

о морфологии выделений золота, гранулярном размере, характере локализации в породе (руде), взаимоотношении с минералами, его содержащими, а также прицельно выполнять последующие прецизионные анализы, сокращая время проведения исследований при изучении минерального вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнберг Э.И., Хозяинов М.С. Вычислительная микротомография — новая информационная технология неразрушающего исследования внутренней микроструктуры образцов геологических пород // Геоинформатика. — 1992. — № 1. — С. 42–50.
2. Майорова Т.П., Стаценко Е.О., Трифонов А.А., Нестеренко Г.В. Рентгеновская микротомография и автоэмиссионная электронная микроскопия — новые возможности изучения высокодисперсных золотых руд // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. — 2013. — № 11. — С. 34–38.
3. Хозяинов М.С., Руб А.К., Козорезов Е.В. Использование рентгеновской вычислительной микротомографии в прикладной минералогии // ДАН. — 1995. — Т. 344. — № 4. — С. 516–519.
4. Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Хозяинов М.С. Рентгеновская вычислительная микротомография — неразрушающий метод структурного и фазового анализа // Мир измерений. — 2003. — № 10(32). — С. 12–17.
5. Ketcham R.A., Carlson W.D. Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: Applications to the geosciences // Computers and Geosciences, — 2001. — V. 27. — P. 381–400. — URL: <http://www.ctlab.geo.utexas.edu/>
6. Carlson W.D. Three-dimensional imaging of earth and planetary materials // Earth and Planetary Science Letters. — 2006. — V. 249. — P. 133–147.
7. Nudde V., Boone M.N. High-resolution X-ray computed tomography in geosciences: a review of the current technology and applications // Earth-Science Reviews / Elsevier. — 2013. — V. 123. — N 8. — P. 1–17.

© Якушина О.А., Ожогин Д.О., Ожогина Е.Г., 2015

Якушина Ольга Александровна // yak_oa@mail.ru
Ожогин Денис Олегович // ozhogindenis@yandex.ru
Ожогина Елена Германовна // vims_ozhogina@mail.ru

УДК 553.493.53, 622.772.

Петкевич-Сочнов Д.Г. (ФГУП «ВИМС»)

МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ РУДНЫХ ПЕСКОВ КАМБУЛАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Рассматривается впервые проведенное изучение технологических свойств титано-циркониевых россыпей Камбулатского месторождения. В ходе геолого-технологического картирования и составления технологического регламента изучен вещественный состав, определены продуктивный класс и технологический тип руды, разработана технология обогащения, позволяющая получать 4 товарных концентрата. Составлена технологическая часть в технико-экономическое обоснование временных разведочных кондиций. **Ключевые слова:** титаноциркониевая россыпь, технология обогащения, гравитационное обогащение, магнитная сепарация, электростатическая сепарация, малоотходная технология.*

Petkevich-Sochnov D.G. (VIMS)

LOW-WASTE TECHNOLOGY OF ENRICHMENT OF ORE SAND OF THE KAMBULATSKY FIELD

Is considered the first study conducted technological properties Kambulatsky titanium-placer deposits. In the course of geological and technological mapping and compilation of production schedules studied material composition, defined class pro-

*ductive and technological type of ore, developed enrichment technology, allows you to receive 4 commercial concentrate. Compiled technological part in a feasibility study of temporary exploration conditions. **Key words:** titanium placer, concentration technology, gravity separation, magnetic separation, electrostatic separation, low-waste technology.*

Объектом исследований явилось Камбулатское россыпное месторождение титано-циркониевых песков, расположенное в пределах Правобережного россыпного поля Ставропольского россыпного района.

Известно, что извлечение полезных компонентов из россыпей, в том числе титано-циркониевых, зависит от обогатимости руд и применяемой технологической схемы. Для того, чтобы месторождение смогло заинтересовать горнодобывающую промышленность необходимо разработать такую технологию обогащения, которая при минимальных затратах обеспечивала бы наиболее полное извлечение полезных компонентов, оказывая к тому же минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду.

Оценка технологических свойств рудных песков Камбулатского участка ранее не проводилась, хотя в рамках разработки технико-экономического обоснования (ТЭО) разведочных кондиций технологичность сырья является одним из важнейших показателей.

Разработка оптимальной технологической схемы обогащения рудных песков Камбулатской россыпи проводилась в два этапа. Первоначально было выполнено геолого-технологическое картирование (ГТК), на основании которого определены технологические сорта и типы руд месторождения и разработана принципиальная технологическая схема переработки, обеспечивающая рациональное и комплексное использование полезного ископаемого. Затем, с учетом результатов ГТК на укрупненной пробе разработан технологический регламент обогащения рудоносных песков.

