-Ba-Sr-карбонатами и сульфатами (альстонит-паральстонит, олекминскит, барит, целестин), галенитом, Cu-сульфидами и брэдлеитом [3].

Хлоридные нодулы на 90-95 % состоят из крупно-, среднезернистых хлоридов (галит, сильвин). Остальные фазы (сульфаты, карбонаты, силикаты, оксиды) второстепенны и образуют тонкозернистый агрегат между хлоридами. В разных образцах хлоридных нодул этот агрегат варьирует по минеральному составу и может содержать флогопит, куспидин, диопсид, кальцит, ангидрит, афтиталит, магнетит, монтичеллит, сульфиды, сингенит (или его безводный аналог). В некоторых крупных нодулах (более 30 см) на контакте с кимберлитом появляется «ниеререйт» с шортитовой оторочкой. В зоне контакта также могут присутствовать пирофанит, шайрерит, брусит, джерфишерит, альстонит-паральстонит, барит, K-Ca-сульфат.

Хлоридно-карбонат-силикатные нодулы состоят из двух компонентов: крупнокристаллического хлоридного (>50-70%) и тонкозернистого хлоридно-карбонат-сульфат-силикатного (20-30%). В большинстве случаев, тонкозернистый агрегат локализуется на контакте с вмещающим кимберлитом. Контакт между крупнозернистой хлоридной и тонкокристаллической составляющими, как правило, резкий. На контакте (в хлоридной составляющей) иногда присутствуют кристаллы пирротина, а также зональный агрегат карбонатов (центр - кальцит, губчатая оторочка – шортит). Зерна афтиталита обычно располагаются на границе карбонатов и хлоридов. Помимо хлоридов, карбонатов и сульфатов тонкокристаллический агрегат содержит сульфиды (пирротин, джерфишерит, сфалерит), оксиды (зональная шпинель, перовскит) и силикаты (флогопит, тетраферрифлогопит, монтичеллит, оливин). В целом, по минеральному составу он напоминает основную массу кимберлитов.

Карбонатные нодулы с малым количеством хлоридов достаточно редки в кимберлитах. Эти мелкозернистые породы состоят из кальцита (50-70 об.%), Na-Ca-карбонатов, хлоридов, флогопита-тетраферрифлогопита. Оливин, пирротин, K-сульфиды присутствуют в подчиненном количестве.

Под воздействием атмосферных осадков хлоридсодержащие нодулы легко разрушаются. В частности, это приводит к растворению хлоридов и щелочных сульфатов, образованию оксидной пленки на расвумите и джерфишерите и замещению «ниеререйта» и шортита пирссонитом и другими водосодержащими карбонатами (вплоть до троны). Изначально плотный хлоридно-карбонат-сульфат-силикатный агрегат под воздействием воды легко превращается в порошок. Подобные явления очень типичны для натрокарбонатитов Олдоиньо Ленгаи [8-9].

Генезис хлоридсодержащих нодул

Появление хлоридсодержащих нодул в кимберлитах УВ требует специального рассмотрения. На данный момент можно предложить три различных варианта их генезиса.

Первый вариант предполагает, что хлориды в кимберлитах Сибирской платформы - это результат просачивания подземных рассолов на постмагматической стадии [10]. В целом, такое предположение справедливо для измененных кимберлитов, содержащих серпентин. По аналогии можно было бы предположить подобный механизм и для хлоридсодержащих нодул в свежих кимберлитах. Однако инфильтрация рассолов неизбежно должна приводить к обильным вторичным преобразованиям, тогда как изученные кимберлиты УВ не имеют каких-либо признаков серпентинизации оливина и появления поздних водосодержащих фаз. Кроме того, хлоридные нодулы содержат высокотемпературный «ниеререйт», K-сульфиды, а также силикаты (флогопит, оливин, монтичеллит и др.), кристаллизация которых из низкотемпературного рассола маловероятна.

