

© Д. Р. ЗОЗУЛЯ, д. чл. Б. В. ГАВРИЛЕНКО, д. чл. Е. Э. САВЧЕНКО

КОСМОХЛОР ($\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$) ИЗ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ОСАДКОВ ТЕРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

D. R. ZOZULYA, B. V. GAVRILENKO, Ye. E. SAVCHENKO. KOSMOCHLOR ($\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$)
FROM COASTAL SEDIMENTS OF TERSKY COAST IN THE WHITE SEA, KOLA PENINSULA

Геологический институт Кольского научного центра РАН, 184200, Апатиты, Ферсмана, 14. E-mail: zozulya@geoksc.apatity.ru

Kosmochlor is an extremely rare mineral firstly found in several iron meteorites and, on the Earth, in a single jade deposit at Burma. By composition, the mineral is a sodium chromium pyroxene $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$. The paper displays morphological description, X-ray structural data and chemical composition of the kosmochlor grain for the first time found in Russia: in coastal sediments at the northern — Tersky coast of the White Sea, Kola Peninsula. The finding was made in a schlich sample during the prospecting for diamonds in Quaternary deposits of the region. The isometric grain is as large as $0.17 \times 0.15 \times 0.15$ mm, it has the emerald-green color. The mineral composition (wt %): SiO_2 — 52.31, TiO_2 — 0.05, Al_2O_3 — 1.86, Cr_2O_3 — 25.57, FeO — 1.29, MnO — 0.01, MgO — 2.79, CaO — 4.33, Na_2O — 11.73, V_2O_5 — 0.10. The empirical formula of Tersky kosmochlor is $\text{Na}_{0.85}\text{Ca}_{0.17}\text{Cr}_{0.76}\text{Mg}_{0.16}\text{Al}_{0.05}\text{Fe}_{0.04}[\text{Si}_{0.97}\text{Al}_{0.03}\text{O}_6]$. Comparative study shows that the mineral is chemically similar to the kosmochlor from meteorites. The grain contains the thin micro-veinlet inclusions of high-chromium diopside (2.8—3.4 % Cr_2O_3) with chemistry similar to pyroxenes associating diamonds in kimberlites. According to experimental data the mineral association of kosmochlor and chrome-diopside takes place at the pressure as high as 25 kbar, but relatively low temperature (800—850 C). It is assumed that the most possible source of Tersky kosmochlor could be the deep-seated xenoliths from kimberlite and alkaline-ultramafic explosive pipes of Arkhangelsky and/or Kola regions.

Космохлор — чрезвычайно редкий минерал, обнаруженный ранее лишь в нескольких метеоритах, а в земных условиях — в единственном месторождении жада в Бирме. Найденный в прибрежно-морских осадках на Терском побережье Белого моря (юго-восток Кольского полуострова) космохлор является на сегодня первой находкой в России.

Впервые космохлор был обнаружен и проанализирован в железном метеорите Toluca, Мексика (Laspeyres, 1897). Минерал включен в троилитовые нодулы в виде мелких пластинчатых обособлений размером 0.3×0.4 мм, толщиной не более 0.1 мм и покрыт клифтонитовой (графитовой) оболочкой. Позднее этот же образец, а также натриевый хромовый силикат, включенный в добреелит FeCr_2S_4 , из железного метеорита Coahuila, были исследованы более точными методами и было предложено для них новое название — юриит (Frondel, Klein, 1965). Сегодня последнее название дискредитировано и после тщательной ревизии материалов из метеоритов оставлено первоначальное название — космохлор (Courret *et al.*, 1981). По данным электронных минералогических Webсайтов, космохлор обнаружен в метеоритах Hex River Mountains и Canyon Diablo, Северная Америка (www.webmineral.com, www.azminerals.com и др.).

В Бирме минерал обнаружен в жадах, образовавшихся в ходе контактового метаморфизма при внедрении плагиогранитной дайки в перидотиты и серпентиниты (Harlow, Olds, 1983; Yang, 1984; Mevel, Kienast, 1986). Космохлор представлен здесь тончайшими волокнами длиной 0.05—0.1 мм, реже до 2.00 мм, в сростании с щелочным амфиболом (высокохромистые эккерманит-глаукофаны), жадеитом и хромитом. Геологические условия местонахождения (региональный метаморфизм вмещающих пород, минеральный парагенезис) указывают на то, что космохлор образовался при высоких давлениях (около 10 кбар) и низких температурах.