Работы по ГТК на Камбулатском месторождении ранее не проводились, нами оно проведено по результатам технологических экспериментов с обогащением двадцати лабораторных малых технологических проб (ЛМТП). Аналогичные работы ранее были выполнены на Бешпагирском эталонном объекте Е.Н. Левченко (ФГУП «ИМГРЭ»).

Исходные пески ЛМТП Камбулатского месторождения в целом характеризуются низкими содержаниями полезных компонентов, в %: TiO_2 варьирует в пределах от 0.55 до 2.31 при среднем значении 1.15; ZrO_2 — от 0.09 до 0.44 при среднем значении 0.19, поэтому эти рудные пески можно отнести к бедным.

Изучение минерального состава черных шлихов (минералогические исследования выполнены Кривоконевой Г.К., ФГУП «ВИМС»), выделенных из исходных песков ЛМТП, показало, что в тяжелой фракции наблюдается следующее распределение основных минералов, в %: циркон — от 9.0 до 22.0; рутил + анатаз — от 9.5 до 15.5; ильменит + псевдорутит + вторичные оксиды титана — от 32.5 до 52.0; кианит + силлиманит — от 8.0 до 18.0.

Гранулометрический состав титано-циркониевых песков, а также особенности распределения полезных

компонентов по классам крупности являются одним из определяющих факторов при разработке технологических схем их обогащения. Усредненные результаты ситового анализа исходных ЛМТП Камбулатского месторождения показывают, что продуктивным является класс крупности $-0.125+0.045$ мм, характеризующийся выходом 72.3 %, при распределении в нем TiO_2 — 88.2 %, ZrO_2 — 83.9 %. При этом обращает на себя внимание распределение ценных компонентов в классе крупности $-0.045+0$ мм, которое в среднем составляет, в %: TiO_2 — 8.5; ZrO_2 — 12.4, что говорит о возможных потерях в первую очередь именно с этим классом крупности. Гравитационное обогащение исходных песков с целью выделения коллективного титаноциркониевого концентрата проведено по единой технологической схеме, состоящей из основной, контрольной и пересчетной операций, а в качестве основного аппарата моделирующей схемы принят концентраторный стол.

Результаты первичного обогащения продуктивного класса каждой ЛМТП показали, что среднее извлечение TiO_2 и ZrO_2 в концентрат + промпродукт составило соответственно 84.9 и 94.6 % при коэффициенте вариации 0.77, т.е. извлечение является достаточно стабильным даже при существенном различии содержания полезных компонентов в исходных рудных песках ЛМТП. По данному критерию пески можно отнести к одному технологическому типу. Эффективность обогащения, в данном случае сильно зависящая от количества шламов, варьирует от 69.3 до 80.1 %.

Статистическим анализом установлена линейная корреляционная связь между содержанием суммы тяжелых минералов и суммы TiO_2 и ZrO_2 с коэффициентом корреляции 0.98, между содержаниями черного шлиха и TiO_2 — 0.97 и между содержаниями черного шлиха и ZrO_2 — 0.92, что также позволяет отнести рассматриваемые пески к одному технологическому типу.

Кривые обогатимости ЛМТП на концентрационном столе, приведенные на рис. 1, также подтверждают общий характер зависимости величины извлечения от содержания полезного компонента в исходном материале при обогащении продуктов близкого вещественного состава.

Традиционно на стадии доводки черновых гравитационных титано-циркониевых концентратов используются процессы магнитной и электростатической сепарации; при этом ставится цель — получение кондиционных титаносодержащих и цирконовых продуктов. Сложность решаемой задачи на Камбулатском месторождении заключается в том, что минералы, несущие титан, имеют различную магнитную восприимчивость, следовательно, в процессе магнитной сепарации сложно достичь эффективного разделения. Отрицательным

