

Сложным в предложенных схемах является то, что необходимо точно выдерживать режим технологии в фабричных условиях, т.к. малейшие колебания ведут к нарушению процесса и потерям ценных компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полькин С.И., Адамов Э.В.* Обогащение руд цветных металлов. – М.: Недра, 1983.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ МЕТОДАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПЕСКОВ СЕМЕНОВСКОЙ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНОЙ ПЛОЩАДИ

Левченко М.Л.¹, Григорьева А.В.²

¹ ФГУП «ИМГРЭ», г. Москва; ² ИГЕМ РАН, г. Москва

Титан и цирконий относятся к одним из самых дефицитных в России видов твердых полезных ископаемых. Их потребление имеет значительный потенциал роста, поскольку многие эффективные области их применения активно развивающиеся за рубежом, в России еще не освоены, и она отстает от промышленно развитых стран по объему использования этих видов минерального сырья в несколько раз.

Потребности России в титановом и циркониевом сырье удовлетворяются за счет собственного производства не более, чем на 2–3%, и обеспечиваются за счет импорта на сумму около 100 млн.долл. ежегодно.

Титан и цирконий относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, и развитие их сырьевой базы для самообеспечения России остро необходимо.

Россыпи являются наиболее дешевым источником сырья, и в мире служат основным промышленным источником титановых минералов и циркона. В России имеются россыпные титан-циркониевые месторождения, разведанные запасы которых способны не только обеспечить текущие потребности страны, но и выйти на мировой рынок титанового и циркониевого сырья. Однако их экономическая эффективность остается низкой и является основным препятствием для их освоения.

Существует два пути решения задачи по обеспечению страны титан-циркониевым сырьем: 1 – совершенствование технологических схем обогащения имеющихся объектов, 2 – разведка и освоение новых, более эффективных в экономическом отношении месторождений.

На основании результатов комплекса минералого-технологических исследований, в первую очередь, гравитационно-магнитного и минералогического анализов, прогнозируются предельно достижимые технологические показатели (номенклатура и качество концентратов, их выход, извлечение ценных компонентов, неизбежные потери в хвостах). При этом прогнозные показатели обосновываются фактическим материалом, отражающим особенности вещественного состава и технологических свойств изучаемого минерального сырья.

Самостоятельную ценность представляет прогнозная оценка технологических свойств песков на ранних стадиях геологоразведочных работ, когда зачастую не специалист-технолог, а геолог принимает решение о целесообразности их продолжения.

Одним из новых разведываемых объектов является Семеновская площадь, изучаемая на стадии поисково-разведочных работ. Семеновский участок прибрежно-морских (озёрных) титан-циркониевых россыпей в кайнозойских отложениях расположен в Заводоуковском районе южной части Тюменской области по правобережью р. Ук.

В стратиграфическом отношении наиболее древними породами в пределах участка являются осадки новомихайловской свиты Р₃пт нижнего олигоцена. Представлены они преимущественно коричневатыми тонкослоистыми слюдястыми алевроглинами с редкими прослоями тонкозернистых песков (проба Т-1) и серых алевритов (проба Т-2).

При изучении гранулярного состава исходных проб (рис. 1) выяснилось, что

- проба Т-1 представлена тонкозернистым материалом: чуть более 37% распределилось в класс –0,2+0,1 мм, немного больше 25% – в класс –0,1+0,044 мм, а в класс –0,044 мм – около 30%,
- проба Т-2 представлена, в основном, материалом менее 0,044 мм – около 68% и 25–27% – класс –0,1+0,044 мм.