Так называемые «высокоюриитовые» диопсиды с содержанием компонента $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ от 10 до 45 % обнаружены в кимберлитах Якутской и Архангельской алмазонасыщенных провинций (Sobolev *et al.*, 1975; Архангельская..., 2000). В большинстве случаев такой пироксен находится в сростках с алмазами или включен в них, что отвечает на фазовых диаграммах полю стабильности алмаза при весьма высоких давлениях. Именно в высокобарических условиях происходит перераспределение хрома из оксидных фаз в силикаты — пироп и пироксен (Соболев, Соболев, 1967).

Космохлор найден нами в прибрежно-морских осадках Терского побережья Кольского полуострова в междуречье ручья Скакунский и реки Пулоньга при шлиховом опробовании на алмазы и его минералы-спутники. Следует отметить, что названный район перспективен на обнаружение россыпных проявлений алмазов и коренных кимберлитовых трубок (Гавриленко и др., 2000, 2002). Тяжелая фракция пробы 50/3, в которой был обнаружен космохлор, состоит в основном из граната, пироксена, амфибола, эпидота и ильменита. Из минералов-спутников алмаза в ней были найдены зерна хром-диопсида с содержанием Cr_2O_3 0.5—1.9 %.

Морфологически космохлор представляет собой зерно изометричной формы размером $0.17 \times 0.15 \times 0.15$ мм (рис. 1), изумрудно-зеленого цвета, прозрачное. Поверхность зерна неровная, с выбоинами и не несет следов окатанности. Характер поверхности указывает на весьма близкий коренной источник (первые десятки километров). По форме и размерам обнаруженное зерно космохлора отличается от формы выделений минерала из метеоритов и жадов, где он преимущественно образует либо тончайшие пластинки, либо волокна. Дебаеграмма исследованного космохлора по набору межплоскостных расстояний и интенсивностей отражений сопоставима с таковыми для образцов космохлора из метеоритов и жадов (табл. 1).

Химический состав космохлора (табл. 2) определен на рентгеновском микроанализаторе MS-46 фирмы Сатеса. Использовались следующие эталоны: природные диопсид (Si, Ca), анатаз (Ti), хромит (Cr), гематит (Fe), лоренценит (Na), деклазит (V), синтезированные $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (Al), MnCO_3 (Mn). Ускоряющее напряжение 22 кВ, ток зонда от 20 до 40 нА. Для сравнения приведены некоторые наиболее точные и

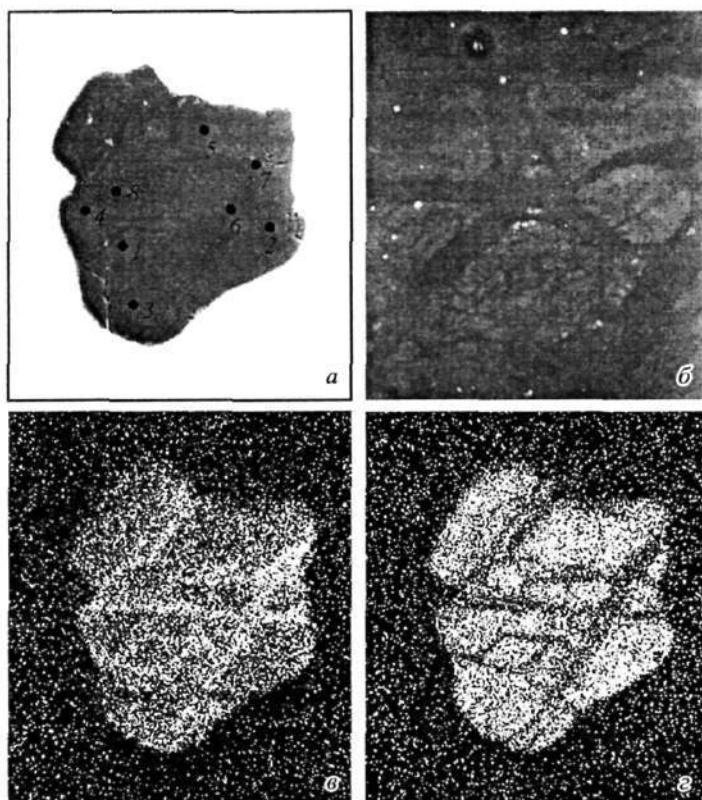


Рис. 1. Зерно космохлора из прибрежно-морских осадков Терского побережья Белого моря.