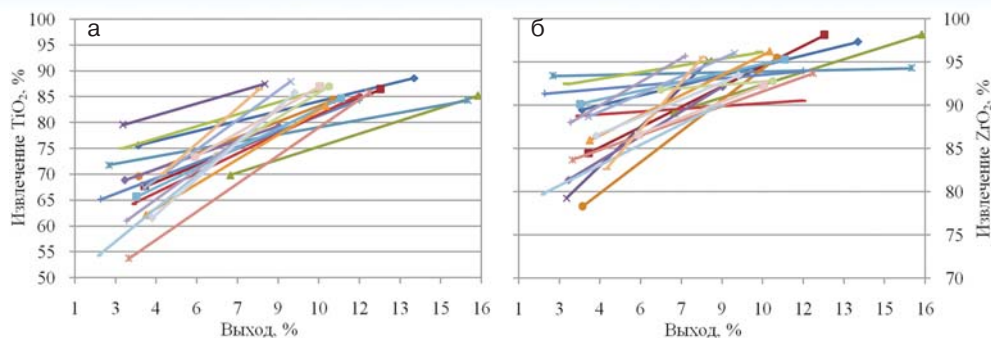


Рис. 1. Зависимость извлечения TiO_2 (а) и ZrO_2 (б) от выхода тяжелой фракции

фактором является также концентрация в магнитном продукте других магнитных компонентов, особенно, хромшпинелидов. Содержание хрома даже в небольших количествах в титановом концентрате делает его некондиционным для получения пигментного диоксида титана.

При лабораторных исследованиях на стадии ГТК получение необходимых объемов чернового концентрата для доводки невозможно из-за небольшой массы пробы исходных песков, поэтому главными целями в этих условиях на Камбулатском месторождении являлись установление эффективности применяемых процессов и выявление оптимальных режимов разделения, что было сделано на двух наиболее объемных пробах по схеме с магнитной и электростатической сепарацией.

Проведенными работами по ГТК установлена принципиальная возможность выделения селективных ильменитового, рутилового и цирконового концентратов. Также установлено, что продуктивные *пески Камбулатского месторождения относятся к одному технологическому типу и являются среднеобогатимыми*.

На основании полученных результатов по обогащению малых технологических проб была рекомендована технологическая схема обогащения укрупненной представительной пробы, приведенная на рис. 2, включающая в себя гравитационное обогащение на винтовых шлюзах и концентрационных столах с выделением чернового гравитационного концентрата и дальнейшей его доводкой в процессе магнитной и электростатической сепарации.

С целью разработки технологического регламента были проведены технологические исследования на материале представительной пробы рудных песков Камбулатского месторождения массой 564 кг. Проба была составлена из kernового материала 21 скважин, вещественный состав которых отвечал технологическому типу руд, выделенному на месторождении по результатам ГТК.

Главный химический компонент пробы — кремнезем (94.1 % SiO_2), а главным порообразующим минералом является *кварц* (89.5 %) с небольшой примесью полевых шпатов, глинистых минералов, кальцита и гетита. Основными ценными компонентами являются TiO_2 и ZrO_2 с содержанием 1.35 и 0.23 % соответственно. Главными носителями титана являются ильменит и продукты его гипергенного изменения (псевдорутил, гидратированный псевдорутил, лейкоксен), рутил и

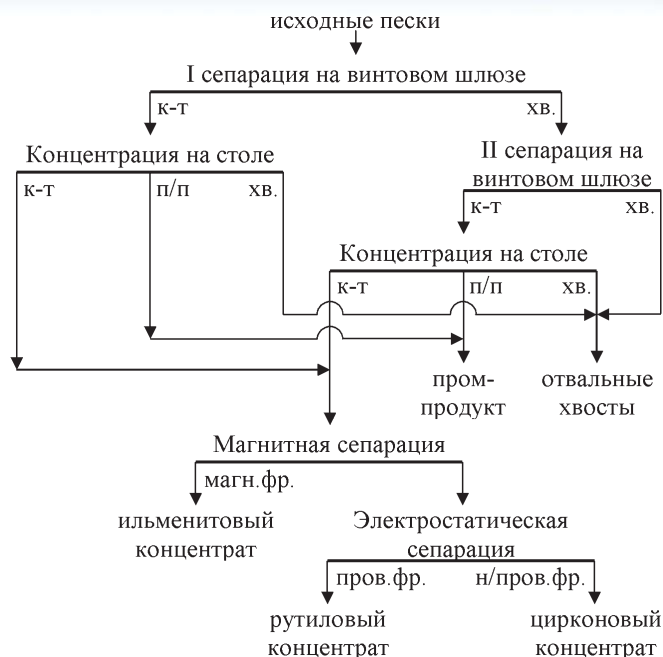


Рис. 2. Рекомендуемая схема обогащения песков Камбулатской россыпи

анатаз (0.06 %). Единственный носитель циркония — циркон.

