

УДК 549.211

## САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОРЕОЛАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

© 2002 г. А. Б. Макеев, С. И. Кисель, В. К. Соболев,  
В. Н. Филиппов, Н. И. Брянчанинова

Представлено академиком Н.П. Юшкиным 13.02.2002 г.

Поступило 21.03.2002 г.

Принято считать, что кимберлитовые тела практически не оказывают заметных экзоконтактных воздействий на вмещающие породы, а если и оказывают, то весьма слабые, затухающие на первых метрах, максимум на расстоянии 10–15 м от контакта.

В 1991 г. С.И. Киселем установлено, что в Архангельской алмазонасной провинции это далеко не так. А именно, кимберлитовые тела сопровождаются зонами скрытых нарушений сплошности вмещающих пород, проявляющихся главным образом на микропетрографическом уровне, и (или) наложенной гидротермальной минерализацией. Интенсивность этих воздействий в целом затухает по мере удаления от тел.

Впоследствии было установлено, что по линейным параметрам эти зоны структурно-текстурных и минералогических аномалий примерно сопоставимы или несколько превышают первичные геохимические ореолы. С.И. Киселем в 1995 г. предложены признаки и критерии для отнесения образцов вмещающего комплекса к “нормальному” и “аномальному” типу разрезов, а также найдено техническое решение, позволяющее использовать вмещающий комплекс как источник информации при поисках скрытых кимберлитовых тел с низким содержанием минералов-индикаторов. В рамках настоящей работы предпринята первая попытка выявления инструментальными методами тонких минералогических признаков вмещающих пород из зон “структурно-текстурных и минералогических аномалий”.

На сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link, ISIS-300 по стандартной методике было исследовано более 50 образцов из коллекции ЗАО “Терра”, отобранных из керна скважин, которые

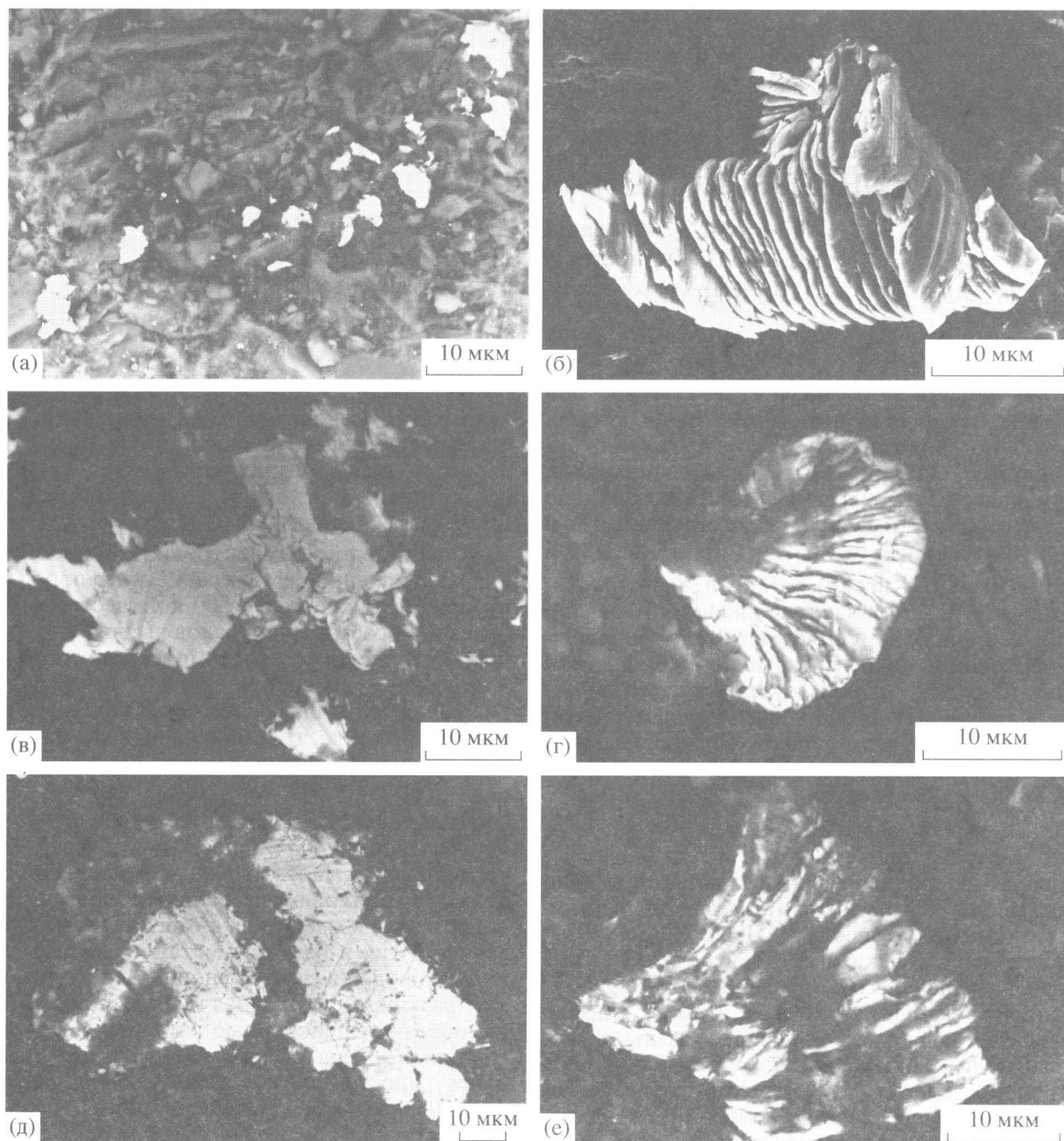
вскрывают осадочные толщи, вмещающие кимберлитовые тела. Осадочные терригенные породы охватывают разрез от венда до карбона и представлены в основном глинистыми мелкозернистыми песчаниками и аргиллитами.

Анализ более 300 электронно-микроскопических изображений структур и текстур пород и минералов, а также более 500 количественных определений состава минералов выявил типоморфные морфологические и химические особенности акцессорных минералов и экзотические для терригенных пород парагенезисы. В конечном итоге найдено более десятка минералогических признаков, каждый из которых может быть поисковым на кимберлитовые тела.

Примечательным фактом, впервые установленным в результате проведенных исследований, стали находки многочисленных выделений самородных металлов в измененных терригенных породах в зоне воздействия кимберлитовых трубок. Морфология и размеры металлических выделений в породах весьма разнообразны (рис. 1). Такие фазы, как самородная медь, цинк и Fe<sub>7</sub>Cr, чаще образуют цепочечные выделения, а другие – единичные зерна и чешуйки. Некоторые образцы были просто переполнены металлическими включениями, составлявшими многие сотни мелких зерен на 1 см<sup>2</sup> исследуемой поверхности образца. Размеры отдельных выделений варьируют незначительно в пределах нескольких микрон и имеют средний размер 4–8 мкм, а самые крупные достигают 100 мкм. Выделения металлов часто располагались в виде струйчатых скоплений.

Находки самородных металлов и интерметаллидов в ореолах кимберлитовых трубок особенно интересны в связи с открытием металлических пленок на алмазах [4, 7, 11]. Список найденных в измененных породах металлов и их сплавов уже сейчас насчитывает 24 вида (9 металлов и 15 сплавов и интерметаллидов), среди них Au, Ag(S), Fe, Ni, W, Fe–Cr, Fe–Ni, Fe–Ni–Cu, Fe–Ni–Cr, Ni–Cr–Fe–W–Mo, Fe–Mn–Si, Cu–Ni, Cu–Ni–Sn(Fe), Cu–Sn, Cu–Zn, Cu–Zn–Sn, Cu–Zn–Ni, Cu–Al, Cu, Sn, Zn, Pb, Pb–Sb, Pb–Cu–Zn. Наиболее полный список из бо-

Институт геологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской Академии наук,  
Сыктывкар  
ЗАО “Терра”, Архангельск



**Рис. 1.** Электронно-микроскопические изображения выделений самородных металлов в карбонатизированных песчаниках. а – цепочка выделений феррохрома  $Fe_7Cr$ ; б – природная латунь  $Cu_2Zn$  в виде кристалла-книжки; в – выделение самородной меди; г – кристалл-книжка  $Fe-Ni-Cu$  в поре; д – крупное выделение самородного цинка; е – самородный сплав  $Fe-Ni$ , кристалл-книжка.

более 40 видов металлических пленок на алмазах, их морфология и химический состав опубликованы в монографии [6]. Сравнение металлических пленок на алмазах, в том числе из кимберлитовой трубки им. М.В. Ломоносова, с металлами из вмещающих пород показывает их большое сходство. Заражение препаратов техногенными металлами исключено, так как часть препаратов представляла собой аккуратно приготовленные свежие ско-

лы. Состав и разнообразие соотношений металлов в природных сплавах отличает их от технических марок сплавов. Электронно-микроскопические изображения самородных металлов свидетельствуют, что они располагаются внутри порового пространства, в карбонатном цементе, перекрываются другими минералами и очень неоднородны по составу даже в одном зерне. Это свидетельствует в пользу того, что самородные металлы представ-

Таблица 1. Нормированный химический состав самородных фаз (мас. %) и размер выделений (мкм)

Fe	Ni	Cr	Cu	Sn	Zn	W	Au	Pb	Sb	S	Σ	Размер
87.62	0.29	12.09	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	10 × 24
1.54	—	—	78.31	20.15	—	—	—	—	—	—	100.0	6 × 10
0.26	0.03	—	—	—	—	—	99.70	—	—	—	100.0	2 × 2
0.37	—	—	65.85	33.78	—	—	—	—	—	—	100.0	4 × 6
46.92	37.38	—	15.45	—	—	—	—	—	—	0.24	100.0	6 × 8
51.19	48.63	—	0.17	—	—	—	—	—	—	—	100.0	3 × 4
95.46	4.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	5 × 7
0.49	—	0.27	44.92	—	54.32	—	—	—	—	—	100.0	8 × 12
1.43	0.10	—	86.03	12.38	—	—	—	—	—	0.06	100.0	5 × 7
77.39	8.86	13.76	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	2 × 3
0.38	0.04	—	—	0.71	—	—	98.53	—	—	0.33	100.0	2 × 3
0.37	0.30	—	6.67	—	—	—	91.80	—	—	0.87	100.0	2 × 3
73.22	0.91	24.20	1.17	—	0.45	—	—	—	—	0.05	100.0	4 × 5
1.33	98.48	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	2 × 4
0.76	0.46	—	60.58	—	38.18	—	—	—	—	0.02	100.0	2 × 3
0.32	0.33	—	95.39	—	3.97	—	—	—	—	—	100.0	5 × 8
1.03	0.00	—	—	98.97	—	—	—	—	—	—	100.0	4 × 6
0.88	0.17	—	75.31	18.87	—	—	—	—	—	4.77	100.0	3 × 8
39.83	14.82	—	45.00	—	—	—	—	—	—	0.35	100.0	6 × 8
21.43	5.37	—	57.78	—	—	—	—	—	—	15.42	100.0	2 × 3
0.76	0.20	0.03	—	—	—	99.00	—	—	—	—	100.0	0.5 × 1
0.55	0.00	0.01	—	—	—	99.44	—	—	—	—	100.0	1 × 1
11.85	25.95	—	44.93	17.18	—	—	—	—	—	0.10	100.0	3 × 4
25.47	3.64	—	65.25	5.54	—	—	—	—	—	0.10	100.0	2 × 3
1.67	—	—	0.29	—	97.70	—	—	—	—	0.33	100.0	1 × 2
0.12	—	—	0.08	—	99.79	—	—	—	—	—	100.0	100 × 70
0.84	—	—	93.09	—	0.03	—	—	—	—	6.04	100.0	5 × 6
11.29	9.63	—	77.95	0.90	0.22	—	—	—	—	—	100.0	12 × 12
39.61	30.84	0.09	24.52	4.95	—	—	—	—	—	—	100.0	40 × 10
99.38	0.02	0.09	0.17	0.04	0.29	—	—	—	—	—	100.0	4 × 5
63.22	29.13	0.10	6.71	0.17	0.20	—	—	—	—	0.47	100.0	35 × 18
0.21	0.23	0.07	99.49	—	—	—	—	—	—	—	100.0	5 × 7
0.97	0.18	0.05	58.54	—	38.80	—	—	—	—	1.46	100.0	2 × 2
71.97	24.46	0.09	3.47	—	—	—	—	—	—	—	100.0	100 × 30
—	—	—	—	0.24	—	—	—	97.50	1.63	0.63	100.0	10 × 20
0.46	—	—	22.30	—	15.27	—	—	62.56	—	0.09	99.97	4 × 5
15.02	84.20	—	0.46	—	0.32	—	—	—	—	—	100.0	10 × 10
0.71	0.21	—	0.72	0.24	0.08	—	—	87.93	4.17	5.88	99.94	3 × 4
56.11	38.01	—	5.78	—	—	—	—	—	—	0.10	100.0	10 × 8
74.96	20.90	—	4.07	—	—	—	—	—	—	0.07	100.0	5 × 5
—	—	—	0.04	—	—	—	—	91.20	8.53	0.23	100.0	10 × 10
43.39	34.98	—	16.71	—	0.30	—	—	—	—	0.03	95.41	200 × 35
30.26	58.09	—	6.90	0.50	0.23	—	—	—	—	0.10	96.08	10 × 6
3.08	25.28	—	26.30	—	42.54	—	—	—	—	2.80	100.0	5 × 6
1.92	97.30	—	0.58	—	—	—	—	—	—	0.19	99.99	1.5 × 1
1.66	—	—	0.50	—	0.50	—	—	85.56	11.03	0.93	99.98	1 × 1
4.54	64.25	31.21	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	3 × 4
2.77	0.19	—	53.01	—	37.33	—	—	6.70	—	—	100.0	25 × 15
5.62	0.68	—	59.93	—	26.09	—	—	7.42	—	0.26	100.0	5 × 6
1.29	—	—	—	—	—	—	—	91.02	6.68	1.01	100.0	2.5 × 3

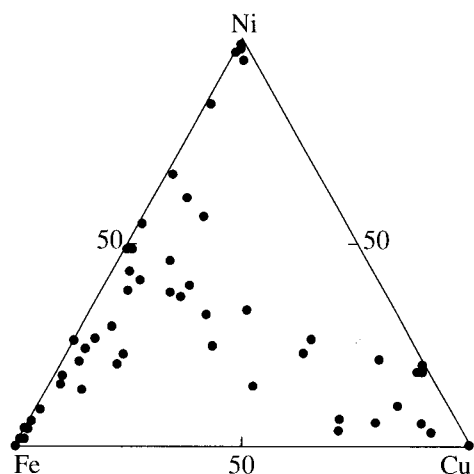


Рис. 2. Фигуративные точки составов природных сплавов системы Fe–Ni–Cu.

ляют собой природные объекты. Обнаружены очень характерные выделения в форме гармошек, так называемые кристаллы-книжки (рис. 1б, 1г, 1е). Подобные кристаллы-книжки самородных металлов уже известны во многих других обстановках. Считается, что они возникли в восстановительных условиях из металлоносных флюидов. Восстановителями могли быть мантийные газы, содержащие водород и метан. Состав газов включений в породообразующих минералах ультрабазитов [2, 5] и в самих алмазах [1] показывает, что в минералообразующей среде в мантии была высокая концентрация восстановительных газов для существования самородных металлов и в мантии, и в кимберлитах, и в ультрабазитах [3, 9]. Крупные выделения самородных металлов размером несколько миллиметров, например медь и алюминий, известны в кимберлитовых трубках Архангельской алмазоносной провинции.

Часть из 140 количественных определений состава самородных фаз помещена в табл. 1. Кроме того, нами проведено несколько сотен качественных определений видов самородных металлов по энергодисперсионным спектрам. Наиболее распространенными оказались металлы и сплавы на основе элементов группы железа, а самыми распространенными фазами (более 50%) – сплавы системы Fe–Ni–Cu. Фигуративные точки состава этих фаз нанесены на треугольную диаграмму (рис. 2) в координатах Fe–Ni–Cu, где хорошо видно все их разнообразие. Другой группой сплавов оказались тройные сплавы системы Fe–Cr–Ni, с легирующими добавками W и Mo. Найденные природные сплавы близки по составу к сплавам, которые используются в технике как разнообразные нержавеющие и броневые стали. Известен природный интерметаллид – феррохром с устойчивой формулой Fe<sub>7</sub>Cr [8]. Природные самородные сплавы этой системы обнаружены нами

только в трех скважинах около одной поисковой аномалии.

Следующими по распространенности оказались самородные сплавы меди и цинка (рис. 1в). Наиболее устойчивым соединением в этой системе является интерметаллид Cu<sub>2</sub>Zn, похожий на латунь стехиометричного состава. Этот интерметаллид распространен в изученных породах повсеместно. Он известен также в альпинотипных ультрабазитах [3] и кимберлитах [9].

Во всех без ограничения изученных образцах встречены отдельные зерна природных сплавов (рис. 1г) системы Cu–Sn(Ni, Fe), близкие по составу технической бронзе.

Весьма любопытны находки интерметаллических соединений на основе свинца и сурьмы (рис. 1д) в туффизитах, причем как в бесспорно кимберлитовых, так и в туффизитах, связь с кимберлитами которых проблематична. Подобные самородные сплавы системы Pb–Sb известны в конглобрекциях на Сидоровском участке месторождения Ичетью (Средний Тиман) и в алмазоносных породах Вишерских месторождений (Полюдов Кряж) [10]. Возможно, именно Pb–Sb-сплавы являются индикаторами туффизитов.

В двух образцах найдено по два мелких зерна самородного золота и в двух других изученных образцах встречен самородный вольфрам.

Некоторые самородные сплавы оказались неустойчивыми в природных условиях и со временем преобразовались в другие минералы – оксиды, сульфиды (Ag<sub>2</sub>S), сульфаты и др. Так, на поверхности Cu–Sn-сплавов образовались мелкие кристаллы сульфатов, а в составе самородных металлов фиксируется небольшое количество серы.

Широкое распространение тонкодисперсных металлических фаз разнообразного состава в ореолах кимберлитовых тел наряду с металлическими пленками на алмазах приводят нас к заключению о том, что самородные металлы являются истинными генетическими минералами-спутниками алмаза и одновременно спутниками самих кимберлитовых тел в околотрубочном пространстве вмещающего комплекса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельская алмазоносная провинция: (Геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова. М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
2. *Брянчанинова Н.И.* Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещ. Сыктывкар, 2001. С. 88–90.
3. *Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов. СПб.: Наука, 1992. 197 с.
4. *Макеев А.Б.* // Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2001. В. 107. С. 66–92.

5. *Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И.* Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы Всерос. совещ. Сыктывкар, 2001. С. 212–214.
6. *Макеев А.Б., Дудар В.А.* Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.
7. *Макеев А.Б., Филиппов В.Н.* // ДАН. 1999. Т. 368. № 6. С. 808–812.
8. *Новгородова М.И.* Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 286 с.
9. *Олейников О.Б.* Самородное металлообразование в магматическом процессе. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, 1991. С. 84–102.
10. *Чайковский И.И.* Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар, 1999. Т. 4. С. 129–132.
11. *Makeyev A.B., Bryanchaninova N.I.* // Geoscience. 2001. V. 15. № 2. P. 124–130.