

## **РУДНЫЕ ХРОМШПИНЕЛИДЫ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ: ХИМИЗМ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ**

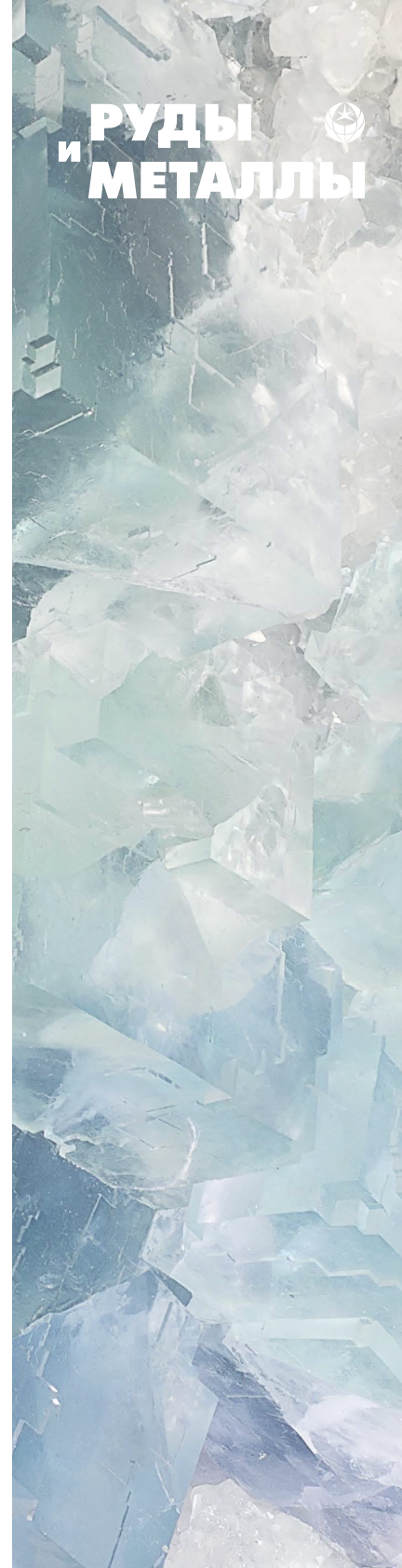
*Объектом исследования являются рудные хромшпинелиды из реститовых ультрамафитовых массивов Сыум-Кеу и Харчерузский, которые замыкают на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала. Проведена сравнительная оценка вещественного состава рудных хромшпинелидов из обоих массивов и предпринята попытка моделирования геодинамической обстановки и условий формирования вмещающих их ультрамафитов.*

*Ключевые слова: Полярный Урал, реститовые ультрамафиты, рудные хромшпинелиды, химизм, геодинамическая обстановка.*

Ультрамафитовые реститовые массивы дунит-гарцбургитового состава – часть мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей. В последние несколько десятилетий они привлекают всё большее внимание исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности своими промышленной хромитоносностью, асбестоносностью и включением благороднометалльной минерализации. Однако в настоящее время спорность многих аспектов петрологии этих интереснейших образований обусловлена их недостаточной всесторонней изученностью. Известно, что одним из главных носителей генетической информации является минерал, а не только порода. Изучив в достаточной степени минералогию объекта, можно реконструировать историю его образования и преобразования.

Объект настоящего исследования – рудные хромшпинелиды из реститовых ультрамафитовых массивов Сыум-Кеу и Харчерузский, которые входят в состав Хадатинского офиолитового пояса, замыкающего на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала [2]. При этом слабо изученный Харчерузский массив, расположенный несколько южнее массива Сыум-Кеу, согласно геолого-геофизическим данным и петрологическим исследованиям, вероятно, может быть эрозионно-тектоническим клиппом данного массива [11, 12].

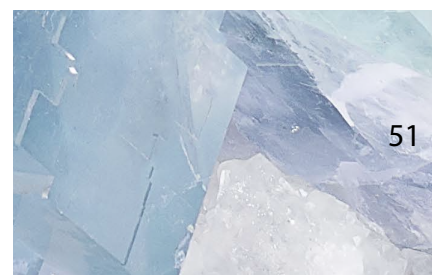
Массив Сыум-Кеу находится в северной части офиолитового пояса, образуя вытянутое в меридиональном направлении серповидное тело протяжённостью ~50 км и шириной до 12 км (рис. 1). На западе он имеет тектонический контакт с докембрийскими метаморфическими породами харбейского гнейсо-амфиболитового комплекса ( $PR_1$ ) и вулканогенно-осадочными породами няровейской свиты ( $R_1$ ), с востока обрамляется габброидами Щучьинского синклиория, которые перекрываются



**Юричев  
Алексей Николаевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник, доцент  
juratur@sibmail.com

Национальный исследовательский  
Томский государственный университет,  
г. Томск



мощной толщей мезокайнозойских осадков Западно-Сибирской плиты и практически пока не изучены. В составе массива выделяются два главных комплекса пород [12]: ранний – лерцолит-гарцбургитовый и поздний – дунит-гарцбургитовый. Ранний комплекс представлен преимущественно гарцбургитами с участками диопсидсодержащих гарцбургитов и лерцолитов, занимающими до 40% площади массива. Для ультрамафитов характерно массивное однородное строение, не повсеместно отмечается шлировидность по ориентировке скоплений пироксенов и шпинели. В породах фиксируются редкие согласные и секущие жилы орто- и клинопироксенов, вебстеритов, а также дунитов, образующих иногда крупные (мощностью до 100 м) тела. Поздний комплекс сложен отчётливо полосчатыми (директивными) гарцбургитами с выраженной минеральной уплощённостью, содержащими значительное (до 50%) количество согласных с полосчатостью и секущих её дунитовых жил и линз. С породами данного комплекса связаны небольшие по масштабам проявления хромитовых руд.

