

5. Лихникевич, Е.Г. Минералогические особенности редкоземельно-фосфатных руд, обуславливающие технологию их переработки / Е.Г. Лихникевич, Н.В. Петрова, В.И. Кузьмин, А.А. Рогожин / Матер. Междунар. совещания «Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья. (Плаксинские чтения-2014). — Алма-Аты, 2014. — С. 160–163.

6. Ожогина, Е.Г. Технологическая минералогия руд редких металлов / Е.Г. Ожогина, А.А. Рогожин, О.Б. Котова // ХАБАРШЫСЫ. Вестник Казахской Национальной Академии естественных наук. — 2014. — № 3 — С. 33–35.

7. Ожогина, Е.Г. Специфика методики изучения тонкодисперсных комплексных руд редких и редкоземельных металлов / Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии / Е.Г.Ожогина, О.А. Якушина (Юшкинские чтения-2016) / Матер. минерал. семинара с международным участием. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. — С. 121–122.

© Левченко Е.Н., Ожогина Е.Г., 2016

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru  
Ожогина Елена Германовна // vims-ozhogina@mail.ru

УДК 553.493:553.262

Лапин А.В., Куликова И.М., Левченко Е.Н. (ФГУП «ИМГРЭ»)

### О ПЕРСПЕКТИВНОМ ТИПЕ АПАТИТ-ПИРОХЛОРОВЫХ РУД В ПОРОДАХ ЭКЗОКОНТАКТОВОГО ОРЕОЛА КАРБОНАТИТОВ

*В месторождении Чуктукон, наряду с преобладающим распространением редкометалльных кор выветривания карбонатитов, установлено развитие нового для месторождения перспективного типа P-Nb руд, которые связаны с породами экзоконтактового ореола карбонатитов и представлены различными фациальными разновидностями околокарбонатитовых метасоматитов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности и широком распространении апатит-пирохлоровых руд экзоконтактового ореола карбонатитов. **Ключевые слова:** апатит-пирохлоровые руды, околокарбонатитовые метасоматиты, коры выветривания.*

Lapin A.V., Kulikova I.M., Levchenko E.N. (IMGRE)

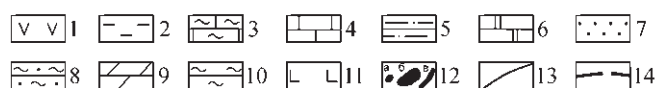
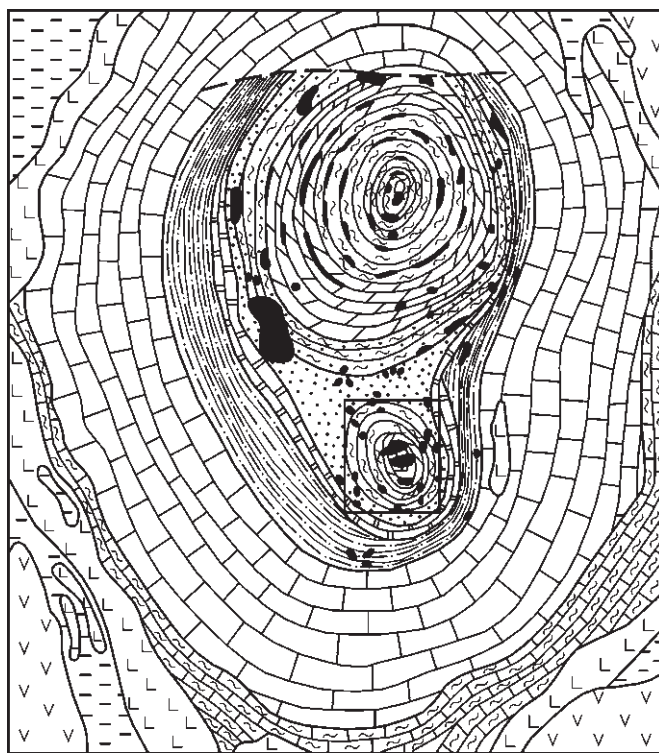
ABOUT THE PROSPECTS OF APATITE-PYROCHLORE TYPE ORE IN THE ROCKS EXOCONTACT HALO OF CARBONATITES

*As established, the Chuktukon weathering profile where the carbonatite-derived material prevails, contains a new promising P-Nb ore type developed after various facies of the exocontact metasomatic rocks. The data obtained witness that apatite-pyrochlore ores localized in the exocontact halo of carbonatites are prospective and widespread. **Keywords:** apatite-pyrochlore ore, exocontact metasomatite, weathering profile.*

Одним из наиболее существенных достижений редкометалльной отрасли за последнее десятилетие была оценка и постановка на госбаланс Большетагнинского месторождения пирохлоровых руд в микроклиновых метасоматитах экзоконтактового ореола карбонатитов [1, 7, 8]. Это позволило в рамках известной рудной формации не только значительно расширить перспективные рудоносные площади, но и выделить новый тип редко-

металльного оруденения, отличный от привычных типов, ориентированных на рудоносность самих карбонатитов и их кор выветривания. Естественно, что Большетагнинское месторождение поставило вопрос о распространенности этого типа оруденения и о его возможных аналогах. Анализ с этих позиций имеющихся данных по редкометалльной рудоносности карбонатитовых комплексов дает основания в числе первых аналогов назвать некоторые участки Чуктуконского месторождения на Чадобецком поднятии, которые свидетельствуют о перспективности и широком распространении нового типа редкометалльных руд.