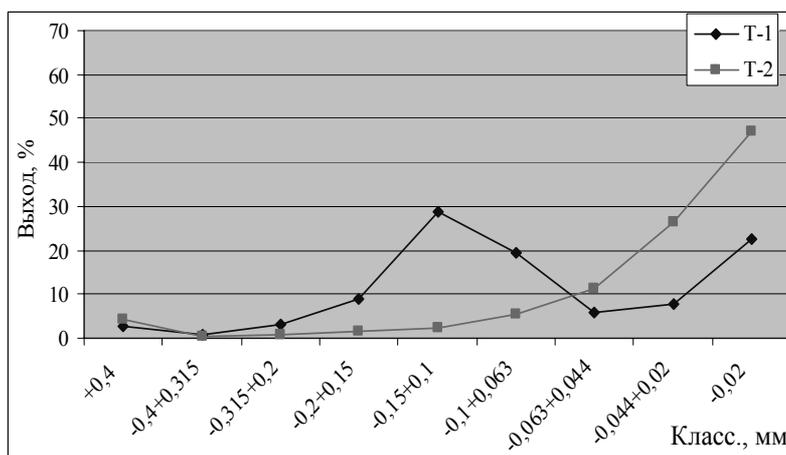


Рис. 1. Гранулярные характеристики исходных проб

Анализ распределения оксидов титана и циркония по классам крупности исходных проб показал, что:

- в пробе Т-1 54,33% TiO_2 и 34,31% ZrO_2 сконцентрировано в классе $-0,15 + 0,044$ мм, а в класс менее 0,044 мм распределилось 43,11% TiO_2 и 58,92% ZrO_2 , при этом в классе $-0,02$ мм эти цифры составляют 28,04% и 38,79% соответственно;

- в пробе Т-2 в класс менее 0,044 мм распределилось 76,67% TiO_2 и 98,9% ZrO_2 , при этом в классе $-0,02$ мм эти цифры составляют 49,12% и 54,64% соответственно, а в классе $-0,15 + 0,044$ мм сконцентрировано 18% TiO_2 и всего 0,5% ZrO_2 .

Если по содержанию оксида титана еще можно выделить продуктивный класс, то очень низкие содержания оксида циркония не позволяют это сделать, т.к. содержание ZrO_2 в пробе в 3 раза ниже, чем в принятой для аналога пробе ОР Ордынского месторождения.

В результате минералогического анализа всех проб выявлены следующие особенности исследуемого титано-цирконевого рудопроявления:

- минералогическим анализом выявлено более 25 минералов, из которых наиболее ценными являются ильменит, рутил, циркон, лейкоксен (табл. 1);
- в пробах содержатся лимонит и пирит – спутники золота и серебра («железная шляпа»);
- ценные минералы обладают весьма малыми размерами (менее 100 мкм, редко 150–200 мкм), при этом, чем тоньше основной минерал пробы, тем мельче эти минералы (рис.2);
- все минералы представлены неправильными обломками сравнительно слабо окатанными и редко кристаллами;
- в состав тяжелой фракции входят также гранат, эпидот, минералы групп пироксенов и амфиболов, ставролит, турмалин, минералы группы хромшпинелидов, гидроксиды железа, минералы группы слюд (в основном, мусковит и серицит) и др. Присутствие в пробе таких минералов, как свинец, церуссит, сфалерит указывает на близость свинцово-цинкового оруденения. Кроме того, в пробе обнаружено золото и серебро, а также редкая благородная шпинель светло-голубого цвета.

Таблица 1

Содержание рудных минералов в исходных пробах

Минерал	Проба Т – 1		Проба Т -2	
	на зернист. часть	на исходн. пробу	на зернист. часть	на исходн. пробу
Ильменит	0,267	1,180	0,016	2,056
Лейкоксен	0,010	0,010	Зн	зн
Рутил	0,012	0,042	0,002	0,070
Циркон	0,028	0,150	0,003	0,207
Сфен	0,005	0,005	Зн	зн
Анализ	0,001	0,001	Зн	зн
Монацит	0,001	0,001		
Хромшпинелиды	0,009	0,009		
Глаукоцит измен.	1,136	4,786	3,013	13,201
Фосфат	0,441	0,441	0,152	0,152

Ильменит – наиболее распространенный рудный минерал исследуемых проб. Представлен он неправильными угловатыми, полуугловато-полуокатанными и окатанными зернами, редко кристаллами. Последние представлены комбинациями трехгранной призмы с трехгранными пирамидами на концах призмы. Изредка встречаются их двойники. Размеры зерен ильменита варьируют в широких пределах. В пробе

глинистого и алевритового состава они представлены мельчайшими угловатыми обломками, совершенно не окатанными, размером 20 мкм и меньше. В песчано-алевролитистых пробах он полуокатан, размер его зерен достигает 120 мкм, а в песчаных – окатанные его зерна достигают размеров 250 мкм (рис. 3). Часто ильменит замещается лейкоксеном, причем замещению предпочтительнее поддаются центральные части зерен.