Харчерузский массив мало изучен в отличие от массива Сыум-Кей, от которого он отделён узкой полосой метаморфизованных габбро и амфиболитов. Представляет собой клинообразное тело субширотного простирания, выклинивающееся на восток, протяжённостью ~18 км при максимальной ширине в западной части 7 км (см. рис. 1). Сложен в основном дунитами, среди которых встречаются гарцбургиты. Отмечаются также мелкие тела габброидов, обычно интенсивно метасоматически изменённые. В экзоконтактных зонах габброидов устанавливаются верлиты и клинопироксениты, вероятно, являющиеся высоко-температурными реакционно-метасоматическими образованиями. Среди дунитов выявлены линейные и линзообразные тела хромитов преимущественно субширотного простирания. Мощность отдельных тел обычно <1 м, протяжённость до 10 м. Рудные тела нередко группируются в рудные субширотные зоны, в которых количество хромшпинелидов существенно возрастает и может варьировать от 10 до 50–90%, с образованием от убоговкрапленных до густовкрапленных и сплошных рудопроявлений.

Вещественный состав рудных хромшпинелидов из ультрамафитов массивов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа [27]

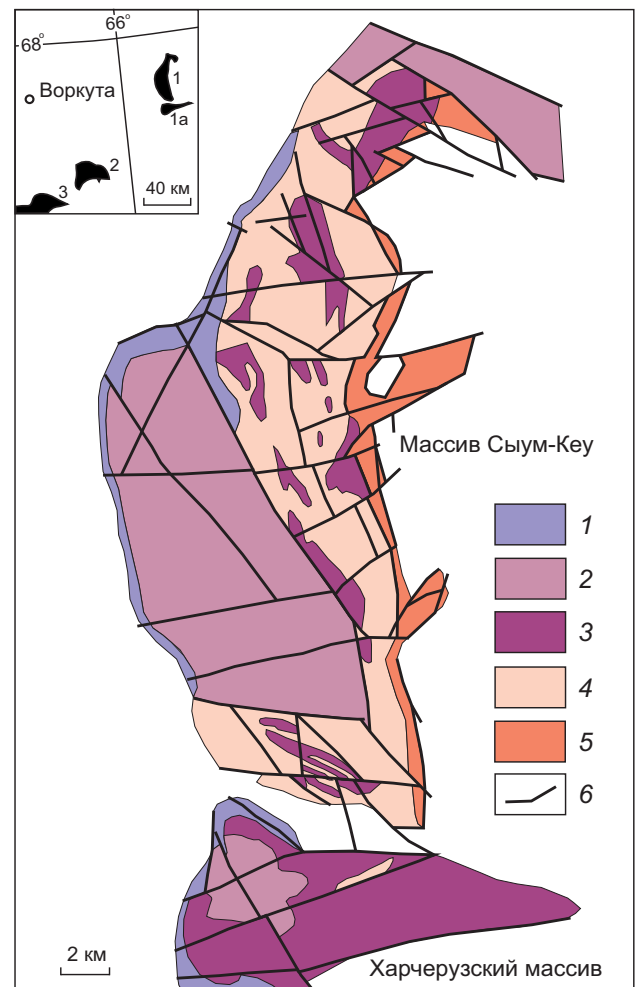


Рис. 1. СХЕМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МАССИВОВ СЫУМ-КЕЙ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ, ПО [6, 11] С ДОБАВЛЕНИЯМИ АВТОРА:

1 – краевая зона (антигоритовые серпентиниты, оливин-антигоритовые породы); 2 – лерцолит-гарцбургитовый комплекс (лерцолиты, гарцбургиты с редкими телами дунитов); дунит-гарцбургитовый комплекс: 3 – дуниты, 4 – гарцбургиты; 5 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс (дуниты, верлиты, оливинные клинопироксениты, оливинные и безоливинные вебстериты, реже лерцолиты, гарцбургиты); 6 – тектонические нарушения; на врезке: географическое расположение ультрамафитовых массивов офиолитового комплекса Полярного Урала (1 – Сыум-Кей, 1а – Харчерузский, 2 – Рай-Из, 3 – Войкарский)