Ильменит отличается высокой степенью гипергенного изменения. Количество неизмененных зерен ильменита невелико (0.25 %). По данным локального рентгеноспектрального анализа содержание TiO_2 в неизменном ильмените составляет 52.2 ± 1.3 %. Псевдорутил (1 %) является высокодисперсным продуктом гипергенного преобразования ильменита. Среднее содержание TiO_2 — 61 ± 2 %. Минерал слабо электромагнитен.

Кроме того, в пробе содержатся **рентгеноаморфные продукты лейкоксенизации ильменита** (0.30 %), которые представляют собой смесь измененного гидратированного псевдорутила с вторичными оксидами титана. В измененном псевдорутиле количество TiO_2 возрастает до 70–80 %. **Лейкоксен** представляет собой тонко- и высокодисперсные агрегаты вторичных оксидов титана с силикатными минералами и/или кварцем.

По-видимому, основные потери TiO_2 при гравитационном обогащении связаны с измененным псевдорутилом, образующим агрегаты с кварцем и лейкоксом.

Рутил содержится в пробе в количестве 0.28 %. По химическому составу различаются зерна рутила с содержанием TiO_2 — 98.5 ± 0.7 % и TiO_2 — 96.6 ± 0.6 %.

Содержание **циркона** составляет 0.40 %. Основная масса циркона отличается стабильным химическим составом и содержит 65.3 % ZrO_2 и 1.8 % HfO_2 . **Кианит** и **силлиманит** представляют интерес как высокоглиноземистое сырье. Суммарное содержание этих минералов в пробе 0.26 %. В небольшом количестве в рудах содержится **монацит** (0.03 %), который является носителем вредной примеси — фосфора (содержание P_2O_5 — 0.04 %).

Отличительной особенностью Камбулатских титано-циркониевых песков является довольно высокое содержание в них хромшпинелидов (0.11 %) с широки-

ми вариациями химического состава (среднее содержание Cr_2O_3 в исходных песках — 0.052 %).

Проведенный магнитный анализ при напряженностях магнитного поля от 200 до 900 мТл показывает, что ильменит, псевдорутил и рентгеноаморфные продукты лейкоксенизации ильменита приблизительно равномерно «размазываются» по всем магнитным фракциям соответственно уменьшению магнитной восприимчивости, при этом во всех фракциях им сопутствуют хромшпинелиды.

Циркон, кианит, силлиманит и кварц практически полностью концентрируются в немагнитной фракции. Монацит является слабомагнитным минералом, вследствие чего распределяется между немагнитной и слабомагнитной фракциями. Рутил и анатаз, также за счет включений, незначительно распределяются по магнитным фракциям, а преимущественно чистые минералы концентрируются в немагнитной фракции.

При полном извлечении ильменита и продуктов его изменения теоретически можно получить «ильменитовый» концентрат с содержанием TiO_2 около 62 %. Однако присутствующие в руде хромшпинелиды выделяются совместно с ильменитом, псевдорутилом и гидратированным псевдорутилом во всех магнитных фракциях, что приводит к понижению относительного содержания полезных минералов в получаемых концентратах.

Анализ данных гранулометрической характеристики представительной технологической пробы песков, приведенной в табл. 1, показывает, что основная масса ценных компонентов сосредоточена в продуктивном классе крупности $-0.2+0.045$ мм, выход которого 73.85 % от руды, при этом содержание TiO_2 в нем составляет 1.67 %, ZrO_2 — 0.34 % и Cr_2O_3 — 0.063 %, и распределение их, соответственно, %: 94.93; 95.82; 89.23.

«Нижний» труднообогатимый гравитационными методами класс крупности $(-0.045+0)$ мм, выход которого — 5.0 %, несколько обогащен титаном и цирконием, причем в основном это касается класса крупности $-0.045+0.020$ мм, в котором распределение TiO_2 и ZrO_2 находится на уровне 3.15 и 2.62 %, что будет составлять 82–90 % общих потерь с тонкими классами.

При разработке схемы обогащения рудных песков Камбулатского месторождения учитывались следующие критерии:

минимизация капитальных затрат и эксплуатационных издержек;

простота эксплуатации и технического обслуживания предлагаемого оборудования.