Рутил представлен слабоокатанными мелкими (20–40 мкм) зернами, полуокатанными и окатанными индивидами размером 50–150 мкм, редко хорошо образованными кристаллами призматического облика, размером 100–120 мкм (рис. 4). Все разновидности прозрачны характерного красновато-коричневого цвета, а более крупные (100–150 мкм) просвечивают в краях темно-красным цветом. Встречаются редкие коленчатые двойники размером до 300 мкм, которые в местах сочленения темные до черных и непрозрачные, отдельные индивиды к вершинам начинают просвечивать и приобретают темный красноватый оттенок. Также, как ильменит, рутил замещается лейкоксеном, но в отличие от него, лейкоксенизации в первую очередь подвергаются краевые части рутила.

Лейкоксен по распространенности не уступает рутилу, но если учесть, что он замещает внутренние части ильменита, то часть последнего следует относить к лейкоксену.

Циркон по распространенности уступает ильмениту, но содержание его в пробах в 2-3 выше, чем рутила и лейкоксена. Он представлен слабо окатанными изометричными зернами размером 30–100 мкм, сглаженными кристаллическими индивидами размером до 150 мкм и кристаллами призматического облика с пирамидальными вершинами размером 20–50 мкм (рис.5). Встречены также пирамидальные кристаллы малакона размером до 300 мкм. Все разновидности, за исключением малакона, прозрачные, обладают алмазным блеском, бесцветные или слегка розовато-малиновые. В проходящем свете микроскопа в кристаллических индивидах иногда наблюдается ярко выраженная зональность, параллельная их граням, а также серовато-черные включения размером доли – первые микрометры. В отраженном свете микроскопа циркон темно-серый, а при включенном анализаторе – прозрачно-просвечивающий с ясно выраженной зональностью, присутствием включений, от которых отходят радиальные трещины мощностью доли – первые микрометры.

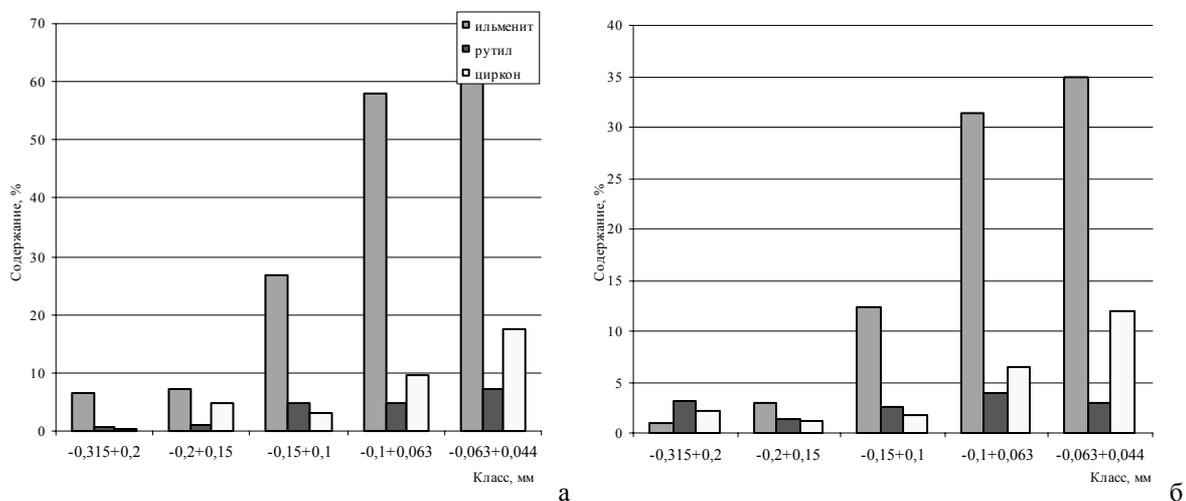


Рис. 2. Содержание рудных минералов в тяжелой фракции классов крупности технологических проб: а – проба Т-1, б - проба Т-2