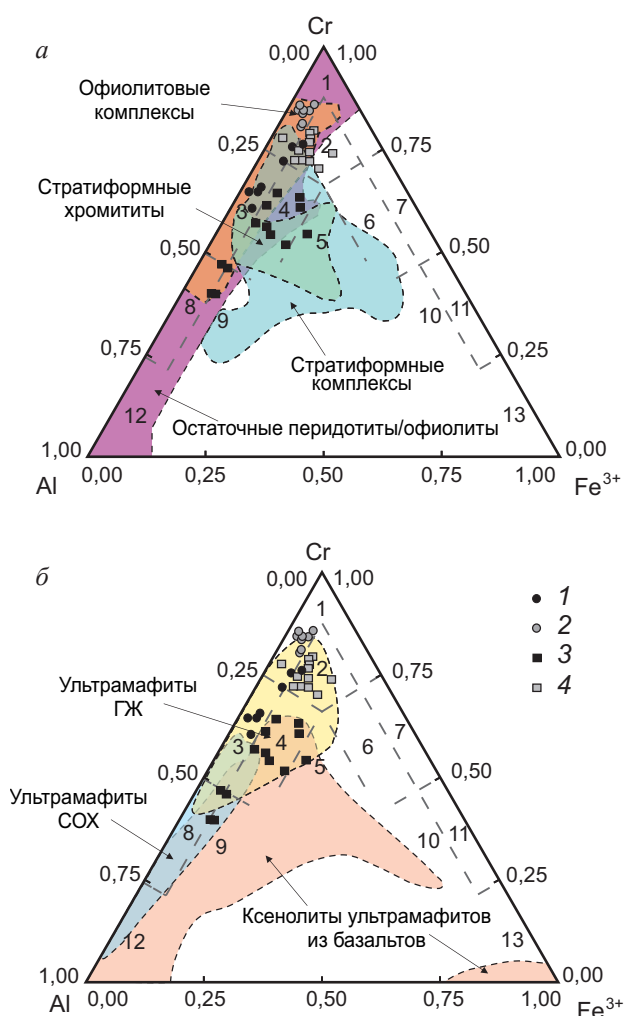
на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным INCA Wave 700, в ЦКП «Аналитический центр геохи-

мии природных систем» ТГУ (г. Томск). Для этого из отобранных образцов хромититов с разной степенью вкрапленности были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм по рекомендуемым методикам [27]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напылялся слой углерода толщиной 25–30 нм. Последующие расчёты химических составов выполнялись по программе INCA-Issue 18b и дополнительным авторским программам.

Исследования показали, что проанализированные рудные хромшпинелиды обоих массивов в целом слабо метаморфизованы и близки по составу. Однако хромшпинелиды массива Сьюм-Кеу в отличие от харчерузских характеризуются несколько большей степенью метаморфического преобразования исходных зёрен, выразившегося в увеличении роли оксидного Fe (II) (табл. 1, 2). Последнее обстоятельство привело к незначительному различию и в химических составах шпинелидов. На классификационной диаграмме Н.В.Павлова [4] хромшпинелиды Харчерузского массива в хромититах с вкрапленной структурой преимущественно соответствуют алюмохромитам, в хромититах с густовкрапленной структурой – хромитам, а хромшпинелиды массива Сьюм-Кеу – субферриалюмохромитам и субферрихромитам соответственно (рис. 2). Подобная зависимость химического состава шпинелидов от «густоты» вкрапленности ранее отмечалась для хромшпинелидов Харчерузского массива [11] и, очевидно, свидетельствует о более высокой степени воздействия высокотемпературного динамометаморфизма на густовкрапленные и сплошные хромититы, вероятно, обусловленной их высокотемпературными пластическими деформациями.

Фигуративные точки составов хромшпинелидов обоих массивов характеризуются одинаковой эволюционной тенденцией, связанной с уменьшением содержания MgO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при увеличении количества Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и незначительном повышении концентрации суммарного железа (рис. 3). При этом часть точек составов хромшпинелидов из массива Сьюм-Кеу несколько отклоняется от основного единого тренда, формируя на отдельных графиках самостоятельный тренд регрессивной метаморфической природы (см. рис. 3, а, б).

Наблюдаемый на рис. 2, 3 общий эволюционный тренд составов хромшпинелидов отражает преобразование вещественного состава хром-



**Рис. 2. СОСТАВЫ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЬУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ НА КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ДИАГРАММЕ Н.В.ПАВЛОВА [4]:**

на диаграмме: а – генетический тип хромититов [20], б – геодинамические обстановки формирования, построенные по акцессорным хромшпинелидам [7, 17]; массивы: 1, 2 – Харчерузский, 3, 4 – Сьюм-Кеу; структуры: 1, 3 – вкрапленная, 2, 4 – густовкрапленная; 1 – хромиты; 2 – субферрихромиты; 3 – алюмохромиты; 4 – субферриалюмохромиты; 5 – ферриалюмохромиты; 6 – субалюмоферрихромиты; 7 – феррихромиты; 8 – хромпикотиты; 9 – субферрихромпикотиты; 10 – субалюмохроммагнетиты; 11 – хроммагнетиты; 12 – пикотиты; 13 – магнетиты

шпинелей в процессе высокотемпературного динамометаморфизма [15], а также степень рестирования вмещающих их ультрамафитов [5, 13, 14]. Увеличение степени плавления рестиита сопровождается возрастанием хромистости и желези-

стости хромшпинелидов при уменьшении их глинозёмистости и магнезиальности (см. рис. 3), что характерно для мантийных реститогенных ультрамафитов [3, 5, 13, 16] и служит дополнительным свидетельством реститовой природы пород массивов Сьюм-Кей и Харчерузский. Положение фигуративных точек составов шпинелидов на треугольной диаграмме (см. рис. 2, а) и диаграмме J.M.Ghazi с соавторами (рис. 4, а) также указывает на генетическую связь изученных хромитов с офиолитовыми мантийными ультрамафитами и их принадлежность к подформному типу.