Таблица 1
Гранулометрическая характеристика представительной пробы, %

Класс крупности, мм	Выход	Содержание		Распределение	
		TiO_2	ZrO_2	TiO_2	ZrO_2
+0.5	0.90	0.63	0.13	0.43	0.43
–0.5+0.2	20.25	0.05	0.01	0.76	0.84
–0.2+0.045	73.85	1.67	0.34	94.93	95.82
–0.045+0	5.00	1.01	0.15	3.87	2.91
Исходная руда	100.0	1.30	0.26	100.0	100.0

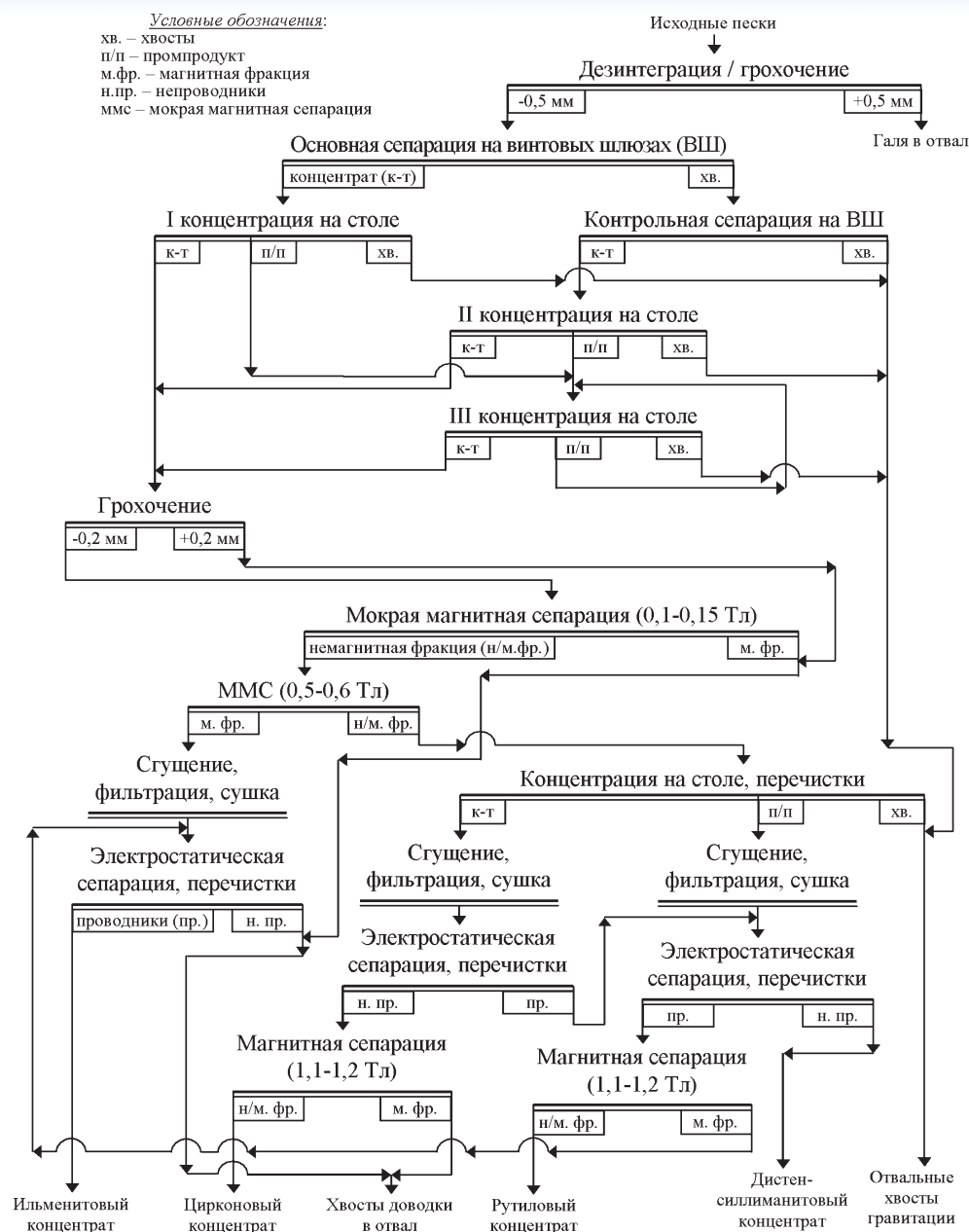


Рис. 3. Принципиальная схема обогащения исходных песков Камбулатского месторождения

Как было установлено, по качеству, физическому состоянию и технологическим свойствам пески относятся к среднеобогатимому сырью. Правильный выбор обогатительного оборудования для выделения рудных минералов позволяет получить технологические показатели, близкие к предельно возможным для данного типа песков.