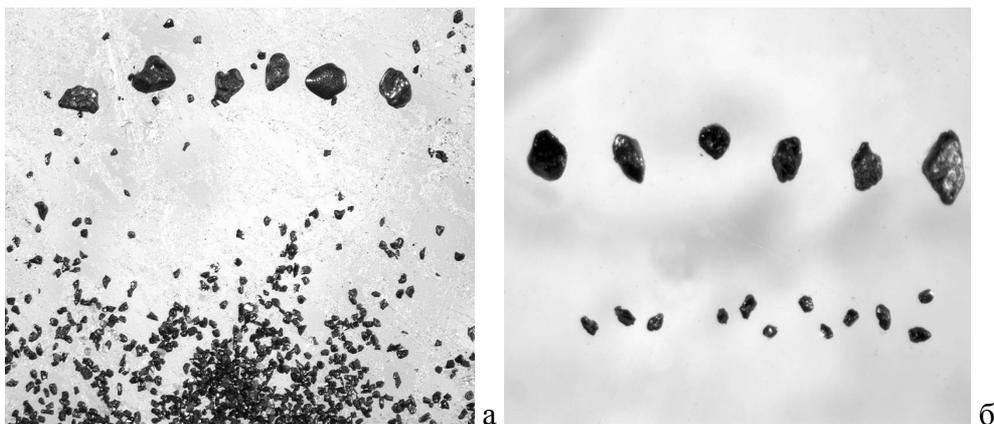


Рис. 3. Зерна ильменита. Верхний ряд – класс -0,315+0,2 мм, нижний – -0,063 +0,044 мм, а - проба Т-1, б – проба Т-2

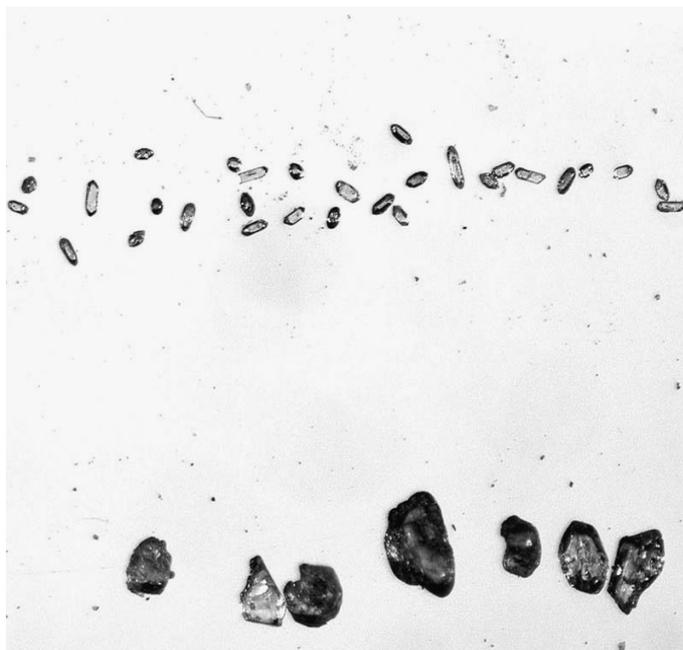


Рис. 4. Зерна рутила (проба Т-1).
Верхний ряд – класс $-0,315+0,2$ мм, нижний – $-0,1+0,063$ мм



Рис. 5. Зерна циркона (проба Т-1).
Верхний ряд – класс $-0,063 +0,044$ мм, нижний – $-0,315+0,2$ мм

По результатам микронзондового анализа ильменита проведен расчет степени его измененности. На рис. 6 показано, что степень измененности ильменита Семеновского участка (59,46%) отличается от предполагаемого аналога – Ордынского месторождения, где ильменит изменен минимально, и более близка к степени измененности ильменита Центрального месторождения (47,94%) при снижении содержания железа и увеличении содержания оксида титана.