Чуктуконское месторождение редкометалльных кор выветривания карбонатитов расположено на юго-западной окраине Сибирской платформы. Оно входит в состав Чадобецкого ультраосновного щелочного комплекса, с которым связано становление одноименной куполообразной структуры [3]. Чадобецкий купол фик-



**Рис. 1.** Схема геологического строения Чадобецкого поднятия со снятыми верхнепалеогеновыми и альб-эоценовыми отложениями (по материалам Ю.А. Забирова, А.Д. Слукина, А.В. Лапина): 1 — нижнетриасовые образования; 2 — средне-верхнекаменноугольные отложения; 3 — средне-верхнекембрийские отложения; 4 — нижнекембрийские карбонатные породы; верхнепротерозойские отложения, свиты: 5 — тогонская, 6 — безымянная, 7 — медведковская, 8 — брусская, 9 — карбонатно-терригенные породы териновской, чуктуконской и долчиковской свит, 10 — семеновская; 11 — траппы; 12 — щелочные ультраосновные породы и карбонатиты чадобецкого комплекса: а — трубка взрыва, б — штокообразные тела, в — силы; 13 — геологические границы; 14 — тектонические нарушения. На врезке — территория Чуктуконского месторождения

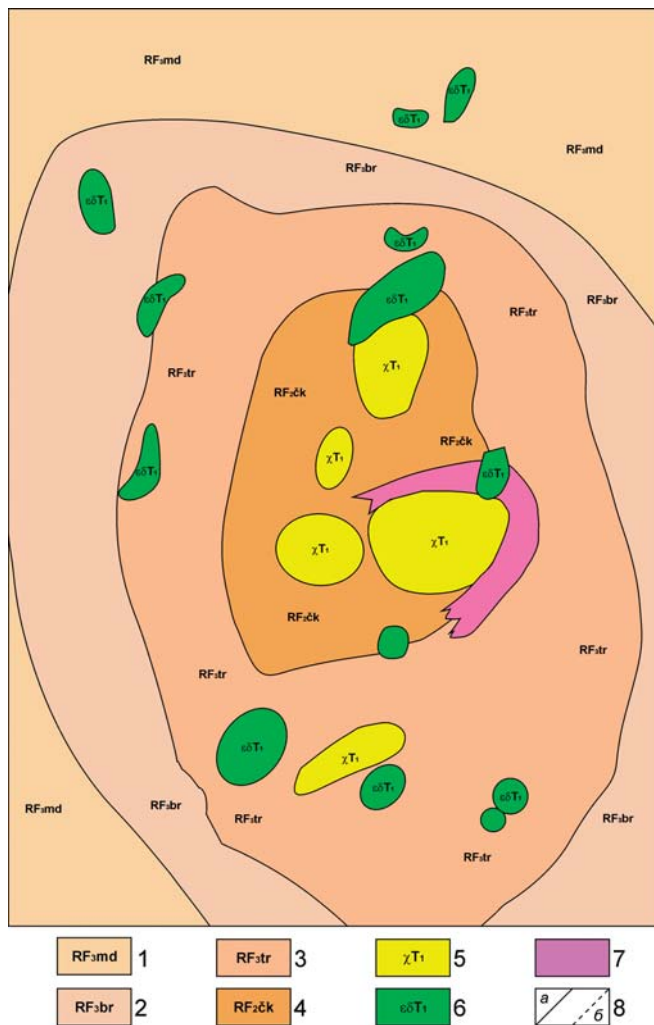
сируется выходом на поверхность синийских пород в обрамлении лежащих субгоризонтально пермо-карбонных и нижнетриасовых отложений и полей развития траппов. В ядре куполовидной структуры наблюдаются многочисленные проявления щелочных ультраосновных пород и карбонатитов, составляющие Чадобецкий комплекс, в составе которого преобладают породы пикрит-карбонатитового семейства. Комплекс имеет сложное строение и представлен силами, дайками, штокообразными телами и трубками взрыва, размещение которых в целом конформно куполовидной структуре, занимающей площадь 35×45 км (рис. 1). Согласно геологическим данным, которые подтверждаются и результатами геофизических исследований, Чадобецкий щелочной ультраосновной комплекс и одноименная куполовидная структура формируются как апикальная часть магматического диапира, либо как кровельная часть магматической камеры, расположенной на границе кристаллического фундамента и осадочного чехла.