Для оценки геодинамической обстановки формирования пород массивов автором были привлечены диаграммы зарубежных учёных по данному направлению исследований (см. рис. 2, б; 4, б–е). На треугольной диаграмме Al–Cr–Fe<sup>3+</sup> фигуративные точки составов преимущественно попадают в область ультрамафитов глубоководных желобов, а на бинарных диаграммах TiO<sub>2</sub>–Cr#, Mg#–Cr# и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiO<sub>2</sub> – в область бонинитов (см. рис. 4, б, в) и океанических надсубдукционных перидотитов (см. рис. 4, б, г, д). Это позволяет сделать вывод о том, что изучаемые ультрамафитовые массивы, вероятно, являются полигенными образования-

### 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА ХАРЧЕРУЗСКИЙ, ВЕС. %

Структура Номера анализов	Вкрапленная							Густовкрапленная								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MgO	8,27	7,37	8,34	10,34	11,15	11,10	11,03	8,31	8,05	9,38	9,64	7,93	7,35	8,00	6,19	6,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,87	8,84	7,49	15,18	17,92	16,06	17,18	5,08	4,41	6,93	7,00	6,19	5,84	6,20	5,16	5,50
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,33	0,21	0,13	0,17	-	0,09	0,19	0,19	0,05	0,10	0,06	-	0,03	0,04	0,02
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,17	0,14	0,12	0,13	0,13	0,08	0,22	0,15	0,03	0,08	0,16	0,08	0,07	0,20	0,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,24	56,81	57,90	52,12	48,99	51,90	52,27	62,27	63,38	60,89	60,99	62,60	62,42	61,21	62,67	63,45
MnO	0,60	0,44	0,60	0,32	0,55	0,32	0,50	0,49	0,62	0,33	0,50	0,80	0,60	0,48	0,59	0,51
FeO*	24,33	25,66	25,29	21,60	20,92	20,24	18,56	23,18	23,12	22,21	21,40	22,11	23,60	23,86	24,82	23,79
ZnO	0,25	0,38	-	0,13	0,03	0,19	0,11	0,18	0,03	-	0,08	0,06	0,03	0,06	0,14	0,15
NiO	0,07	-	0,03	0,06	0,14	0,06	0,18	0,07	0,06	0,17	0,21	0,08	0,08	0,08	0,18	0,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,21	4,10	5,71	3,56	3,97	3,35	1,41	3,82	3,49	4,17	3,94	2,26	2,77	3,92	2,43	1,41
FeO	20,55	21,97	20,14	18,39	17,34	17,23	17,29	19,74	19,98	18,46	17,86	20,08	21,11	20,33	22,63	22,51
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>																
Mg	0,410	0,371	0,419	0,496	0,526	0,528	0,523	0,423	0,411	0,469	0,482	0,402	0,375	0,406	0,320	0,331
Al	0,426	0,352	0,297	0,576	0,668	0,604	0,644	0,204	0,178	0,274	0,276	0,249	0,236	0,249	0,211	0,224
Ti	0,004	0,008	0,005	0,003	0,004	-	0,002	0,005	0,005	0,001	0,003	0,002	-	0,001	0,001	0,001
V	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,005	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,005	0,002
Cr	1,452	1,517	1,542	1,326	1,225	1,309	1,314	1,679	1,717	1,616	1,615	1,685	1,690	1,646	1,716	1,733
Mn	0,017	0,013	0,017	0,009	0,015	0,009	0,013	0,014	0,018	0,009	0,014	0,023	0,017	0,014	0,017	0,015
Zn	0,006	0,009	-	0,003	0,001	0,004	0,003	0,005	0,001	-	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,004
Ni	0,002	-	0,001	0,002	0,004	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,006	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002
Fe <sup>3+</sup>	0,105	0,104	0,145	0,086	0,095	0,081	0,034	0,098	0,090	0,105	0,099	0,058	0,071	0,100	0,063	0,037
Fe <sup>2+</sup>	0,571	0,621	0,568	0,495	0,459	0,460	0,460	0,563	0,572	0,518	0,500	0,572	0,605	0,578	0,656	0,651
Сумма	2,998	2,999	2,998	2,999	2,998	2,999	2,999	2,997	2,997	3,000	2,999	2,997	2,999	2,999	2,997	2,999
<i>Расчётные характеристики</i>																
Cr#	77,3	81,2	83,8	69,7	64,7	68,4	67,1	89,2	90,6	85,5	85,4	87,1	87,8	86,9	89,1	88,6
Fe##	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Mg#	41,8	37,4	42,5	50,1	53,4	53,5	53,2	42,9	41,8	47,5	49,0	41,3	38,3	41,2	32,8	33,7

Примечание. Здесь и в табл. 2 FeO\* – суммарное железо. Расчёт трёх- и двухвалентного железа: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (вес. %)=52,832·[(FeO\*+MgO+MnO+NiO+Co)-(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+2·TiO<sub>2</sub>)]/1000 мол. кол-ва, FeO (вес. %)=FeO\* (вес. %)-0,9·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (вес. %). Cr#=[Cr/(Cr+Al)]·100%; Fe##=[Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup>+Cr+Al)]·100%; Mg#=[Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)]·100%.