Второй вариант подразумевает, что хлоридсодержащие нодулы УВ могут быть фрагментами эвапоритов, подвергшиеся термометаморфизму под воздействием кимберлитового расплава. В целом, такое предположение возможно справедливо для некоторых кимберлитовых трубок юга Сибирской платформы (Мир, Интернациональная и др.), где эвапориты (галитовые породы, доломит) являются вмещающими породами. Однако как показало бурение (до 2000 м) вокруг трубки Удачная (север Сибирской платформы), галитовые породы практически отсутствуют в разрезе осадочного чехла [11]. Единичные находки прослоев галитовых пород (5-10 см) в крупных блоках карбонатных пород в кимберлитах, выявленные в процессе отработки карьера (уст. сообщение, Похиленко Н.П.) не дают оснований говорить о широкой распространенности хлоридных пород в осадочном разрезе. Появление минеральных ассоциаций, обнаруженных в нодулах УВ, вполне возможно в результате термометаморфизма. Но для эвапоритов Сибирской платформы характерно постоянное присутствие боратной минерализации и битумов. Карбонатные породы вокруг трубки Удачная также содержат битум. Однако в хлоридсодержащих нодулах пока не обнаружены ни бораты, ни битумы (или продукты их пиролиза).

Третий вариант рассматривает, что хлоридсодержащие нодулы УВ являются продуктами поздней эволюции кимберлитового расплава [2-5], а хлоридный компонент имеет, возможно, мантийный источник [12]. После кристаллизации оливина кимберлитовый расплав постепенно эволюционировал в сторону безводных и несиликатных составов. Из низкотемпературного (<700°C) остаточного расплава кристаллизовались кальцит, щелочные карбонаты, хлориды и сульфаты, которые являются главными компонентами основной массы кимберлита и образуют нодулы в кимберлите. По своим геохимическим особенностям и минеральному составу нодулы УВ напоминают натрокарбонатиты Олдоиньо Ленгаи [2-3].

С нашей точки зрения, магматогенная гипотеза наиболее полно объясняет все минералогическое разнообразие и условия образования конкретных минеральных фаз в хлоридсодержащих нодулах УВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-05-00072) и СО РАН (интеграционный проект 6.15).

Литература

1. *Маришинцев В.К., Мигалкин К.Н., Николаев Н.С., Барашков Ю.П.* Неизменные кимберлиты трубки Удачная-Восточная // Доклады АН СССР. 1976. Т. 231. № 4. С. 961-964.
2. *Каменецкий В.С., Шарыгин В.В., Каменецкая М.Б., Головин А.В.* Хлоридно-карбонатные нодулы в кимберлитах трубки Удачная: альтернативный взгляд на эволюцию кимберлитовых магм // Геохимия. 2006. № 9. С. 1006-1012.
3. *Kamenetsky V.S., Kamenetsky M.B., Sharygin V.V., Faure K., Golovin A.V.* Chloride and carbonate immiscible liquids at the closure of the kimberlite magma evolution (Udachnaya-East kimberlite, Siberia) // Chemical Geology. 2007. V. 237, P. 384-400.
4. *Kamenetsky M.B., Sobolev A.V., Kamenetsky V.S., Maas R., Danyushevsky L.V., Thomas R., Sobolev N.V., Pokhilenko N.P.* Kimberlite melts rich in alkali chlorides and carbonates: a potent metasomatic agent in the mantle // Geology. 2004. V. 32. P. 845-848.
5. *Головин А.В., Шарыгин В.В., Похиленко Н.П.* Расплавные включения во вкрапленниках оливина из неизменных кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): некоторые аспекты эволюции кимберлитовых магм на поздних стадиях кристаллизации // Петрология. 2007. Т. 15. № 2. С. 178-195.
6. *Егоров К.Н., Ущановская З.Ф., Кашаев А.А., Богданов Г.В., Сизых Ю.И.* Земкорит - новый карбонат из кимберлитов Якутии // Доклады АН СССР. 1988. Т. 301. С. 188-192.
7. *Parthasarathy G., Chetty T.R.K., Haggerty S.E.* Thermal stability and spectroscopic studies of zemkorite: a carbonate from the Venkatampalle kimberlite of southern India // American Mineralogist. 2002. V. 87. P. 1384-1389.
8. *Keller J., Krafft M.* Effusive natrocarbonatite activity of Oldoinyo Lengai, June 1988 // Bulletin of Volcanology. 1990. V.52. P. 629-645.
9. *Genge M.J., Balme M., Jones A.P.* Salt-bearing fumarole deposits in the summit crater of Oldoinyo Lengai, Northern Tanzania: interactions between natrocarbonatite lava and meteoric water // Journal of

Volcanology and Geothermal Research. 2001. V. 106. P. 111-122.