В качестве основы для разработки технологической схемы обогащения использовались данные, полученные при проведении ГТК: для выделения черного коллективного концентрата используется традиционный метод гравитационного обогащения; при доводке черного концентрата для выделения товарных рутилового, цирконового и ильменитового концентратов используется комплекс обогатительных операций, основанных на физических свойствах минералов (плотность, магнитная восприимчивость, электропровод-

ность). Цикл гравитационного обогащения включает в себя промывку и грохочение исходных песков по классу крупности 0,5 мм, основную и контрольную сепарацию класса крупности $-0,5+0$ мм на винтовых шлюзах и пересортировку продуктов винтовых шлюзов на концентрационных столах с выделением черного гравитационного концентрата (рис. 3). Технологические показатели и распределение TiO_2 , ZrO_2 , Cr_2O_3 в продуктах обогащения на стадии получения черного коллективного титано-циркониевого концентрата приведены в табл. 2.

На стадии первичного обогащения получен черновой коллективный концентрат с выходом 3,15 %, отвальные хвосты с выходом 95,95 % и класс $+0,5$ мм («галя») с выходом 0,9 % от исходных песков. Содержание основных компонентов в черновом коллективном гравитационном концентрате составило, в %: TiO_2 при извлечении 91,45; 7,97 — ZrO_2 при извлечении 96,62. Анализ гранулометрической характеристики отвальных хвостов показывает, что потери TiO_2 (до 73 %) и ZrO_2 (до 77 %) в основном связаны с классами крупности $-0,2+0,1$ мм и $-0,045+0$ мм.

В результате исследований на первом этапе получены удовлетворительные тех-

нологические показатели для последующей селекции коллективного черного титано-циркониевого концентрата с целью выделения ильменитового, рутилового и цирконового товарных продуктов. Также следует

Таблица 2
Технологические показатели цикла гравитационного обогащения, %

Продукт	Выход	Содержание		Извлечение	
		TiO_2	ZrO_2	TiO_2	ZrO_2
Черновой гравитационный концентрат	3.15	37.74	7.97	91.45	96.62
Класс $+0,5$ мм («галя»)	0.90	0.63	0.13	0.43	0.43
Отвальные хвосты гравитации	95.95	0.11	0.008	8.12	2.95
Исходные пески	100.0	1.30	0.26	100.0	100.0

Таблица 3
Сводные показатели обогащения представительной пробы Камбулатского месторождения, %

Продукт	Выход	Содержание		Извлечение	
		TiO ₂	ZrO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
Цирконовый концентрат	0.37	0.37	65.00	0.11	92.50
Рутиловый концентрат	0.31	98.00	0.15	23.37	0.18
Дистен-силлиманитовый концентрат	0.20	0.10	3.15	0.02	2.42
Ильменитовый концентрат	0.49	54.00	0.41	20.35	0.77
Высокотитанистый продукт	1.00	58.56	0.04	45.00	0.14
Σ Ильменитовый концентрат + высокотитанистый продукт	1.49	57.06	0.16	65.35	0.91
Строительные пески	96.25	0.11	0.009	8.21	3.17
Хвосты доводки	0.48	6.80	0.21	2.51	0.38
Класс +0.5 мм («галя»)	0.90	0.63	0.13	0.43	0.43
Исходные пески	100.0	1.30	0.26	100.0	100.0

отметить повышенное содержание Cr₂O₃ (1.46 %) в черновом гравитационном концентрате, что будет ухудшать качество товарного ильменитового концентрата.

Цикл доводки черногового коллективного гравитационного концентрата включает в себя (рис. 3): контрольное мокрое грохочение по классу крупности 0.2 мм для вывода из процесса крупных зерен кварца, которые будут ухудшать качество получаемого цирконового концентрата; мокрую магнитную сепарацию для выделения черногового ильменитового концентрата и рутил-цирконового продукта; концентрацию на столах немагнитной фракции с получением черновых цирконового и рутилового концентратов; электростатическую сепарацию с выделением черновых цирконового и рутилового концентратов и дистен-силлиманитового концентрата; сухую высокоградиентную сепарацию черновых концентратов с получением кондиционных цирконового и рутилового концентратов.

Сводные показатели обогащения песков укрупненной технологической пробы и распределение TiO₂ и ZrO₂ по продуктам обогащения приведены в табл. 3.