Анализ минерального состава исходных песков пробы Т-1 и распределения TiO_2 и ZrO_2 по классам крупности песков показал, что с классами крупности более 0,044 мм связано 41,08% ZrO_2 от исходных песков. Теоретические потери с необогатяемыми (-44 мкм) классами крупности составляют 58,92%. Около 14% ZrO_2 может быть доизвлечено из кл.-0,044 мм. Таким образом, 45% ZrO_2 можно отнести к неизбежным, обусловленным генетическими особенностями минералов месторождения, технологическим потерям при обогащении песков. При общем содержании в пробе циркона 0,15% в классах крупности более 44 мкм его всего 18,66% от общего количества.

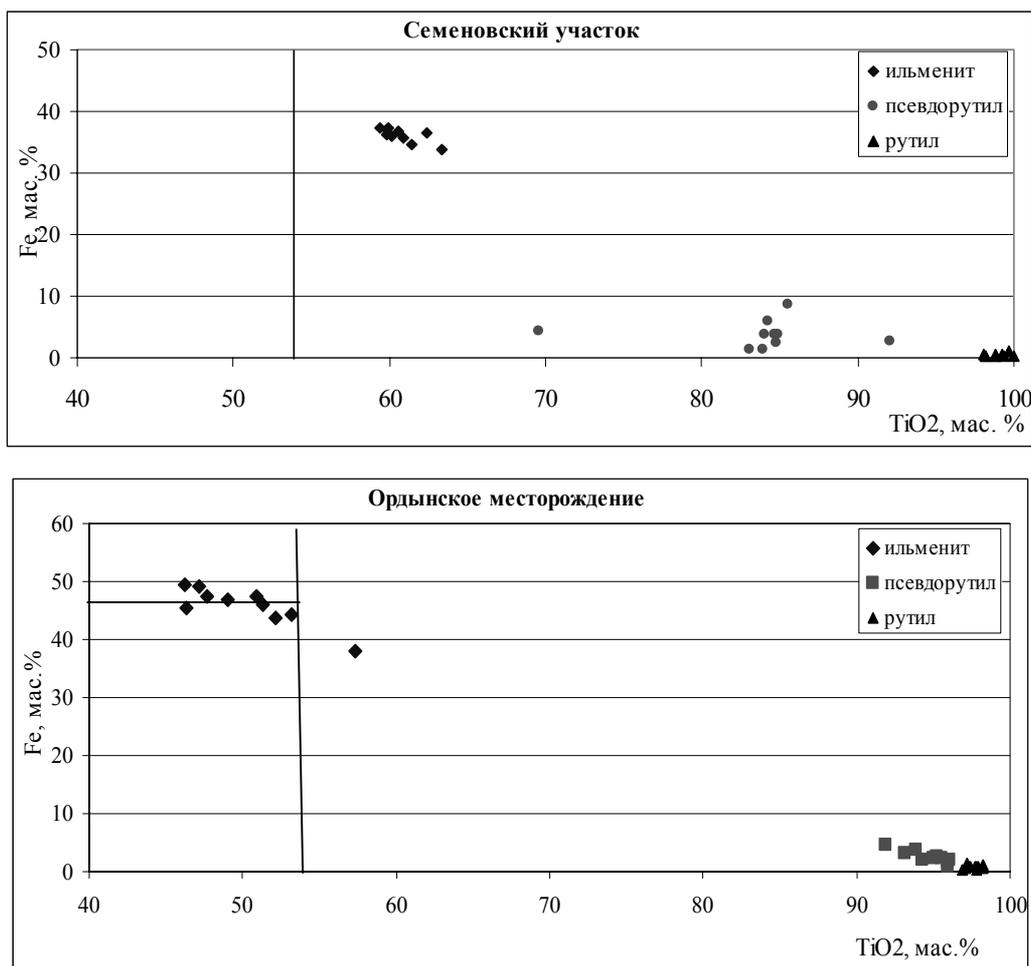


Рис. 6. Степень измененности ильменита Семеновского участка и предполагаемого аналога – Ордынского месторождения

Потери TiO_2 с необогатяемыми ($- 44$ мкм) классами крупности составляют 43,11%. Около 10% TiO_2 может быть доизвлечено из кл.-0,044 мм. Неизбежные технологические потери, связанные с необогатяемыми классами крупности, составят около 33%. При общем содержании в пробе титансодержащих минералов 1,232% в классах крупности более 44 мкм его всего 23,46% от общего количества.