10. Павлов Д.И., Илупин И.П. Галит в кимберлитах Якутии, его соотношения с серпентином и вопрос об источнике отложивших его растворов // Доклады АН СССР. 1973. Т. 213. С. 1406-1409.

11. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.

12. Maas R., Kamenetsky M.B., Sobolev A.V., Kamenetsky V.S., Sobolev N.V. Sr, Nd, and Pb isotope evidence for a mantle origin of alkali chlorides and carbonates in the Udachnaya kimberlite, Siberia // Geology. 2005. V. 33. P. 549–552.

ЗА КОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РУДНЫХ ТЕЛАХ АЗОВСКОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНО-РЕДКОМЕТАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Шеремет Е.М., Стрекозов С.Н.**, Николаев Ю.И.*, Николаев И.Ю.**

* Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины (УкрНИМИ), г. Донецк, Украина; ukrnimi@ukrnimi.donetsk.ua, ** Приазовская КГП, г. Волноваха, Украина prkgrp@rambler.ru

К геохимическим критериям Азовского редкоземельно-редкометального месторождения нами относится распределение параметров K_1 – K_6 в рудных телах. Отдельные аспекты исследований опубликованы ранее [1]. Ниже кратко излагаются основные выводы из проделанной работы.

Нами использованы следующие показатели:

$$K_1 = \frac{La}{La^k} + \frac{Ce}{Ce^k} + \frac{Y}{Y^k} + \frac{Yb}{Yb^k}, \text{ рудный показатель для суммы РЗЭ,}$$

$$K_2 = \frac{Zr}{Zr^k}, \text{ рудный показатель для Zr,}$$

$$K_3 = \frac{Nb}{Nb^k} + \frac{Be}{Be^k} + \frac{Zr}{Zr^k} + \frac{Li}{Li^k} + \frac{Sn}{Sn^k} + \frac{Mo}{Mo^k} + \frac{W}{W^k} + \frac{Ag}{Ag^k}, \text{ редкометальный показатель,}$$

$$K_4 = \frac{La}{La^k} + \frac{Ce}{Ce^k} + \frac{Y}{Y^k} + \frac{Yb}{Yb^k} + \frac{Nb}{Nb^k} + \frac{Be}{Be^k} + \frac{Zr}{Zr^k} + \frac{Li}{Li^k} + \frac{Sn}{Sn^k} + \frac{Mo}{Mo^k} + \frac{W}{W^k} + \frac{Ag}{Ag^k}, \text{ редкозе-мельно-редкометальный показатель,}$$

$$K_5 = \frac{Sn}{Sn^k} + \frac{Mo}{Mo^k} + \frac{W}{W^k} + \frac{Pb}{Pb^k} + \frac{Zn}{Zn^k} + \frac{Ag}{Ag^k} + \frac{Co}{Co^k} + \frac{Ni}{Ni^k} + \frac{Cr}{Cr^k} + \frac{Cu}{Cu^k}, \text{ суммарный редкометальный показатель и показатель основности (элементы семейства железа),}$$

$$K_6 = \frac{Cr}{Cr^k} + \frac{Ni}{Ni^k}, \text{ показатель основности,}$$

где: X – содержание, а X^k – кларк химического элемента в пробе по Виноградову [2]/

Наиболее важен и интересен параметр K_1 , показывающий суммарное значение РЗЭ. Рудные аномалии с $K_1 > 30$ (или $\Sigma \text{РЗЭ} > 0,05\%$) приурочены только к такситовым сиенитам (в виде отдельных участков внутри них). Рудные аномалии переходят в аномалии с более низким значением K_1 (от 5 до 30), которые принадлежат уже однородным сиенитам. Такое поведение показателя K_1 свидетельствует о локализации оруденения в определенном горизонте пород и отсутствии рудных скоплений вне его.

Показатель K_2 – это Кк Zr, его максимальные значения тяготеют к рудовмещающим породам.

В показателе K_3 объединены элементы редкометальной ассоциации.

В показателе K_4 суммированы Кк элементов, характерных для редкометальной и редкоземельной ассоциаций.