Таким образом, по разработанной технологической схеме получены:

1. Ильменитовый концентрат с выходом 0.49 %, характеризующийся следующим химическим составом, в %: TiO₂ — 54.0 (с извлечением 20.35); Al₂O₃ — 1.46; SiO₂ — 1.51; Cr₂O₃ — 2.31. Основными ценными минералами в концентрате являются — ильменит (~47 %), псевдорутит (~27 %), рентгеноаморфные продукты лейкоксенизации ильменита (~15 %), рутил (~2 %), в виде вредных примесей присутствуют циркон (~1 %), кварц (~1 %) и хромшпинелиды (~7 %).

2. Цирконовый концентрат с выходом 0.37 % и содержанием 65.0 % ZrO₂+HfO₂ (с извлечением 92.50 %)

по химическому и минеральному составам отвечает требованиям ТУ У 14-10-015-98 и соответствует марке КЦЗ. Основным минералом в концентрате является циркон (97 %). В качестве вредных примесей в незначительных количествах присутствуют, в %: рутил ~0.5; кианит — 1.5; гранат — 0.5; кварц — ~0.5. По данным изучения химического состава содержание основных лимитированных примесей не превышает требуемые значения (Fe₂O₃ — 0.085 %, TiO₂ — 0.34 %, CaO и MgO<0.1 %).

3. Рутиловый концентрат с выходом 0.31 % по химическому и минеральному составам отвечает требованиям ГОСТ 22938-78 для производства сварочных материалов. Основными ценными минералами в концентрате являются рутил (~93 %) и анатаз (~4.5 %), также в виде вредных примесей присутствуют циркон (~1 %) и кварц (~1 %). Содержание TiO₂ (при извлечении 23.37 %) составляет 98.0 %, а содержание основных лимитированных примесей не превышает требуемые значения (ZrO₂ — 0.15 %, Al₂O₃ — 0.27 %, SiO₂ — 0.73 %).

4. Дистен-силлиманитовый концентрат с выходом 0.20 % по химическому и минеральному составам отвечает требованиям ТУ 48-4-307-74 и соответствует марке КДСЗ, при этом основными ценными минералами в концентрате являются силлиманит (~75 %), кианит (~16 %), присутствует андалузит (~1 %), в виде примесей присутствуют кварц (~2 %) и циркон (~6 %). Содержание Al₂O₃ составляет 57.0 %, а содержание основных лимитированных примесей не превышает требуемые значения (Fe₂O₃ — 0.43 %, содержание ZrO₂ не нормируется).

5. Высокотитанистый продукт (преимущественный состав — псевдорутит и рентгеноаморфные продукты лейкоксенизации ильменита) с выходом 1.00 % и содержанием в нем 58.56 % TiO₂ и 0.04 % ZrO₂, при извлечении 45.0 % TiO₂ и 0.14 % ZrO₂.

Вследствие повышенного содержания Cr₂O₃ ильменитовый концентрат не может быть использован для получения пигментного диоксида титана. Однако содержание TiO₂ в ильменитовом концентрате повышается до 57 % при подшихтовке высокотитанистого продукта, и до 61 % за счет добавления высокотитанистого продукта в операцию электростатической сепарации черногового ильменитового концентрата. После этого ильменитовый концентрат может быть использован для металлургического производства титановых шлаков, где содержание Cr₂O₃ не нормируется.

6. Хвосты доводки с выходом 0.48 % и потерями в них 2.51 % TiO₂, 0.38 % ZrO₂;

7. Суммарные хвосты гравитации с выходом 96.25 % и потерями в них 8.21 % TiO₂, 3.17 % ZrO₂. Кварцевые пески, согласно проведенным исследованиям ФГУП «ЦНИИГеолнеруд», могут использоваться в качестве: песка для строительных работ, заполнителя для изготовления керамических кирпичей, заполнителя для приготовления тяжелых строительных растворов, добавки для понижения модуля крупности песков, применяемых в производстве бетонов и др.

Суммарное извлечение основных ценных компонентов в товарные концентраты составляет 88.85 % TiO₂ и 96.78 % ZrO₂, а суммарные потери ценных компонентов

с отвальными продуктами (хвосты гравитации, кварцевый продукт доводки, хвосты доводки, класс +0.5 мм) — 10.72 % TiO_2 и 3.55 % ZrO_2 .

По результатам технологических исследований на представительной пробе титано-циркониевых песков Камбулатского месторождения составлен технологический регламент, который включает:

качественно-количественную схему обогащения песков;

характеристику получаемой товарной продукции;

технические характеристики и стоимость рекомендуемого основного технологического оборудования;

схему цепи аппаратов;

водно-шламовые схемы цикла гравитации и доводки, суммарный баланс водопотребления и потребление электроэнергии.