Для пробы Т-2 эти показатели следующие:

- с классами крупности более 0,044 мм связано только 1,1% ZrO_2 от исходных песков, с необогатяемыми ($- 44$ мкм) классами крупности 98,9%. Около 20% ZrO_2 может быть доизвлечено из кл.-0,044 мм при получении коллективного концентрата методом гравитации. Таким образом, 78% ZrO_2 можно отнести к неизбежным, обусловленным генетическими особенностями минералов месторождения, технологическим потерям при обогащении песков. При общем содержании в пробе циркона 0,207% в классах крупности более 44 мкм его всего 1,8% от общего количества;

- потери TiO_2 необогатяемыми ($- 44$ мкм) классами крупности составляют 76,67%. Около 15% TiO_2 может быть доизвлечено из кл.-0,044 мм. Неизбежные технологические потери, связанные с необогатяемыми классами крупности, составят около 60%. При общем содержании в пробе титансодержащих минералов 2,126% в классах крупности более 44 мкм его всего 0,8% от общего количества.

Для обеих проб был выполнен гравитационно-магнитный анализ классов крупности с минералогическим анализом продуктов фракционирования, результаты которого были использованы для прогнозной оценки обогатимости песков пробы Т-1 по основным минералам и элементам (табл. 2), где не учтено возможное доизвлечение рудных минералов из кл.-0,044 мм. Оценка проводилась по варианту технологической схемы с выделением черного концентрата максимально возможного качества из материала классов более 0,044 мм.

Установлено, что титановые минералы могут быть выделены на 38,93%, а циркон на 19,17% от исходных песков в черновой концентрат, имеющий выход около 0,434% от исходных песков и содержащий 59,9% суммы титановых минералов и 6,18% циркона. Содержание TiO_2 в черновом концентрате составит около 40%, а ZrO_2 около 4,0% при извлечении 41,76% и 23,8% от исходных песков соответственно. Основные потери рудных минералов в хвостах гравитации и шламах будут связаны с их тонкозернистой частью.

В таблице 3 приведена оперативная оценка технологических свойств исследуемых титано-циркониевых россыпей в сравнении с эталонным объектом (в данном случае – Ордынским месторождением).

Таблица 2

Прогнозные технологические показатели обогащения пробы исходных песков технологической пробы Т-1 на стадии получения коллективного концентрата

Продукты	Выход от исх. песков, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Тит. мин.	TiO ₂	циркон	ZrO ₂	Тит. мин.	TiO ₂	циркон	ZrO ₂
Прогнозные показатели обогащения пробы Т-1 (вариант с получением концентрата высокого качества)									
Черновой к-т, в т. ч.	0,434	59,9	40,78	6,18	4,08	38,93	41,76	19,17	23,80
Класс +0,4 мм	0,01	0,1	0,01	0,001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
Класс -0,4 + 0,315 мм	0,004	0,1	0,01	0,001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
Класс -0,315+0,2 мм	0,01	12,2	8,39	0,2	0,1	0,18	0,20	0,01	0,01
Класс -0,2+0,15 мм	0,02	39,7	27,3	4,8	3,1	1,19	1,27	0,69	0,83
Класс -0,15+0,1 мм	0,15	57,24	39,36	4,1	2,7	12,85	13,78	4,39	5,44
Класс -0,1+0,063 мм	0,22	68,17	46,9	8,48	5,68	22,45	24,08	13,33	16,55
Класс -0,063+0,044 мм	0,02	75,5	51,92	5,23	3,61	2,26	2,42	0,75	0,97
Хвосты гравитации	69,58	0,18	0,1	0,115	0,02	18,75	16,24	54,69	56,07
Шламы	29,986	0,943	0,6	0,122	0,0725	42,32	42,00	26,14	20,14
Исходные пески	100,00	1,232	0,73	0,15	0,053	100,00	100,00	100,00	100,00
Прогнозные показатели обогащения пробы ОР (вариант – максимально возможное качество)									
Черновой к-т, в т. ч.	3,16	59,67	35,56	10,38	6,61	91,54	92,0	91,09	90,78
Класс +0,14	0,23	14,53	8,66	0,05	0,03	1,62	1,63	0,03	0,03
Класс -0,14+0,1	0,95	44,74	26,66	6,58	3,34	20,63	20,73	17,36	13,79
Класс -0,1+0,074	0,91	69,21	41,25	10,73	7,16	30,57	30,73	27,12	28,33
Класс -0,074+0,044	0,63	68,22	40,66	16,21	10,81	20,86	20,97	28,37	29,61
Класс -0,044+0,02	0,44	83,55	49,80	14,90	9,94	17,86	17,94	18,21	19,02
Хвосты гравитации	96,84	0,18	0,11	0,033	0,022	8,46	8,0	8,91	9,22
Исходные пески	100,00	2,06	1,20	0,36	0,23	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 3