a — РЭМ-фото зерна, увел. 180; *б* — РЭМ-фото фрагмента зерна, иллюстрирующее распределение прожилков хромдиопсида (темно-серое) в космохлоре, увел. 880; *в, г* — изображение зерна в характеристическом рентгеновском излучении Са, Cr соответственно (видны прожилки хром-диопсида), увел. 180. Полированный шлиф.

Fig. 1. The grain of kosmochlor from the coastal sediments of Tersky Coast of the White Sea.

полные анализы космохлора из метеоритов, из жадов Бирмы и образцов пироксена с высоким содержанием космохлорового компонента из кимберлитов (табл. 3).

Минерал из рыхлых отложений Терского побережья соответствует по составу твердому раствору в основном трех главных компонентов: космохлора (75 %), диопсида (15 %), жадеита (10 %). По сравнению с ранее изученными космохлорами минерал содержит повышенное количество диопсидового компонента. От космохлора из жадов его надежно отличают повышенное количество магния и пониженные количества железа и алюминия. На диаграммах зависимости Na_2O от Al_2O_3 , Cr_2O_3 , FeO и CaO от MgO (рис. 2) исследуемый минерал попадает в поле метеоритных космохлоров, но в отличие от последних имеет повышенное содержание магния, кальция, алюминия и резко пониженное — титана. Интересным является его промежуточное по содержанию диопсидового компонента положение между метеоритным космохлором и «высокоюритовым» диопсидом из кимберлитов. Это, наряду с несколько повышенным высокобарическим жадеитовым компонентом, не исключает его первичной кимберлитовой природы.

Тщательное микронзондовое и электронно-микроскопическое (РЭМ HITACHI S-430 с энергодисперсионным спектрометром LINK серии 860) изучение зерна космохлора позволило обнаружить в нем многочисленные включения хром-диопсида в виде сложной сети прожилков (рис. 1). Видимая ширина прожилков колеблется от 0.8 до 7.6 мкм. Хром-диопсид (мол.%) содержит в своем составе (табл. 2) диопсид (60), жадеит (20), акмит (10), космохлор (10). Он соответствует «юритовым» (вы-

Идентификация рентгенограммы зерна космохлора (обр. 50/3) из прибрежно-морских осадков
Терского побережья Белого моря
Identification of roentgenogram of the kosmochlor grain from coastal sediments of the White Sea Tersky
coast (sample 50/3)