Технологический регламент послужил основой для составления технологической части в «*Технико-экономическое обоснование временных кондиций для подсчета запасов Камбулатского месторождения титано-циркониевых песков*», утвержденных в ГКЗ (протокол № 343-к от 27 февраля 2013 г.), а также для составления технологической части в «*Отчет с подсчетом запасов*», утвержденным в ГКЗ (протокол № 3768 от 25 июля 2014 г.).

© Петкевич-Сочнов Д.Г., 2015

Петкевич-Сочнов Дмитрий Геннадьевич // Petkevich.d.g@gmail.com

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.35

Овсянникова Т.М. (ФГУП «ВИМС»)

РАДИОАКТИВНОСТЬ РУД РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ: НОРМИРОВАНИЕ, УРОВНИ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ЧАСТЬ 2)

*Приведены уровни удельных активностей и содержаний радиоактивных изотопов в минералах, рудах редких металлов, а также продуктах их переработки, включая производственные отходы на месторождениях в России и за рубежом. Рассмотрены проблемы нормирования радиоактивности этих объектов и основные методы ее определения. **Ключевые слова:** радиоактивность, редкометалльные руды, природные радиоизотопы, гамма- и альфа-спектрометрия, радиохимический анализ.*

Ovsyannikova T.M. (VIMS)

RADIOACTIVITY OF RARE METAL ORES AND CONVERSION PRODUCTS: REGULATION, ACTIVITY LEVELS AND MEASUREMENT (PART 2)

*The article provides a description of radioisotopes activity concentrations in rare metal minerals and ores, conversion products and wastes on the base of deposits in Russia and abroad as well as examines the problem of the regulation of activity levels and the main methods of their determination. **Key words:** radioactivity, rare metal ores, natural radioisotopes, gamma- and alpha-spectrometry, radiochemistry.*

В первой части статьи (см. № 3 журнала за 2015 г.) были рассмотрены принципы нормирования уровней радиоактивности минерального сырья и производственных отходов, основные методы их определения. Здесь же на основе доступных источников приведена подборка сведений по радиоактивности и изотопному составу руд РМ и продуктов их переработки в России и за рубежом.

В кианитовых рудах, распространенных на Урале, в Карелии и на Кольском полуострове, наряду с други-

ми редкими элементами, присутствуют уран и торий, их содержания составляют соответственно $2,71 \pm 2,53$ и $11,94 \pm 10,6$ г/т (кейвская свита) и $2,92 \pm 1,41$ и $2,71 \pm 1,45$ г/т (Урал) [7].

В рудах редкоземельно-апатитового Селигдарского месторождения содержания ThO_2 (в апатите) составляют 0,02–0,07 % [14].

Содержание урана в рудах Томторского месторождения варьирует в диапазоне 0,0018–0,0892 % (в среднем — 0,0092 %), Th — 0,0191–0,3044 % (в среднем 0,11 %), Ra (экв.) — 0,0302–0,4656 % [16]. В богатых рудах средние концентрации урана и тория оцениваются соответственно в 0,12 и 0,61 % [2]. По данным гамма-спектрометрии (с коррекцией на самопоглощение) основная доля суммарной активности руд этого месторождения обусловлена присутствием тория и его дочерних продуктов распада ($^{228}\text{Ac} \approx 7,0 \cdot 10^3$ Бк/кг), активность радиоизотопов уранового ряда — примерно на порядок ниже; эффективные удельные активности в пробах составляют $9,16 \cdot 10^3$ – $1,01 \cdot 10^4$ Бк/кг [6]. Определение активностей радиоизотопов в модельных пробах томторских руд с высокими содержаниями Се, Y, Zr и Nb альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой показало сопоставимые с предыдущими результатами содержания урана и меньшие содержания тория (табл. 1).

Другими примерами высокой радиоактивности руд являются редкометалльные месторождения Среднезиминское (Ta, попутные Nb, U) и Алгаминское (Zr-редкоземельно-урановое; бадделит в корях выветривания доломитов). Для руд и концентратов последнего характерны высокие содержания урана и радия при фоновом содержании тория (табл. 2).

Еще один проблемный с точки зрения радиоактивности руд объект — месторождение Арбарастах (уран-тантал-ниобиевое с редкими землями) [1]. Содержания основных компонентов в его рудах достаточно высокие: Nb — до 4,39 %, Ta — до 0,26 %, U — от 0,003 до 0,3 % (иногда до 0,6 %), Th — от 0,005 до 0,03 %.