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА СЫУМ-КЕУ, ВЕС. %

Структура	Вкрапленная												
Номера анализов	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
MgO	14,83	14,37	7,83	11,55	12,54	13,99	11,08	8,73	8,1	12,68	7,28	15,1	14,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,67	26,19	12,6	17,35	13,78	29,34	17,22	11,44	15,72	15,92	11,08	30,23	25,73
TiO <sub>2</sub>	0,28	0,17	0,38	0,37	0,25	0,4	0,33	0,44	0,33	0,25	0,41	0,34	0,29
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,04	39,64	41,3	43,63	51,12	33,7	44,87	46,72	40,26	49,34	47,6	34,46	39,21
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO*	18,49	19,09	36,31	26,1	21,59	21,85	25,62	31,46	34,23	21,14	32,53	19,25	19,73
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,88	5,46	15,94	10,0	7,29	7,28	8,68	12,21	13,53	6,65	10,98	6,13	6,29
FeO	12,3	14,18	21,96	17,1	15,03	15,3	17,81	20,47	22,05	15,15	22,65	13,73	14,07
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>													
Mg	0,683	0,644	0,389	0,546	0,598	0,620	0,526	0,432	0,396	0,599	0,364	0,662	0,646
Al	0,679	0,927	0,495	0,649	0,520	1,028	0,646	0,447	0,607	0,594	0,438	1,048	0,912
Ti	0,013	0,008	0,019	0,018	0,012	0,018	0,016	0,022	0,016	0,012	0,021	0,015	0,013
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	1,148	0,942	1,087	1,095	1,293	0,792	1,130	1,226	1,043	1,236	1,264	0,801	0,932
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe <sup>3+</sup>	0,160	0,123	0,399	0,239	0,176	0,163	0,208	0,305	0,334	0,159	0,278	0,136	0,142
Fe <sup>2+</sup>	0,318	0,356	0,612	0,454	0,402	0,380	0,474	0,568	0,604	0,401	0,636	0,338	0,354
Сумма	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
<i>Расчётные характеристики</i>													
Cr#	62,8	50,4	68,7	62,8	71,3	43,5	63,6	73,3	63,2	67,5	74,2	43,3	50,5
Fe##	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Mg#	68,3	64,4	38,9	54,6	59,8	62,0	52,6	43,2	39,6	59,9	36,4	66,2	64,6
Структура	Густовкрапленная												
Номера анализов	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
MgO	12,1	9,1	12,08	11,26	10,28	12,85	12,55	11,98	11,28	12,43	6,48	4,37	10,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,61	7,99	6,37	8,1	9,02	6,41	7,29	6,77	9,02	7,02	9,68	4,76	9,99
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,19	0,1	0,17	0,15	0,13	0,15	0,14	0,21	0,17	0,14	0,17	0,2
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,1	0,17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,17	51,97	60,6	56,09	55,07	61,13	59,28	59,81	56,74	59,81	53,6	52,42	59,17
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,51	0,08
FeO*	22,91	29,61	20,22	23,56	24,71	18,87	20,05	20,66	22,11	19,92	28,74	35,97	19,79
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,43	0,1
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,07	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,91	11,46	6,31	8,34	7,79	6,1	6,76	6,55	6,55	6,46	6,3	12,14	2,18
FeO	14,89	19,3	14,54	16,05	17,7	13,38	13,97	14,76	16,21	14,11	23,07	25,04	17,83
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>													
Mg	0,592	0,457	0,597	0,556	0,509	0,631	0,616	0,591	0,554	0,611	0,328	0,231	0,502
Al	0,333	0,317	0,249	0,316	0,353	0,249	0,283	0,264	0,350	0,273	0,388	0,199	0,388
Ti	0,016	0,010	0,005	0,008	0,007	0,007	0,008	0,007	0,010	0,008	0,007	0,009	0,010
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,002	0,004
Cr	1,431	1,383	1,589	1,468	1,445	1,593	1,542	1,566	1,477	1,559	1,440	1,467	1,543
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	0,015
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,011
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,002
Fe <sup>3+</sup>	0,220	0,290	0,157	0,208	0,195	0,151	0,167	0,163	0,162	0,160	0,161	0,323	0,054
Fe <sup>2+</sup>	0,409	0,543	0,403	0,444	0,491	0,369	0,384	0,409	0,447	0,389	0,656	0,741	0,492
Сумма	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,999	2,999	3,000
<i>Расчётные характеристики</i>													
Cr#	81,1	81,4	86,4	82,3	80,4	86,5	84,5	85,6	80,8	85,1	78,8	88,1	79,9
Fe##	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
Mg#	59,2	45,7	59,7	55,6	50,9	63,1	61,6	59,1	55,4	61,1	33,4	23,7	50,5