Обр. 50/3				Космохлор из жада (Yang, 1984)			Космохлор из метеорита (Couper с. п., 1981)		
<i>hkl</i>	I_0	$D_{гкм}$	$D_{расч}$	<i>hkl</i>	I_0	$D_{гкм}$	<i>hkl</i>	I_0	$D_{гкм}$
110			6.314	110	6	6.28	110	5	6.36
020			4.373	020	7	4.35	020	4	4.39
				021	1	3.257			
220			3.157	220	1	3.121	220	1	3.20
22 $\bar{1}$	10	2.974	2.964	22 $\bar{1}$	10	2.942	22 $\bar{1}$	10	2.97
310, 31 $\bar{1}$	6	2.868	2.873	311	9	2.857	310, 31 $\bar{1}$	8	2.89
			2.867						
002	8	2.499	2.515	002	8	2.508	11 $\bar{2}$, 002	9	2.492
221	3	2.459	2.455	221	5	2.441	221	7	2.463
				311	1	2.227			
040, 122	4ш	2.179	2.187	112	3	2.181	040, 122	7	2.192
330, 33 $\bar{1}$	5ш	2.098	2.105	33 $\bar{1}$	2	2.085	330, 33 $\bar{1}$	7	2.109
			2.102						
420	3ш	2.017	2.022				420	5	2.023
				041	1	1.988			
				13 $\bar{2}$	1	1.943			
24 $\bar{1}$			1.922	24 $\bar{1}$	1	1.941	24 $\bar{1}$	2	1.931
42 $\bar{2}$			1.830						
421, 150			1.725	150	1	1.704	421, 150	4	1.720
			1.718						
042	2	1.658	1.650				042	3	1.650
22 $\bar{3}$	5	1.625	1.626	22 $\bar{3}$	4	1.621	22 $\bar{3}$	6	1.627
44 $\bar{1}$, 151			1.604				44 $\bar{1}$, 151	6	1.601
			1.598	53 $\bar{1}$	1	1.590			
440			1.578				440	2	1.577
600, 350			1.521						
35 $\bar{1}$, 60 $\bar{2}$	4	1.513	1.516				600, 350, 35 $\bar{1}$, 60 $\bar{2}$	4	1.521
42 $\bar{3}$	6	1.501	1.501				42 $\bar{3}$	5	1.501
				13 $\bar{3}$	1	1.492			
242, 060			1.463	060	1	1.445			
15 $\bar{2}$, 51 $\bar{3}$	1	1.456	1.457				242, 060, 15 $\bar{2}$, 51 $\bar{3}$	3	1.457
620	1	1.434	1.436				620	1	1.438
351			1.393				351, 35 $\bar{2}$, 260	6	1.391
35 $\bar{2}$, 260	5ш	1.389	1.389	35 $\bar{2}$	1	1.386			
26 $\bar{1}$, 223	1	1.375	1.371	24 $\bar{3}$	1	1.361	26 $\bar{1}$, 24 $\bar{3}$, 223	3	1.371
24 $\bar{3}$			1.367						
20 $\bar{4}$	4	1.314	1.317				20 $\bar{4}$, 53 $\bar{3}$, 71 $\bar{2}$	5	1.320

Примечание. Дебаграмма получена с монокристалла в камере РКД-57.3 мм, Fe-излучение, $I = 16\text{мА}$, $V = 45\text{кВ}$. Аналитик Богданова А. Н. (Геологический институт КНЦ РАН).

Химический состав (мас. %) космохлора из прибрежно-морских осадков Терского побережья Белого моря

Chemical composition (wt %) of kosmochlor from coastal sediments, Tersky Coast of the White Sea

№ обр.	Космохлор, обр. 50/3						Включения диопсида в космохлоре, обр. 50/3			
	1	2	3	4	5	среднее	6	7	8	среднее
SiO ₂	53.51	50.40	53.01	52.14	52.48	52.31	56.63	54.18	55.14	55.32
TiO ₂	0.04	0.07	0.07	0.04	0.02	0.05	0.04	0.03	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	2.11	1.31	2.13	1.64	2.12	1.86	5.10	4.14	4.50	4.58
Cr ₂ O ₃	22.48	28.80	23.91	29.41	23.24	25.57	2.76	3.16	3.38	3.10
FeO	1.46	1.00	1.47	0.83	1.70	1.29	3.44	4.24	3.30	3.66
MnO	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.10	0.09	0.09
MgO	3.09	1.93	3.33	1.53	4.07	2.79	10.47	11.10	11.40	10.99
CaO	5.47	4.18	4.96	1.89	5.16	4.33	17.26	18.54	17.94	17.91
Na ₂ O	10.64	12.82	11.19	12.93	11.09	11.73	4.69	3.66	4.77	4.37
V ₂ O ₅	0.12	0.13	0.09	0.09	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	98.95	100.64	100.16	100.50	100.04	100.04	100.46	99.15	100.52	100.04

Количества катионов в пересчете на 6 (O)

Si	2.010	1.912	1.979	1.958	1.966	1.965	2.032	1.994	1.994	2.007
Ti	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
Al	0.094	0.059	0.094	0.073	0.093	0.082	0.216	0.180	0.192	0.196
Cr	0.668	0.864	0.706	0.873	0.688	0.759	0.078	0.092	0.097	0.089
Fe	0.047	0.032	0.045	0.026	0.053	0.041	0.103	0.131	0.100	0.111
Mn	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.003
Mg	0.173	0.109	0.185	0.085	0.227	0.156	0.560	0.609	0.615	0.594
Ca	0.220	0.170	0.198	0.076	0.207	0.174	0.664	0.731	0.695	0.696
Na	0.775	0.943	0.810	0.942	0.805	0.854	0.326	0.261	0.335	0.307
V	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000

Примечание. Приведены точечные определения по площади зерна космохлора (1—5) и разных прожилков диопсида (6—8) и рассчитаны их средние значения. Точки измерений показаны на рис. 1, а.