В южной части Чадобецкой куполовидной структуры сосредоточены наиболее крупные штокообразные тела карбонатитов (1300×1000, 600×700 м и др.) (рис. 2). Состав карбонатитов кальцитовый, либо анкерит-кальцитовый, реже доломитовый. Отдельные тела карбонатитов образованы преимущественно той или иной разновидностью карбонатитов и имеют различную металлогенетическую специализацию. Различаются тела, сложенные преимущественно кальцитовыми карбонатитами с редкоземельно-ниобиевой специализацией, и тела анкерит-кальцитовых карбонатитов с собственной редкоземельной специализацией. Наиболее крупные тела включают обе разновидности карбонатитов.

Преобладающая часть Nb-TR и TR руд Чуктуконского месторождения сосредоточена в корях выветривания карбонатитов и локализуется главным образом в остаточных латеритных охрах. Выделяются два главных участка распространения руд этого типа — более крупный Центральный или Основной участок, где в настоящее время проводятся оценочные работы и где локализуются преимущественно ниобиево-редкоземельные руды, и Южный участок, на котором проводятся поисковые работы и где локализуются в основном собственно редкоземельные руды. Особенности состава, строения и рудоносности латеритного профиля выветривания карбонатитов Чуктуконского месторождения рассматривались в ряде работ [4–6].

Наряду с этим при анализе результатов геологоразведочных работ 1970–1990-х годов в северной и восточной частях экзоконтактовой зоны наиболее крупного Центрального карбонатитового штока нами выявлены фосфатно-ниобиевые руды, связанные с породами метасоматического ореола карбонатитов. По геолого-генетической позиции, составу, количественным и качественным параметрам ниобиевого оруденения эти руды существенно отличаются от более распространенных ниобиево-редкоземельных руд в корях выветривания карбонатитов, но сходны с пироклоровыми рудами Большетагинского месторождения в Восточном Саяне. Это подтверждается и первыми результатами минералого-технологического картирования Чуктуконского

месторождения, которое проводится в рамках ведущихся в настоящее время оценочных работ. Руды прослеживаются по простиранию на протяжении примерно 1,5 км в виде непрерывной зоны, ориентированной параллельно контактам карбонатитового штока (рис. 2). Анализ рудоносности пород экзоконтактовой зоны карбонатитового штока целесообразно выполнить отдельно для северного и восточного участков зоны, поскольку состав вмещающих карбонатитов пород в этих участках различен, что определяет фациальные особенности экзоконтактовых метасоматитов и связанных с ними апатит-пироклоровых руд. В восточном экзоконтакте вмещающая толща относится к териновской свите верхнего рифея и представлена алевролитами и гли-



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Чуктуконского месторождения со снятым чехлом мел-палеогеновых и неогеновых отложений (по материалам Г.В. Леонова, Ю.Д. Сорокина, А.В. Лапина, В.Г. Ломаева): 1 — верхний рифей, медведковская свита, песчаник с прослоями глинистых сланцев и алевролитов; 2 — верхний рифей, брусковская свита, сланцы глинистые с прослоями алевролитов и песчаников; 3 — верхний рифей, териновская свита, алевролиты, глинистые сланцы, известняки доломитистые; 4 — средний рифей, чуктуконская свита, доломиты, известняки доломитистые; 5 — нижний триас, чадобецкий комплекс, карбонатиты; 6 — нижний триас, чадобецкий комплекс, ультраосновные щелочные породы: альпенты, пикриты и др.; 7 — зоны пироклоросодержащих метасоматитов экзоконтактового ореола карбонатитов; 8 — геологические границы: а — установленные; б — предполагаемые

нистыми сланцами, содержащими прослой известняков, в то время как в северной и других частях экзоконтактового ореола развиты известняки и доломиты чуктуконской свиты среднего рифея.

В северной части экзоконтактового ореола карбонатов оруденение прослежено по простиранию четырех скважинами глубиной до 470 м на расстоянии 480 м с разрывом, связанным с внедрением трубки слюдяных пикритов (в районе скв. 61). На восточном участке экзоконтактового ореола рудная зона вскрыта восьмью скважинами глубиной до 210 м; оруденение прослежено по простиранию рудной зоны непрерывно на расстоянии 900 м. Результаты опробования керн скважин приведены в табл. 1.

Минимальная глубина, на которой вскрыто оруденение, составляет 16,4 м. Наиболее глубокая скважина (210 м) не вышла из рудного тела. Истинная мощность рудной зоны как в северном, так и в восточном участках экзоконтактового ореола точно не установлена из-за редкой сети буровых скважин, которые не обеспечивают перекрытых разрезов зоны. Однако по аналогии с Большетагинским месторождением она может составлять от 60 до 150 м.