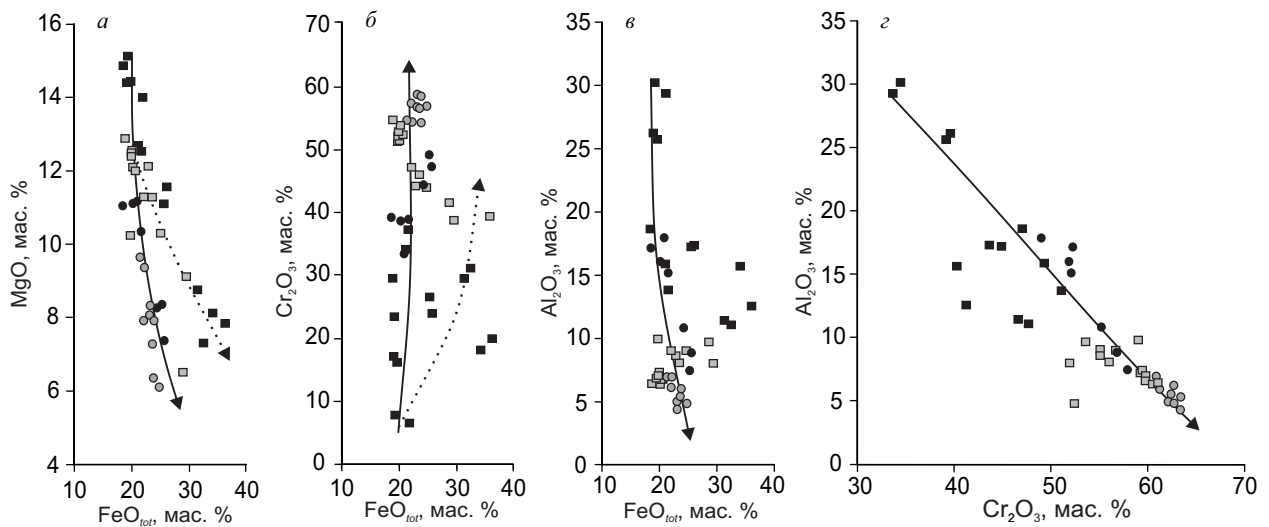


Рис. 3. БИНАРНЫЕ ДИАГРАММЫ ДЛЯ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ:

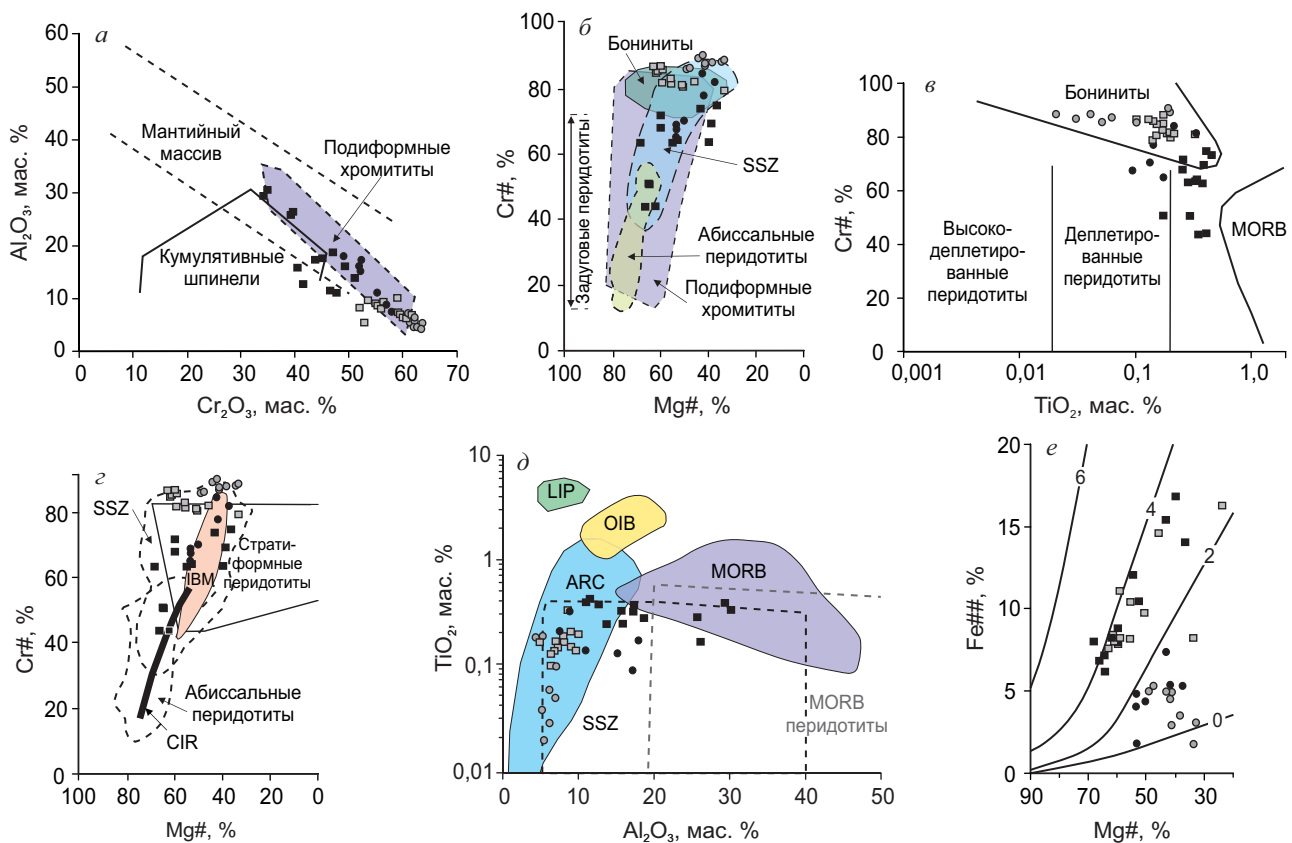
усл. обозн. см. рис. 2

ми, имеющими сложную многостадийную тектоническую историю. Очевидно, деплетирование мантийного вещества в процессе частичного плавления происходило в обстановке «додугового» спрединга рядом с горячей точкой. В дальнейшем в островодужной системе аномальная океаническая литосферная мантия взаимодействовала с бонинитовыми расплавами, инициированными субдукцией, что впоследствии привело к появлению ультрамафитов с явными характеристиками надсубдукционных перидотитов.