сохромистым) диопсидам из кимберлитов с повышенным содержанием жадитового компонента (Stephens, Dawson, 1977). Следует отметить, что диопсиды с таким высоким содержанием космохлорового и жадитового компонентов в метеоритах не обнаружены. Хром-диопсиды из метеоритов высокомагнезиальны (95 % и более диопсидового компонента) и содержат не более 1 % Cr₂O₃ (Wasson, 1974). Имеющийся в наличии материал не позволяет нам сделать окончательный вывод о том, является ли сонахождение исследованных двух минералов в одном зерне результатом распада твердого раствора или процесса замещения. В любом случае данный минеральный парагенезис не наблюдался ранее ни в метеоритах, ни в земных породах. Судя по экспериментальным данным (Ikeda, Yagi, 1972; Vredevoogt, Forbes, 1975), между космохлором и диопсидом не существует гомогенного твердого раствора, а минеральный парагенезис космохлор+диопсид с содержанием Cr₂O₃ в диопсиде 2.8—3.4 % образуется в присутствии воды при давлении около 25 кбар и температуре, не превышающей 800—850 С. В пользу глубинного происхождения космохлора дополнительно свидетельствует повышенное количество алюминия в исследуемом минерале, а согласно экспериментальным данным, при давлении более 18 кбар включение жадита в космохлор не ограничено (Abs-Wurmbach, Neuhaus, 1976).

Химические составы (мас. %) космохлора и высокохромистого диопсида из метеоритов и земных пород
 Chemical composition (wt %) of kosmochlor and high-chromium diopside from meteorites and terrestrial rocks

№ обр.	Космохлор																	Высокохромистый диопсид из кимберлитов (Архангельская... 2000; Sobolev e. a., 1975)					
	из метеоритов (Frondel, Klein, 1965; Couper e. a., 1981)					из жадов, Бирма (Yang, 1984; Mevel, Kienast, 1986)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SiO ₂	54.10	56.0	55.5	53.62	Н. о.	54.79	52.58	55.89	55.50	55.56	55.03	54.33	53.33	55.73	53.31	54.58	54.63	54.60	55.50	55.70	55.90	54.70	54.70
TiO ₂	2.77	Н. о.	Н. о.	2.88	» »	0.02	0.01	0.03	0.06	0.06	0.04	0.02	0.03	0.00	0.05	0.01	0.07	0.05	0.19	0.07	0.06	0.15	0.17
Al ₂ O ₃	0.87	0.0	0.0	0.00	» »	4.49	2.32	4.55	8.18	4.10	2.31	2.20	3.45	7.30	2.98	8.42	8.02	4.44	3.14	5.50	5.72	5.02	4.56
Cr ₂ O ₃	26.00	22.6	30.6	27.02	26.4	23.50	29.37	20.16	16.30	22.05	28.00	26.30	29.58	20.66	28.67	16.92	18.05	7.92	11.80	8.07	8.17	10.20	15.60
FeO	0.56	0.4	0.2	0.00	Н. о.	3.21	2.98	3.09	5.72	3.30	2.41	2.01	0.57	3.00	1.04	3.67	2.01	1.84	1.68	2.67	2.75	1.90	1.73
MnO	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	» »	0.01	0.00	0.06	0.05	0.03	0.00	0.02	0.06	0.10	0.13	0.00	0.00	0.10	0.05	0.08	0.10	0.07	0.09
MgO	1.46	5.4	0.8	1.63	1.2	0.35	0.54	0.84	0.58	0.62	0.26	0.27	0.32	0.14	0.16	1.08	1.41	12.30	9.27	9.97	10.2	8.92	6.25
CaO	1.59	3.7	1.7	2.28	2.1	0.45	0.31	0.55	0.99	0.66	0.42	0.37	0.49	0.15	0.17	1.13	2.02	11.80	10.60	9.00	8.96	8.72	6.21
Na ₂ O	12.80	11.6	11.6	12.57	11.0	12.92	11.49	14.64	12.51	13.20	11.52	14.30	13.96	14.59	13.87	13.41	13.34	5.93	7.07	7.44	7.78	7.85	10.10
Сумма	100.15	99.7	100.4	100.00		99.74	99.60	99.84	99.89	99.58	99.99	99.82	101.79	101.67	100.38	99.22	99.57	98.98	99.30	98.50	99.64	97.57	99.41