Рассмотрим апатит-пироксеновое оруденение восточного экзоконтакта центрального карбонатитового штока, фациально более близкое к рудам Большетагинского месторождения. Химический состав апатит-пироксеновых руд восточного экзоконтакта и содержания в них примесных компонентов приведены в табл. 2.

По сравнению с окристыми рудами кор выветривания карбонатитов руды отличаются более низкими содержаниями оксидов железа и марганца (% масс. — в среднем 26 против 65 в охрах), но повышенными содержаниями  $\text{SiO}_2$  (% масс. — в среднем 12,3 и 2,64 соответственно),  $\text{K}_2\text{O}$  (% масс. — в среднем 1,44 и 0,0n соответ-

**Таблица 1**  
Результаты опробования буровых скважин Восточного экзоконтакта карбонатитового штока

Номер скважины	Интервал от — до, м	Длина интервала, м	Содержания, %		
			$\text{Nb}_2\text{O}_5$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{TR}_2\text{O}_3$
16 в том числе	33,0 — 210,5	177,5	1,04	13,73	1,29
	33,0 — 62,0	29,0	0,98	6,70	1,47
	62,0 — 85,0	23,0	0,78	7,68	1,06
	85,0 — 210,5	125,5	1,106	16,46	1,29
515	119,0 — 140,0	21,0	1,43	9,49	0,80
517	94,0 — 132,0	38,0	0,66	9,7	3,90
	158,0 — 191,0	33,0	0,90	11,6	1,68
72	54,7 — 75,6	20,9	1,07	5,03	2,23
73	52,7 — 106,7	54,0	1,02	5,56	1,77
	131,0 — 164,8	33,8	0,70	5,35	1,41
549	118,8 — 150,3	31,5	1,24	13,0	1,84
48	16,7 — 62,0	45,3	1,24	He опр.	1,62
68	43,0 — 93,6	50,6	1,06	2,85	2,22
	116,3 — 140,7	24,4	0,88	9,29	1,29
Среднее		44,5	1,02	9,81	1,72

Примечание. Рудные интервалы выделены по бортовому содержанию  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0,5 %

**Таблица 2**  
Химический состав пироксеновых руд в апатит-микроклиновых метасоматитах экзоконтактового ореола карбонатитов Чуктукона (% масс.)

Компонент	1	2	3	4	5
$\text{SiO}_2$	10,50	7,10	9,30	19,20	17,20
$\text{TiO}_2$	0,95	0,46	1,15	0,39	0,85
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4,53	1,45	2,40	2,30	5,10
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	33,80	30,00	39,25	28,14	34,54
$\text{MnO}$	4,90	3,30	8,80	4,20	2,70
$\text{MgO}$	1,99	0,69	1,58	0,68	0,33
$\text{CaO}$	16,80	26,80	11,60	16,10	12,50
$\text{SrO}$	0,79	0,40	0,53	0,72	0,82
$\text{BaO}$	2,02	0,79	2,23	1,08	0,95
$\text{Na}_2\text{O}$	0,23	0,23	0,43	0,44	<0,1
$\text{K}_2\text{O}$	1,95	1,20	0,74	1,45	2,65
$\text{SO}_3$	0,15	0,13	<0,1	<0,1	<0,1
$\text{ThO}_2$	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03
$\text{Cl}$	0,035	0,012	<0,1	<0,1	<0,1
$\text{F}$	0,53	0,75	0,44	0,44	<0,1
$\text{P}_2\text{O}_5$	14,1	19,80	9,70	11,60	9,40
$\text{Nb}_2\text{O}_5$	1,26	0,70	0,94	1,00	2,10
$\Sigma\text{Ln}_2\text{O}_3$	2,06	1,30	4,27	1,30	0,60
$\text{Y}_2\text{O}_3$	0,09	0,06	0,13	0,07	0,06

Примечание. Результаты рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (аналитик Е.П. Шевченко, ФГУП «ИМГРЭ»)

ственно) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (% масс. — в среднем 9,81 (табл. 1) и 1,4–2,5 соответственно). Согласно результатам опробования средние содержания  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  в экзоконтактовых рудах находятся на уровне богатых ниобием руд в корях выветривания карбонатитов. В то же время они содержат значительно меньше редких земель по сравнению с рудами кор выветривания карбонатитов (% масс. — в среднем 1,72 и от 3,5 до 7,0 соответственно).