Оперативная оценка технологических свойств исследуемых титано-циркониевых россыпей

Фактор вещественного состава	Пределы значений	Значимость критерия	Эталонный объект	Оцениваемый объект (стадия ПОР)	
				Ордынское м-ние	Семеновский уч-к
Химический состав рудных песков				Проба Т-1	Проба Т-2
Содержание TiO ₂ / ZrO ₂	Σ н/м 1,5	+++	1,22 / 0,26	0,73 / 0,053	1,28 / 0,074
Содержание Cr ₂ O ₃ / P ₂ O ₅	н/б 0,1/0,8	++	0,031 / 0,05	0,041 / 0,043	0,026 / 0,045
Гранулярный состав рудных песков и РМ*					
Продуктивный класс песков (более 80% РМ)	> 0,044мм	++	0,1-0,044	нет	0,063–0,01
глинистость, %	3–5	+++	17,48	30,42	67,92
Степень сортированности (количество классов крупности, концентрирующих более 80% ПК**)	3	+	3	3	3
Доля ПК в крупных непродуктивных классах, % TiO ₂ / ZrO ₂	1,5 / 0,5	+	1,27 / 0,3	2,57	6,76
Доля ПК в классе -0,044 мм, % TiO ₂ / ZrO ₂	5,0/5,0	+++	9,81 / 48,56	43,11 / 58,92	76,67 / 98,9
Доля зерен с удлинением более 2	н/б 30	+	10	20	20
Минеральный состав рудных песков					
Содержание «условного ильменита», кг/м ³	80	+++	79,6	43,8	67,02
Доля ПК, распределенных в рудные минералы, % TiO ₂ /ZrO ₂	н/м 80/90	++	83,98/ 91,6	79 / 88	79 / 88
Доля хромшпинелидов, %	н/б 0,1	++	0,004	0,009	–
Доля фосфатов, %	н/б 0,1	++	0,18	0,441	0,152
Доля радиоактивных минералов, %: монацита // метамиктного циркона	н/б 0,1// н/б 0,1	++ ++	- 0,01	0,001 зн	- зн
Особенности свойств минералов					
Содержание TiO ₂ в ильмените / рутиле, %	52/94	+++	50,14 / 97,64	60,77 / 98,95	60,77 / 98,95
Содержание ZrO ₂ в цирконе, %	60	+++	65,78	65,78	65,78
Степень измененности ильменита		+++	0	59,46	59,46
Доля зерен РМ с микровключениями	н/б 20	++	–	–	–
Содержание лимитируемых примесей в концентратах	Регламентируется стандартами	++			
Извлечение в концентраты, % TiO₂ / ZrO₂	н/м 86	+++	86,0 / 88,13	30,62 / –	- / -

Заключение

Выполненный сравнительный анализ исследованных титан-циркониевых россыпей позволяет с большей полнотой обосновать общие закономерности взаимосвязи особенностей минерального состава руд с их технологическими параметрами. Установление этих закономерностей позволяет, в свою очередь, прогнозировать технологические показатели обогащения рудных песков и сделать вывод уже на ранних стадиях изучения об их промышленной значимости и принятия решения о целесообразности продолжения геологоразведочных работ.