Количества катионов в пересчете на 6 (O)

Si	2.02	2.07	2.06	2.06		2.034	1.986	2.064	2.033	2.060	2.045	2.036	1.961	1.999	1.984	1.990	1.990	1.987	2.023	2.028	2.015	2.016	2.007
Ti	0.09	Н. о.	Н. о.	0.09		0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.007	0.002	0.002	0.007	0.004
Al	0.04	0.00	0.00	0.00		0.196	0.103	0.198	0.353	0.179	0.101	0.097	0.149	0.309	0.130	0.362	0.365	0.190	0.136	0.236	0.243	0.217	0.199
Cr	0.77	0.66	0.90	0.82		0.690	0.877	0.589	0.472	0.646	0.823	0.779	0.860	0.586	0.844	0.477	0.520	0.228	0.342	0.232	0.233	0.297	0.435
Fe	0.02	0.01	0.01	0.00		0.100	0.094	0.095	0.175	0.102	0.075	0.063	0.018	0.090	0.032	0.112	0.061	0.056	0.053	0.081	0.085	0.058	0.053
Mn	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.		0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.000	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Mg	0.08	0.30	0.03	0.09		0.019	0.030	0.046	0.032	0.034	0.014	0.015	0.018	0.007	0.009	0.059	0.077	0.667	0.504	0.543	0.548	0.490	0.342
Ca	0.06	0.15	0.07	0.09		0.018	0.013	0.022	0.039	0.026	0.017	0.015	0.019	0.006	0.007	0.044	0.079	0.460	0.414	0.350	0.348	0.343	0.245
Na	0.93	0.83	0.84	0.91		0.930	0.841	1.048	0.889	0.949	0.830	1.039	0.995	1.015	1.001	0.948	0.942	0.418	0.504	0.521	0.542	0.563	0.718

Примечание. 18 — из кимберлитовой трубки им. М. В. Ломоносова, Архангельская провинция; 19—23 — из кимберлитовых трубок Мир и Удачная, Якутская провинция.
 Н. о. — не определялось.

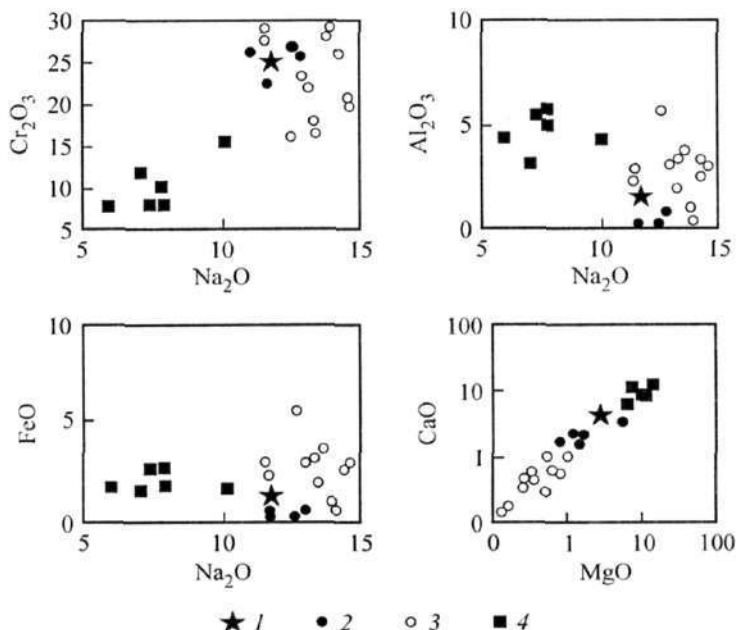


Рис. 2. Составы космохлора из прибрежно-морских осадков Терского побережья Белого моря (1), метеоритов (2), жадов (3) и высокохромистых диопсидов из кимберлитов (4) на диаграммах $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$ и $\text{CaO}-\text{MgO}$.