В минеральном составе руд восточного экзоконтакта доминирующими фазами являются апатит и микроклин, а также гидроокислы железа и марганца. Постоянно наблюдается второстепенная примесь карбонатов. Наибольшими вариациями отличаются содержания гидроокислов железа и марганца, которые относятся к наложенным гипергенным минералам, количество которых увеличивается в приповерхностных частях рудной зоны вначале за счет замещения карбонатов, а затем и других рудных минералов. Дополнительным фактором, благоприятствующим ожелезнению руд, служит присутствие апофиз карбонатитового штока в породах экзоконтактового ореола. Наряду с этим возможен привнос гидроксидов железа и марганца в экзоконтактовые руды из близко расположенных участков кор выветривания карбонатитов, где они являются абсолютно доминирующими компонентами.

Состав главных минералов руд восточного экзоконтакта приведен в табл. 3. Микроклин почти не содержит натрия и других примесей (до 0,22 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ; до 0,14  $\text{CaO}$ ; и до 0,13  $\text{BaO}$ ). Апатит содержит до 1,29 %  $\text{SrO}$ , до 0,96  $\Sigma\text{Ln}_2\text{O}_3$ , до 0,12  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , отмечаются примеси свинца, урана и скандия. Количество фтора составляет от 4,05 до

Таблица 3

Химический состав первичного (ан. 1, 2) и гипергенно измененного (ан. 3, 4) пирохлора, апатита (ан. 5, 6), микроклина (ан. 7, 8), гетита (ан. 9) и голландита (ан. 10) из апатит-пирохлоровых руд восточного экзоконтакта карбонатитов (% масс.)

Анализы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	0.27	1.77	0.04	—	—	0.02	62.99	62.91	5.56	0.28
SrO	0.52	0.82	13.56	14.25	0.14	0.12	—	—	0.02	0.23
ΣLn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88	0.33	0.70	0.28	0.23	0.10	—	—	0.02	1.68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	35.87	35.61	—	—	0.37	0.09
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	15.61	14.99	—	0.06
ThO <sub>2</sub>	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	18.22	16.77	0.70	0.11	55.61	57.51	0.05	—	0.59	0.84
Na <sub>2</sub> O	6.08	7.16	0.18	0.09	—	0.05	0.22	0.08	0.05	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	16.60	17.21	0.45	0.09
TiO <sub>2</sub>	1.92	2.71	0.01	0.56	0.02	—	—	—	—	—
BaO	—	—	7.14	4.40	0.25	—	0.13	—	—	14.60
MnO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.24	76.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93	0.98	0.71	0.62	—	0.23	0.57	0.05	82.20	2.99
ZrO <sub>2</sub>	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	66.28	65.39	70.09	70.46	0.25	—	—	—	—	0.09
Прочие	0.09	0.32	0.45	0.02	—	—	—	—	—	—
F	5.29	5.40	—	0.49	5.55	6.12	—	—	—	—
-O=F <sub>2</sub>	-2.23	-2.27	—	-0.21	-2.34	-2.58	—	—	—	—
Сумма	99.14	99.37	93.58	91.09	95.60	97.18	96.17	95.26	83.95	97.47

Примечание. Результаты рентгеноспектрального микроанализа (аналитик Куликова И.М., ИМГРЭ).

6,0 %. Пирохлор образует идеально оформленные октаэдрические кристаллы микронного размера (их линейный размер варьирует от 1 до 100 мкм, преобладают кристаллы 1 — 13 мкм, средний размер ≈ 5 мкм), для которых характерно полосчатое и цепочечное расположение. Довольно обычна форма пирохлора — кристалл в футляре, когда идеально оформленные кристаллы имеют внешнюю оболочку, которая отделяется от основного тела тонкой перемишкой вмещающей фазы (рис. 3). Все эти особенности характеризуют выделения пирохлора как типичные метакристаллы. По составу (табл. 3) среди пирохлоров различаются как первичные натриево-кальциевые разновидности (ан. 1 и 2), которые встречаются на глубоких горизонтах рудной зоны, так и гипергенно измененные барийсодержащие стронциопирохлоры (ан. 3 и 4), в которых Na и Ca в структурной позиции «А» заменяются на Ba и Sr по механизму ио-

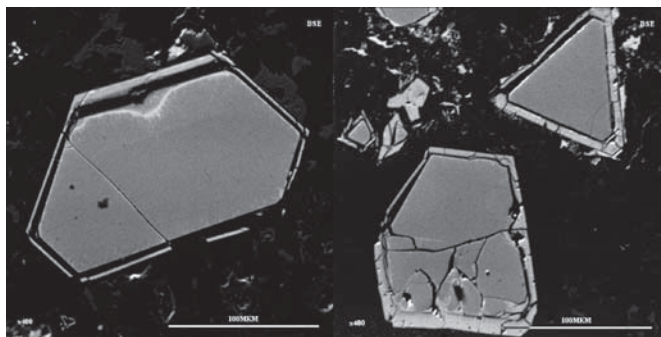


Рис. 3. Кристаллы пирохлора «в футляре» в изоконтактных апатит-микроклиновых рудах

нообменного декатионирования [2].