Проведенные минералого-технологические исследования на Семеновской поисково-разведочной площади Заводоуковского района Тюменской области на материале двух малообъемных проб с применением комплекса минералого-аналитических методов и методик и прогноз технологических свойств с использованием разработанных критериев показали, что в изучаемых песках основная масса рудных минералов имеет крупность менее 0,044 мм (с преобладанием крупности 0,02 мм). Материал проб трудно обогатим (проба Т-1) либо не обогатим (проба Т-2). Дальнейшее продолжение геологоразведочных работ с целью промышленного освоения представленной площади экономически нецелесообразно.

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ В ИНТРУЗИВАХ КАРИКЪЯВРСКОЙ ГРУППЫ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

Войтеховский Ю.Л.

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Среди геологических объектов, предлагаемых к лицензированию Территориальным агентством по недропользованию по Мурманской области, числится и месторождение Карикъявр. Вместе с рядом других близко расположенных и формационно родственных объектов оно содержит резерв медно-никелевых руд для комбината “Печенганикель”. Но в связи со смещением акцентов на рынке цветных и благородных металлов Карикъявр все более обращает на себя внимание как носитель специфической минерализации ЭПГ. Ее краткой характеристике и посвящена эта статья.

Месторождение Карикъявр расположено в северо-западной части Кольского п-ова в северо-восточном гнейсовом обрамлении Печенгской структуры. Оно приурочено к массиву линзовидной (2 × 0.6 км) в плане и клиновидной в разрезе формы, разбитому на несколько блоков крутопадающими разломами. Главная черта внутреннего строения – хорошо проявленная дифференциация на (снизу вверх) перидотитовую (гарцбургиты, плагиолерцолиты, плагиооливиниты, нормальная мощность ~ 25 м), пироксенитовую (плагиопироксениты, ~ 5 м) и габброидную (внизу – габбронориты, выше – габбро, полная мощность неизвестна, 90% объема массива) зоны. Все породы претерпели региональный метаморфизм амфиболитовой фации и наложенные гидротермальные преобразования в зонах тектонических нарушений.

Руды вкрапленного и прожилково-вкрапленного типов приурочены в основном к низам перидотитовой части разреза и сосредоточены в двух рудных телах и нескольких линзах. Лишь одна линза прожилковых руд находится в подстилающих гнейсах. Син- и эпигенетические (метаморфически переотложенные) руды пространственно совмещены, но первичный облик руд в некоторых блоках фиксируется отчетливо (рис. 1). Сложен этот тип руд первой генерацией пирротина, пентландита и халькопирита, троилитом и кубанитом (рис. 2), а также аксессуарными хромшпинелидом, ильменитом и первой генерацией (титансодержащего) магнетита (рис. 3). Характерны структуры распада кубанита в халькопирите, ильменита в магнетите и хромшпинелиде, пламенеvidные вросстки пентландита в пирротине.

Эпигенетическое оруденение более всего проявлено в зонах дробления, где ассоциирует с метаморфическими силикатами: актинолитом, куммингтонитом, антофиллитом, слюдами, хлоритами и карбонатами. В чистом виде оно представлено в единственной рудной линзе в подстилающих гнейсах. Рудные минералы представлены вторыми генерациями пирротина, пентландита, халькопирита и магнетита (рис. 4), а также второстепенными (по объему) пиритом, никелистым кобальтином (рис. 5), маккинавитом, сфалеритом, аргентопентландитом, молибденитом, маухеритом, маккинавитом, титанитом и весьма редкими минералами благородных металлов (см. далее). Наиболее яркими отличительными чертами являются повышенная медистость эпигенетических руд по сравнению с сингенетическими, отсутствие кубанита и меньшее содержание оксидов в них. Объемное соотношение главных рудных минералов в них следующее (пирротин : пентландит : халькопирит : кубанит : оксиды): в сингенетических рудах 34:25:13:10:15, в эпигенетических рудах 44:12:40:0:2. При том, что пирротин везде является главным рудным минералом, сингенетические руды содержат (в рудной массе) в два раза больше пентландита и в три раза меньше халькопирита.