Fig. 2. Compositions of kosmochlor from the coastal sediments of the White Sea (1), meteorites (2) and jades (3), and the high-chromium diopsides from the kimberlites (4) on diagrams $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}$ and $\text{CaO}-\text{MgO}$.

Таким образом, обнаруженный в прибрежно-морских осадках Терского побережья Белого моря космохлор по своему химическому составу близок к космохлору из метеоритов, но по ряду косвенных признаков (форма выделения, набор и количество основных и примесных элементов, высокобарическая минеральная ассоциация) не исключается его глубинная верхнемантийная природа. Наиболее вероятно, что материнской породой для космохлора были ксенолиты из кимберлитовых или щелочно-ультраосновных трубок взрыва Архангельской провинции (Зимний берег) или восточной части Кольского полуострова.

Список литературы

- Архангельская алмазоносная провинция / Под ред. О. А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ. 2000. 524 с.
- Гавриленко Б. Ф., Митрофанов Ф. П., Зозуля Д. Р. и др. Перспективы россыпной алмазоносности Кольского региона // Вестник МГУ. 2000. Т. 3. № 2. С. 235—244.
- Гавриленко Б. Ф., Корсакова О. П., Зозуля Д. Р. О возможности формирования россыпей алмазов на юго-востоке Кольского полуострова. Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Т. 2. Апатиты, 2002. С. 13—22.
- Соболев В. С., Соболев Н. В. О хrome и хромсодержащих минералах в глубинных ксенолитах кимберлитовых трубок // Геол. рудн. местор. 1967. Т. IX. № 2. С. 10—16.
- Abs-Wurnbach I., Neuhaus A. Das System $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (Jadeit)— $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ (Kosmochlor) in Druckbereich von 1 bar bis 25 Kbar bei 800 C // Neues Jb. Miner. Abh. 1976. Vol. 127. P. 213—241.
- Couper A. G., Hey M. H., Hutchison R. Cosmochlore — a new examination // Miner. Mag. 1981. Vol. 44. P. 265—267.
- Ikeda K., Yagi K. Synthesis of kosmochlor and phase equilibria in the join $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6-\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ // Contrib. Miner. Petrol. 1972. Vol. 36. P. 63—72.
- Frondel C., Klein C. Ureyite, $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$: A new meteoritic pyroxene // Sci. 1965. Vol. 149. P. 742—744.
- Harlow G. E., Olds E. P. Terrestrial ureyite: occurrence and significance // EOS. 1983. Vol. 64. P. 353.
- Laspeyres H. Die steinigen Gemengteile im Meteoriten von Toluca in Mexico // Z. Krist. 1897. Vol. 27. P. 586—600.

- Mevel C., Kienast J.-R.* Jadeite-kosmochlor solid solution and chromian sodic amphiboles in jadeitites and associated rocks from Tawmaw (Burma) / *Bull. Miner.* **1986**. Vol. 109. P. 617—633.
- Sobolev V. S., Sobolev N. V., Lavrent'ev Yu. G.* Chrome-rich clinopyroxenes from the kimberlites of Yakutia / *Neues Jb. Miner. Abh.* **1975**. Vol. 123. P. 213—218.
- Stephens W. S., Dawson J. B.* Statistical comparison between pyroxenes from kimberlites and their associated xenoliths / *J. Geol.* **1977**. Vol. 85. P. 433—449.
- Vredevoogt J. J., Forbes W. C.* The system diopside—ureyite at 20 kbar / *Contrib. Miner. Petrol.* **1975**. Vol. 52. P. 147—156.
- Wasson J. T.* *Meteorites*. New York, Springer-Verlag, **1974**. 316 p.
- Yang C. M. O.* Terrestrial source of ureyite / *Amer. Miner.* **1984**. Vol. 69. P. 1180—1183.

Поступила в редакцию
14 декабря 2002 г.