Карбонатные минералы представлены преимущественно кальцитом. Они образуют неправильные гнезда, обычно нашпигованные идиоморфными призматическими кристаллами апатита. Гнезда карбонатов ближе к поверхности частично или полностью замещены гидроксидами железа и марганца. Последние представлены преимущественно гетитом и минералами группы криптомелана (табл. 3, ан. 9 и 10). В качестве второстепенных и акцессорных минералов присутствуют рутил, фоггит, кварц, пирит.

Хотя геометрические параметры рудной зоны в будущем несомненно будут уточняться, имеющиеся материалы позволяют получить достаточно надежную минимальную оценку ресур-

сов апатит-пирохлоровых руд, а также их главных компонентов — ниобия и фосфора. Средние содержания Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, рассчитанные по результатам опробования 12 буровых скважин с общей протяженностью рудных интервалов 898 м в дальнейшем едва ли претерпят существенные изменения. Геометрические параметры рудной зоны определены, исходя из прослеженной протяженности по простиранию Восточного участка 900 м и Северного участка 480 м, наблюдаемой максимальной вертикальной протяженности оруденения, равной 177,5 м. Истинная мощность рудной зоны в расчетах прогнозных ресурсов до ее уточнения принята равной 50 м, учитывая, что в месторождении-аналоге она варьирует от 50 до 150 м. Приняв по аналогии с Большетагинским месторождением объемную массу руды 2,6 т/м<sup>3</sup>, получим минимальную оценку прогнозных ресурсов Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в Восточном участке рудной зоны 322 тыс. т (табл. 4), а в Северном участке 146 тыс. т, прогнозны ресурсы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в этих участках составляют соответственно 3,1 и 1,2 млн. т.

При оценке нового для Чуктуконского месторождения типа комплексных Р-Nb руд зоны экзоконтакта карбонатитов, во-первых, следует иметь в виду их пространственную разобщенность с охристыми и лимонит-франколитовыми рудами кор выветривания карбонатитов. Экзоконтактовые руды обрамляют руды кор выветривания карбонатитов, значительно увеличивая продуктивную рудоносную площадь месторождения.

Второе, что следует подчеркнуть — экзоконтактовые руды существенно отличаются от руд кор выветривания карбонатитов химическим и минеральным составом и рудной нагрузкой и как следствие — конечной товар-

**Таблица 4**  
**Сравнение некоторых параметров апатит-пироклоровых руд в метасоматитах экзоконтактового ореола карбонатитов**

Параметры оруденения	Чуктукон, Восточный участок	Большая Тагна	
Минеральный состав руд	Апатит, пироклор, Sr-пироклор <sup>1</sup> , микроклин, карбонат, гетит <sup>1</sup> , голландит <sup>1</sup>	Апатит, пироклор, K-, Sr-пироклор <sup>1</sup> , микроклин, карбонат, флогопит, гетит <sup>1</sup> , ярозит	
Протяженность рудной зоны, м	900	600	
Средние содержания рудных компонентов, %	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,02	1,02
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9,81	4,08 (коренные) 5,95 (коры)
Ресурсы, тыс. т	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	322	142,5
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,1	0,8

1 — минералы коры выветривания.

ной продукцией. Главные минералы экзоконтактовых руд — апатит, пироклор и микроклин — определяют и их товарную продукцию. Ведущие минеральные компоненты руд кор выветривания карбонатитов — гидроксиды Fe и Mn, монацит и пироклор — дополняют товарную продукцию этих руд редкоземельными и марганцово-железистыми компонентами.

В то же время следует еще раз подчеркнуть близкое сходство руд восточного экзоконтакта центрального штока карбонатитов Чуктуконского месторождения с пироклоровыми микроклинитами Большой Тагны (табл. 4). Геологическая позиция руд, особенности их минерального и химического состава, количественные и качественные параметры оруденения свидетельствуют о принадлежности этих руд к одному геолого-промышленному и генетическому типу. Вместе с тем имеются и очевидные различия между рудами двух месторождений. Экзоконтактовые руды Чуктуконского месторождения отличаются значительно более высокими содержаниями P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, которые в среднем примерно вдвое выше, чем в рудах Большетагнинского месторождения. Количество апатита в рудах Чуктукона нередко достигает 40–50 % об., и он становится главным рудообразующим минералом. Соответственно снижается доля других минералов, в первую очередь, микроклина. Учитывая геологическую позицию руд и повышенные содержания в них апатита, их следует классифицировать как пироклор-apatит-микроклиновые руды экзоконтактовой зоны карбонатитов.