По химическому составу рудные хромшпинелиды из ультрамафитов массивов Сыум-Кеу и Харчерузский в целом характеризуются близкими составами и слабо метаморфизованы. Однако несколько большее воздействие процессов регрессивного метаморфизма на ультрамафиты массива Сыум-Кеу обусловило незначительное различие в их химическом составе. В отличие от алюмохромитов и хромитов массива Харчерузский хромшпинелиды массива Сыум-Кеу соответствуют более железистым разностям – субферриалюмохромитам и субферрихромитам. Несколько меньшие значения  $MgO$  и  $Al_2O_3$  в хромшпинелидах массива Харчерузский по сравнению с хромшпинелидами массива Сыум-Кеу, очевидно, позволяют судить о более высокой степени рестрирования вмещающих их пород, интенсивно истощённых в процессе деплетирования мантийного субстрата.

Фигуративные точки составов рудных шпинелидов из ультрамафитов обоих массивов образуют эволюционный тренд одинаковой тенденции, который отражает преобразование вещественного состава хромшпинелей под действием высокобарического динамометаморфизма. Данный процесс, как следует из построенных диаграмм (см. рис. 2, 3), сопровождался выносом из рудных хромшпинелидов магния и алюминия и увеличением их хромистости, что приводило к естественному «облагораживанию» последних. Развитие такого механизма «облагораживания» подтверждено экспериментальными исследованиями [10, 18], а также находками в хромититах ультрамафитовых массивов Полярного Урала [9, 19] минералов, образовавшихся при высоких и сверхвысоких давлениях (алмаз, карбиды кремния, псевдоморфы октаэдрического оливина, корунд, циркон, гранат и др.). При этом отмечено, что степень воздействия динамометаморфизма на химический состав хромшпинелидов возрастает по мере увеличения «густоты» вкрапленности.

Следующая стадия преобразования хромшпинелидов, связанная с более поздними процессами наложенного приповерхностного регионального метаморфизма ( $P$  до 4 Кбар для ультрамафитов массива Сыум-Кеу,  $P$  не более 2 Кбар для пород массива Харчерузский, см. рис. 4, е), не существенно повлияла на химический состав рудных



**Рис. 4. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ ДЛЯ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ:**

график *a* отражает происхождение рудных хромшпинелидов и их тип, диаграммы *б–е* показывают условия и геодинамическую обстановку формирования исследуемых объектов [8, 20, 24, 25]; для диаграммы *z* выделенные области построены по аксессуарным хромшпинелидам, для *д* – по включениям шпинелидов в оливинах из ультрамафитов различных геодинамических обстановок, для остальных – по рудным хромшпинелидам; LIP – базальты крупных изверженных провинций; OIB – базальты океанических островов; ARC – островодужные базальты; MORB – базальты срединно-океанических хребтов; SSZ – океанические надсубдукционные перидотиты; IBM – перидотиты Идзу-Бонин-Марианской островной дуги [23]; CIR – перидотиты центрального Индийского хребта [21]; линии на диаграмме (*e*) представляют теоретические изобары для чистого  $(Mg,Fe)Cr_2O_4$  [22] в Кбар.  $Cr\# = [Cr / (Cr + Al)] \cdot 100\%$ ;  $Mg\# = [Mg / (Mg + Fe^{2+})] \cdot 100\%$ ;  $Fe\#\# = [Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Cr + Al)] \cdot 100\%$ ; остальные усл. обозн. см. рис. 2

хромшпинелидов и в основном привела к незначительному окислению оксида Fe (III) в оксид Fe (II).

Попытка геодинамического моделирования обстановки формирования вмещающих хромшпинелиды ультрамафитов из массивов Сыум-Кеу и Харчерузский указывает на то, что последние, вероятно, являются сложными полигенными образованиями. В пользу данного утверждения свидетельствуют минералогические и петрогеохимические особенности пород массива Сыум-Кеу [12]. Очевидно, плавление исходного мантийного рестита происходило в зоне спрединга над

зоной субдукции. В дальнейшем в островодужной системе сформировавшиеся реститовые ультрамафиты подвергались магматической рефertilизации под воздействием просачивающихся расплавов (флюидов) островодужной или бонинитовой надсубдукционной природы [1, 26]. Это впоследствии привело к масштабным структурно-вещественным преобразованиям, в результате чего ультрамафиты исследуемых массивов в значительной степени утратили черты, присущие реститам, но приобрели характеристики надсубдукционных перидотитов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батанова В.Г., Лясковская З.Е., Савельева Г.Н., Соболев А.В. Перидотиты п-ова Камчатский мыс: свидетельство плавления океанической мантии вблизи горячей точки // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 12. С. 1748–1758.
2. Лапин Б.Н. Атлас структур ультраосновных пород Урала. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005.
3. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
4. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. Сер. рудн. месторождений. 1949. Вып. 103. № 3. С. 3–88.
5. Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т. Природа вариаций состава рудной и аксессуарной хромшпинели ультрабазитового массива Сьюм-Кеу (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 4. С. 32–39.
6. Платиноиды хромитоносных массивов Полярного Урала / Л.И.Гурская, Л.В.Смелова, Л.Р.Колбанцев и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2004.
7. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
8. Степанец В.Г. Генезис надсубдукционных офиолитов аллохтона (северо-восток Центрального Казахстана) // Изв. НАН РК. Сер. геол. 2010. № 5. С. 4–15.
9. Суставов С.Г., Вахрушева Н.В. Хромовый рутил в хромититах Енгайской площади массива Рай-Из // Вестн. Уральского отд. Российского минерал. об-ва. 2010. № 7. С. 159–162.
10. Туркин А.И., Соболев Н.В. Пироп-кноррингитовые гранаты: обзор экспериментальных данных и природных парагенезисов // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 1506–1523.
11. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. 2016. № 2. С. 62–77.
12. Шмелев В.Р. Мантийные ультрабазиты офиолитовых комплексов Полярного Урала: петрогенезис и обстановка формирования // Петрология. 2011. Т. 19. № 6. С. 649–672.
13. Юричев А.Н. Аксессуарные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 30–34.
14. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326. № 2. С. 61–69.
15. Юричев А.Н. Критерии регионального и локального прогнозирования потенциальной хромитоносности подформных ультрамафитовых массивов складчатых областей // Руды и металлы. 2016. № 3. С. 5–14.
16. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 42–50.
17. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of petrology. 2001. Vol. 42. № 12. P. 2279–2302.
18. Brey G.P., Doroshev A.M., Girmis A.V., Turkin A.I. Garnet-spinel-olivine-orthopyroxene equilibria in the FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system: I. Composition and molar volumes of minerals // Eur. J. Mineral. 1999. Vol. 11. № 4. P. 599–617.
19. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural / J.Yang, W.Bai, Q.Fang et al. // Geology in China. 2007. Vol. 34. P. 950–953.
20. Ghazi J.M., Moazzen M., Rahghoshay M., Moghadam H.S. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromian spinels in the chromitites and associated rocks // Ophioliti. 2011. Vol. 36. № 1. P. 59–76.
21. Hellebrand E., Snow J.E., Dick H.J.B., Hofmann A.W. Coupled major and trace elements as indicators of the extent of melting in mid-ocean-ridge peridotites // Nature. 2001. Vol. 410. P. 677–681.
22. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. 1. Theory // Can. J. Earth Sci. 1965. Vol. 2. P. 648–672.
23. Ishii T., Robinson P.T., Maekawa H., Fiske R. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu-Ogasawara-Mariana forearc, Leg 125 // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 125. College Station TX: Ocean Drilling Program. 1992. P. 445–485.
24. Kamenetsky V.S., Grawford A.J., Meffre S. Factors Controlling Chemistry of Magmatic Spinel: an Empirical Study of Associated Olivine, Cr-spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks // Journal of Petrology. 2001. Vol. 42. № 4. P. 655–671.
25. Petrogenesis of the Ophiolitic Giant Chromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and Fluid Inclusions in Chromite / F.Melcher, W.Grumb, G.Simon et al. // Journal of Petrology. 1997. Vol. 38. № 10. P. 1419–1458.



26. *Polychronous formation of mantle complexes in ophiolites* / G.N.Savelieva, V.G.Batanova, A.V.Sobolev et al. // *Geotectonics*. 2013. Т. 47. № 3. P. 167–179.

27. *Reed S.J.B.* Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005.

## ORE CHROMESPINELIDES OF SYUM-KEU AND HARCHERUZSKY MASSIFS: CHEMICAL COMPOSITION AND GENETIC NATURE, THE POLAR URALS

A.N.Yurichev

*The object of study is the ore of chromspinelles from restitic ultramafic massifs, Sium Keu and Harcheruzsky, which close the ophiolite complexes of the Polar Urals in the North. Comparative evaluation of the material composition of chrome ore from both arrays is performed and an attempt of modeling the geodynamic setting and formation conditions of the enclosing ultramafics is made.*

*Keywords: Polar Urals, restitic ultramafites, ore chromspinelides, chemical composition, geodynamic setting.*

## АВТОРАМ

### ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статьи направляются на e-mail: [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru), [rudandmet@yandex.ru](mailto:rudandmet@yandex.ru).
2. К тексту прилагаются документы: письмо (разрешение на опубликование) руководителя учреждения, экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати, сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (500–600 знаков) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объём статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Для набора математических формул рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Все символы, сокращения и аббревиатуры необходимо расшифровать. Десятичный символ – запятая (0,47); между цифрами – тире без пробелов (5–10); кавычки – «ёлочки».
6. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или чёрно-белом варианте в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
7. Список литературы приводится в конце статьи и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Ссылки в тексте на источник даются соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. Неопубликованные работы в список не включаются, при необходимости на них делается ссылка в тексте, например (А.А.Иванов, Б.Б.Петров, 2003 г.).
8. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.