В заключении следует остановиться на проблеме диагностики экзоконтактовых руд. Несмотря на наличие целого ряда специфических особенностей интенсивная лимонитизация, особенно характерная для верхних горизонтов руд, нередко сильно затрудняет их диагностику, которая требует учета совокупности признаков, включая использование индикаторных отношений. Одним из таких индикаторов служит отношение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которое у экзоконтактовых апатит-пироклоровых руд всегда значительно больше единицы, а в сред-

нем составляет 5,9, в то время как у охристых пироклор-монацитовых руд в корах выветривания карбонатитов это отношение всегда ниже единицы, а в среднем составляет 0,67. Важными индикаторными параметрами являются величины отношений (SiO<sub>2</sub> + K<sub>2</sub>O + CaO) / (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MnO<sub>2</sub>), а также содержания в рудах SiO<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>O и их соотношения, близкие к таковым в микроклине.

Учитывая повышенные количества P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в экзоконтактовых пироклоровых рудах Чуктуконского месторождения и повсеместное ожелезнение руд, особенно значительное в приповерхностных горизонтах, существует также проблема критериев различия между экзоконтактовыми пироклоровыми рудами и высокофосфорными лимонит-франколитовыми рядами нижних горизонтов латеритного профиля выветривания карбонатитов. Эта проблема особенно актуальна для апатит-пироклоровых руд северного экзоконтакта, которые в силу общего литологического сходства с карбонатитами в зоне гипергенеза ведут себя во многом аналогично последним, что создает дополнительные сложности при идентификации экзоконтактовых руд, затрудняя их отличие от лимонит-франколитовых руд кор выветривания карбонатитов. Вместе с тем критерии такого отличия существуют. Прежде всего, это наличие общей прямой корреляции между концентрациями Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в экзоконтактовых рудах, отсутствующей в лимонит-франколитовых породах. Следует обратить внимание также на то, что развитием апатит-пироклорового оруденения в метасоматитах экзоконтактового ореола карбонатитов отчасти объясняется наблюдаемое нередко зональное распределение типов руд, проявляющееся и в центральном карбонатитовом штоке Чуктуконского месторождения [9]. В его внутренней зоне развиты редкоземельные руды, ближе к краям они сменяются ниобиево-редкоземельными рудами, а последние уже во внешней зоне метасоматического ореола карбонатитов сменяются фосфатно-ниобиевыми апатит-пироклоровыми рудами.

### Выводы

Полученные результаты свидетельствуют в пользу широкого распространения апатит-пироклоровых руд в метасоматических породах экзоконтактового ореола карбонатитов и позволяют рассматривать их в качестве перспективного типа фосфатно-редкометалльных руд. Выявление нового для Чуктуконского месторождения типа апатит-пироклоровых руд значительно расширяет перспективные рудоносные площади и предполагает возможность обнаружения подобного оруденения и в других участках месторождения. При этом следует учитывать возможность значительных фациальных различий в рудах рассматриваемого типа, состав которых зависит от состава вмещающих карбонатитов пород. Так, имеющиеся данные показывают, что апатит-пироклоровые руды северного экзоконтакта карбонатитов, развивающиеся по вмещающим известнякам, существенно отличаются от руд восточного экзоконтакта практически полным отсутствием микроклина и более интенсивной лимонитизацией.

Близкое сходство пироклоровых руд в апатит-микроклиновых породах Чуктуконского месторождения с рудами недавно разведанного Большетагнинского месторождения в Восточном Саяне позволяет рассчиты-

Николаев Ю.Н., Джеджева Г.Т., Сидорина Ю.Н.,  
Калько И.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова)

### ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПЕСЧАНКИНСКОЙ ПОРФИРОВО-ЭПИТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ЗАПАД- НАЯ ЧУКОТКА)

*С помощью современных методов исследований, обработки данных и использования ГИС-технологий построена трехмерная модель геохимической зональности Песчанкинской порфирово-эпитеpмальной системы (ПЭС), отражающая пространственные распределения ассоциаций химических элементов и минеральных парагенезисов. Выявленная зональность является многоуровневой, в полной мере отражающей этапы и стадии формирования оруденения в Песчанкинской ПЭС. Практическое значение имеет предложенный показатель вертикальной зональности вида  $AgPbZn/CuBiMo$ , позволяющий оценивать уровень эрозионного среза медно-порфирового оруденения. **Ключевые слова:** порфирово-эпитеpмальная система, меднопорфиновый штокверк, ассоциация элементов, геохимическая зональность, геохимический показатель зональности.*

Nikolaev Yu.N., Dzhedzheva G.T., Sidorina Yu.N., Kalko I.A.  
(Moscow State University)

### GEOCHEMICAL ZONING OF THE PESCHANKA PORPHYRY-EPITHERMAL SYSTEM (WESTERN CHUKOTKA)

*Through the modern techniques of analysis and data processing and with the use of GIS technologies the 3D-model of geochemical zoning was developed for the Peschanka porphyry-epithermal system. The model displays spatial distribution of the associations of elements and mineral assemblages and, being multilevel, it fully reproduces the stages of ore formation at the Peschanka. The indicator of vertical geochemical zoning  $AgPbZn/CuBiMo$  was recommended as it is of practical importance to assess erosion level of porphyry copper mineralization. **Keywords:** porphyry-epithermal system, porphyry copper stockwork, geochemical association, geochemical zoning, indicator of geochemical zoning.*

Геохимическая зональность порфирово-эпитеpмальных систем формируется в результате гидротермально-метасоматических процессов, происходящих в несколько этапов и стадий. Согласно модели, предложенной Sillitoe R.H. [9], в порфирово-эпитеpмальных системах совмещены фрагменты нескольких типов оруденения: медно-порфирового, приуроченного к интрузиям, удаленных полиметаллических скарнов и стратиформного золоторудного, а также эпитеpмальных золото-медных, полиметаллических и золото-серебряных месторождений, локализованных вблизи или на несущественном удалении от медно-порфировых штокверков, либо над ними в породах «литокапа».

Зональность большинства изученных медно-порфировых месторождений является многовекторной и имеет три составляющие — латеральную, поперечную и вертикальную [6]. Зональность месторождения Песчанка изучалась предшественниками в ранний период разведки [3]. Эти исследования были продолжены на

вать на новые находки аналогичных месторождений в метасоматических породах экзоконтактового ореола карбонатитов. С большой долей вероятности можно прогнозировать возможность выявления этого типа оруденения в экзоконтактовой зоне центрального карбонатитового ядра Томторского массива в участках развития в нем соответствующего по рудной специализации типа карбонатитов [5, 10]. В качестве перспективной площади, в частности, может рассматриваться восточный фланг участка Буранный.

В минерагеническом и общепетрологическом плане полученные данные подтверждают важное рудогенерирующее значение фракционирования карбонатитовой системы с обособлением щелочных растворов, несущих существенную фосфатно-редкометалльную рудную нагрузку. Примечательная особенность процесса фракционирования карбонатитовой системы с обособлением апатит-пироксеновых руд экзоконтактового ореола карбонатитов заключается в том, что эти руды в среднем примерно в 3–5 раз богаче ниобием и фосфором по сравнению с карбонатитами, с которыми они ассоциируют.

Практическое следствие полученных результатов заключается в том, что при проведении поисковых и оценочных работ в карбонатитовых комплексах экзоконтактовым зонам редкометалльных карбонатитов, на которых нередко пытаются экономить, напротив, следует уделять особое внимание. Учитывая специфику геологической позиции, вещественного состава и параметров рудоносности, руды рассмотренного типа в перспективе должны стать объектом самостоятельного оконтуривания и оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азарнова, Л.А. Клинопироксид из зоны окисления ниобиевых руд Большетагнинского месторождения / Л.А. Азарнова, А.В. Темнов, Н.И. Чистякова, Н.С. Наумова // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 3. — С. 34–37.
2. Лапин, А.В. Процессы изменения пироксидов и их продукты в корях выветривания карбонатитов / А.В. Лапин, И.М. Куликова // Зап. ВМО. — 1989. — № 1. — С. 41–49.
3. Лапин, А.В. Чадобецкий комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов / А.В. Лапин, И.К. Пятенко // Изв. РАН. — 1992. — № 6. — С. 88–101.
4. Лапин, А.В. Месторождения кор выветривания карбонатитов / А.В. Лапин, А.В. Толстов. — М.: Наука. 1995. — 208 с.
5. Лапин, А.В. Минерагения кор выветривания карбонатитов / А.В. Лапин, А.В. Толстов / Метод. рекоменд. — М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2011. — 308 с.
6. Ломаев, В.Г. Чукотконское ниобий-редкоземельное месторождение. Геология и полезные ископаемые Красноярского края / В.Г. Ломаев, В.И. Кузьмин — Красноярск, 2007. — С. 131–140.
7. Пожарицкая, Л.К. Большетагнинское месторождение ниобия / Л.К. Пожарицкая, Б.Т. Вейс, Т.Д. Квитко и др. // Минеральное сырье. — 2006. — № 18. — С. 118–134.
8. Потанин, С.Д. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы ниобия России / С.Д. Потанин, Е.А. Калиш, В.К. Рябкин // Минеральное сырье. — 2006. — № 18. — С. 26–39.
9. Цыкина, С.В. Чукотконское Nb-TR месторождение. Моделирование, типизация руд и оценка перспектив / С.В. Цыкина: автореф. канд. дисс. — Красноярск, 2004. — 20 с.
10. Толстов, А.И. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северозападная Якутия) / А.И. Толстов // Геология и геофизика. — 1994. — Т. 35. — № 9. — С. 91.

© Лапин А.В., Куликова И.М., Левченко Е.Н., 2016

Лапин Александр Владимирович // lapin@imgre.ru  
Куликова Инна Михайловна // kulikova@imgre.ru  
Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru