

Институт геологии и минералогии, Сибирское Отделение Российской Академии Наук,
630090, г.Новосибирск, проспект Коптюга 3

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ильменит-цирконовые россыпи Западной Сибири обладают уникальными запасами минерального сырья. В продуктивных песках наряду с главными рудными компонентами титаном и цирконием в повышенных концентрациях обнаружены золото, редкие и редкоземельные элементы. Первоочередной технологической проблемой является комплексное их извлечение из ильменит-цирконовых россыпей. Необходимо своевременное создание новых способов оценки и комплексной переработки этого типа минерального сырья.

Проблема глубокой переработки автохтонных титано-цирконовых россыпей - одна из актуальнейших минерально-сырьевых проблем России. В настоящее время за счет собственного производства потребности в титановом и циркониевом сырье удовлетворяются не более, чем на 2-3%. К 2010-2020 гг. России ежегодно потребуется 600-800 тыс. т ильменитового концентрата и 40-100 тыс. т – цирконового [1]. Неотложной задачей, направленной на обеспечение собственным цирконий-титановым сырьем, является создание в ближайшее время отечественной горнодобывающей промышленности за счет скорейшего ввода в эксплуатацию огромных по запасам титано-цирконовых россыпей. На 1.01.2005 г. Государственным балансом запасов учтено 7 таких россыпей, из них 5 - в Западной Сибири (табл. 1), что выдвигает ее в крупную титан-цирконовую мегапровинцию [11].

Таблица 1. Разведанные запасы титано-цирконовых россыпных месторождений Западной Сибири

Месторождение	Область	Запасы		
		Песков, тыс.м ³	Диоксида титана, тыс. т	Диоксида циркона, тыс. т
Тарское	Омская	13572	248	4,07
Туганское	Томская	127366	2510	987
Георгиевское	- « -	39027	686	183,4
Ордынское	Новосибирская	15883	241	66,4
Николаевское	Кемеровская	3810	730	нет

Для Тарского месторождения разработана скважинная технология гидродобычи (СГД) и обогащения рудных песков с выходом на проектную производительность до 1 млн. м³ в год. Месторождения Томской области планируются к освоению открытым способом, для чего начато строительство первоочередных объектов на промплощадке и проведение горно-капитальных работ в карьере. Предполагается строительство комбината производительностью по добыче и переработке 4 млн. м³ песков в год. На Ордынском месторождении успешно проведены опытные работы по внедрению СГД и разработана технологическая

схема обогащения титаноциркониевых песков. Обработка песков Николаевского месторождения пока не рентабельна из-за отсутствия эффективной технологии получения ильменитового концентрата.

Итоговые результаты по обогащению рудных песков показали, что разработанные технологические схемы уже сейчас позволяют в качестве промпродуктов получать цирконо-вый, рутиловый, ильменитовый и эпидотовый концентраты, каолиновые глины и стекольные пески.

Дальнейшее решение проблемы освоения собственной минерально-сырьевой базы титана и циркония России видится в нескольких направлениях. Л.З. Быховский и др. [1] к первоочередной проблеме относят освоение богатых участков разведанных россыпей с получением цирконовых концентратов и высокотитанистых концентратов ильменита и рутила. Мы полагаем, что к первоочередным задачам следует отнести также своевременную доразведку месторождений, совершенствование существующих и создание новых технологий комплексной оценки и глубокой переработки титано-циркониевых россыпей. Не останавливаясь на первой задаче, рассмотрим предпосылки, позволяющие ставить вопрос о расширении технологических возможностей извлечения попутных полезных компонентов из интересующих нас россыпей.

Западная Сибирь издавна, еще до открытия титано-циркониевых россыпей, известна своей богатой россыпной золотоносностью. В небольшом объеме из россыпей извлекались редкие металлы [2], установлено наличие россыпных минералов платиновой группы [4] и редкоземельных элементов [12]. Однако, практиковавшаяся в предыдущие годы разная методика опробования и подсчета запасов россыпей на редкие, редкоземельные и благородные металлы, привела к тому, что при поисках и оценке россыпей на титан и цирконий, не уделялось должного внимания золоту, а при оценке золотоносности не привлекательны были другие тяжелые минералы. Комплексная переоценка ильменит-цирконовых россыпей региона еще предстоит. Предпосылки этому имеются.

Главные рудные минералы продуктивных песков Ордынского, Георгиевского, Туганского и Тарского месторождений представлены цирконом, ильменитом, лейкоксом и рутилом. Их содержания в россыпях этих месторождений показаны в табл. 2.

Таблица 2. Содержание (кг/м³) главных рудных минералов тяжелой фракции ильменит-цирконовых россыпных месторождений Западной Сибири, по [12] с дополнениями

Месторождение	Тяжелая фракция, %	Циркон	Ильменит	Лейкоксен и рутил
Ордынское	2-10	<u>2,37-5,2</u> 3,43	<u>8,97-20,4</u> 14,07	<u>2,94-7,31</u> 4,57
Георгиевское	2,5	<u>3,30-26,50</u> 9,40	<u>7,60-41,70</u> 21,60	<u>2,40-13,40</u> 7,00
Туганское	2,8	<u>0,90-41,40</u> 13,80	<u>1,80-70,0</u> 31,80	<u>0,20-32,20</u> 5,10
Тарское	3,2	<u>1,40-25,37</u> 4,50	<u>11,10-71,0</u> 27,50	<u>1,27-10,40</u> 4,90

Примечание: Над чертой – вариабильность содержаний; под чертой - содержания, принятые при подсчете запасов.

В продуктивных пластах в переменных количествах присутствуют анатаз, брукит, сфен, монацит, ксенотим, апатит, магнетит, пирит, а также гранаты, эпидот, дистен, амфиболы, ставролит и другие породообразующие минералы тяжелой фракции. В единичных зернах

обнаружены алмазы, подобные по форме и физическим свойствам австралийским алмазам из метаморфических пород.

Рудные горизонты концентрируются в кварцевых, кварц-каолинитовых и кварц-полевошпатовых алевритовых песках олигоценового возраста.

Анализ химического состава рудных минералов позволяет заключить, что в продуктивных песках в повышенных количествах теоретически возможно присутствие большого спектра полезных компонентов: Hf, Nb, Au, Ta, Sn, Sc, Cr, Th, U, Ce, La, Y, Yb и другие редкие и редкоземельные элементы (табл. 3). При оценке запасов россыпей рассматриваемых месторождений эти элементы в должной мере не изучались. Как установлено новейшими геохимическими исследованиями, многие из иллюстрируемых в табл. 3 элементов, характерны не только для мономинеральных фракций, но для продуктивных песков в целом [6, 12].

Редкие элементы. По данным Л.П. Рихванова с соавторами [12], среднее содержание скандия на различных участках Туганского месторождения составляет 80-97 г/т, а Георгиевского – 122 г/т. По расчетам сотрудников Томского политехнического университета только из рудных песков Туганского месторождения при производительности 980 тыс.т/год можно получать более 5 т скандия [12]. В продуктивных песках Ордынского месторождения отношение общего содержания скандия к его содержанию в классе –0,044 мм оценивается как 3:4, т.е. более высокие содержания скандия тяготеют к алевропелитовой фракции песков. В новомихайловской свите (Р₃ nm), контролирующей россыпь, скандий в количестве 10-100 г/т присутствует в пластах бурых углей.

Таблица 3. Элементы-примеси главных и второстепенных рудных минералов (кг/м³) тяжелой фракции ильменит-цирконовых россыпных месторождений Западной Сибири

Минералы	Содержания теоретические, %	Содержания установленные, %
	По минералогическом справочникам [10]	Ордынское месторождение по [6]
Циркон	HfO ₂ =1,8-10, а в альвитах 21-31; TR ₂ O ₃ =0,01-17, главным образом Ce ₂ O ₃ до 16; ThO ₂ =следы-1; UO ₂ =следы-1,5 и больше; (Nb, Ta, Y) ₂ O ₅ до 1, в наэгите до 7,6; SnO ₂ до 0,3; P ₂ O ₅ до 4-5; U ₂ O ₅ до 1,5 и больше; Sc –0,05; Ga – 0,0019	HfO ₂ =1,18-2,52; YO до 5,10; Ce=0,01-0,14; Th=0,005-0,61; U=0,02-0,06
Ильменит	Nb ₂ O ₅ до 3,8; Y-0,75; Sc –0,027-0,057; Sn-0,015 V, Mg, Mn до первых %	V ₂ O ₅ = 0,88 - 2,13
Рутил	Nb, Ta, до 5; SnO ₂ до 1,5; Cr ₂ O ₃ до 16,61, в хромрутите (реледжете) >16,6; V	V ₂ O ₅ = 1,13 -2,6 ZrO ₂ 0,1-0,56
Сфен	TR ₂ O ₃ =0,01-12; Nb ₂ O ₅ =до 7; Ta ₂ O ₅ до 0,01; ZrO ₂ = 0,18-1,5; Th до 0,01; Cr ₂ O ₃ до 0,18;	Cr ₂ O ₃ -0,18; V ₂ O ₅ - 0,14
Анализ	Nb ₂ O ₅ до 2,1, в ниобанатазе >2,1; SnO ₂ до 1,5;	Не анализировался
Брукит	Nb ₂ O ₅ =0,8-9,6; Ta ₂ O ₅ =0,8-9,6; Следы W, Ge	- « -
Монацит и ксенотим	Редкоземельные фосфаты цериевой и иттриевой групп соответственно; ThO ₂ =n-12; U ₃ O ₈ – первые %	- « -

Магнетит	Cr ₂ O ₃ и TiO ₂ первые проценты; Mn, V	- « -
Пирит	Co, Ni, Ti, As, Sb, Cu, Au, Ag и др.	- « -
Гранаты	SnO ₂ =0,1-0,2; Rb=0,01-0,05; Ga=0,0455; Sc, Ge, Be, Li, P ₂ O ₅ , V ₂ O ₅ , ZrO ₂ - небольшие количества	- « -

Примечание: Содержания Hf, Nb, Ta, Sn, Sc, Cr, Th, U, Au, Ce, La, Y, Yb и других редких и редкоземельных элементы в ильмените, лейкоксене, цирконе, монаците Туганского, Георгиевского и Тарского месторождений приведены Л.П. Рихвановым с соавторами [12].

Аналогичная аномальность наблюдается по танталу и ниобию. Концентрации тантала в песках Туганской россыпи оцениваются в 50-65 г/т, Георгиевской - 64 г/т [12]. Концентрациями ниобия служат ильменит и другие минералы титана (см. табл. 3).

Как подчеркивают цитируемые выше исследователи, такие высокие концентрации тантала и скандия характерны для собственных месторождений этих элементов.

В промышленных концентратах россыпей на долю циркона приходится 0,90-41,40 % (см. табл. 2). Как полагают М.Ф. Комин с соавторами [7] в провинциях циркон-ильменитовых россыпей циркон служит основным концентратом гафния. На долю Hf приходится 1-5%, а в некоторых разностях до 20 %. Цирконы Западно-Сибирских месторождений не являются исключением. В цирконах Ордынского месторождения HfO₂=1,18-2,52 % [6], Туганского – Hf=0,91-9,63%, Георгиевского - Hf=0,87% и Тарского Hf=0,66% [12].

Заслуживает пристального внимания *редкоземельная минерализация* титано-циркониевых россыпей.

Вопрос о коренных источниках автохтонных россыпей циркона, редкоземельных элементов и титановых минералов не имеет принципиального значения, так как такие россыпи могут возникать практически за счет любых магматических и метаморфических пород, развитых на огромных площадях и всегда содержащих эти минералы в различных концентрациях, а также осадочных образованиях, которые нередко служат промежуточными коллекторами [3]. В то же время исходным материалом для этих россыпей служат продукты размыва и переотложения кор химического выветривания, сформированных на субстрате разнообразных магматических, метаморфических и осадочных пород, в том числе и минерализованных зон, содержащих даже в виде аксессуариев устойчивые в гипергенных процессах россыпеобразующие минералы. По наблюдениям В.М. Цибульчика [13], тантал, совместно с ниобием, являются постоянными спутниками в метаморфических породах и их корках выветривания, рассматриваемых как потенциальные источники питания ильменит-цирконовых россыпей северной части Кузнецкого Алатау. В корках выветривания Салаира, развитых по золотоносным кварц-мусковит-парагонитовым метасоматитам, из редкоземельных элементов накапливаются также Ce =72,1-145; La=78,9-257; Nd =65,1-140; Sm=20,0-33,4; Gd=18,4-52,8; Y=200-8000 г/т [9], что позволяет прогнозировать их накопление и в ильменит-цирконовых россыпях. Сумма редкоземельных элементов оценивается в пределах 468,7-8598,5 г/т, что сопоставимо с их содержанием в промышленных типах редкоземельных кор выветривания китайских месторождений Лонг Нан, Ван Ан и Ксан Ван – 500-1500 г/т, в том числе Y=200-630 г/т [8]. Присутствие редкоземельных элементов в рассматриваемых титано-циркониевых россыпях убедительно показано Л.П. Рихвановым и др. [12]. В золе углей новомихайловской свиты иттрий и иттербий содержатся в количествах 100-300 и 10-30 г/т соответственно [9].

Таким образом, первоочередной проблемой освоения титано-циркониевых россыпей следует считать их промышленную оценку на редкие и редкоземельные элементы с целью комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов россыпей.

Важной проблемой представляется разработка методов оценки ильменит-цирконовых россыпей, в том числе уже разведанных, *на золотоносность*. Эти россыпи на золото современными аналитическими методами не опробовались. Анализ золотоносности районов Георгиевской, Туганской и Ордынской россыпей показывает, что золото является частым компонентом в элювиальных, элювиально-делювиальных и аллювиальных образований региона, в том числе палеогеновых отложений, контролирующих размещение ильменит-цирконовых россыпей (табл. 4). В продуктивных песках содержание самородного золота достигает 420 мг/м³. Золото присутствует в песчаной и глинистой фракциях песков. Размер его частиц колеблется от 3-5 микрон до 0,5 мм, редко до 0,7 мм. Более крупные классы золотин тяготеют к песчаным горизонтам. Свободное золото является лишь частью его содержания, составляя в отдельных россыпях до 30 % [5, 14].

Таблица 4. Золотоносность ильменит-цирконовых россыпей Западной Сибири

Объект опробования	Материал и его возраст	Содержание золота, мг/м ³ (число золотин)
Георгиевское месторождение [2]	Продуктивный пласт (юрковская свита- P ₃ jur)	0,05-420, среднее 140
Участок рч. Ушайки, район Туганского месторождения	Новомихайловская свита - P ₃ nm	22-727
Ордынское месторождение	Продуктивный пласт (журавская свита - P ₃ zr)	(более 10)
Обской карьер тугоплавких глин, район Ордынского месторождения	Глины новомихайловской свиты - P ₃ nm	0,08-123 (1-226)
Обской карьер тугоплавких глин, район Ордынского месторождения	Галечник древней поймы реки Оби - P	43,1 (до 226)
Евсинский карьер огнеупорных глин, район Ордынского месторождения	Глины коры выветривания – K ₃ -P	0,27-125 (2-620)
Линевский карьер огнеупорных глин, район Ордынского месторождения	Глины коры выветривания – K ₃ -P	0,08-31,12 (2-177)
Криводановские песчано-гравийные смеси, район Ордынского месторождения (по Гилевич,1995)	Отложения надпойменной и пойменных террас	7,1-3192 (1-более 100)

Золото чешуйчатое, пластинчато-табличное, шаровидное, пленочное и других форм. Его пробность колеблется от 850 до 970 %. Около половины самородных частиц имеют очень высокопробные (более 990 %) каемки, что свидетельствует об облагораживании золота в коре выветривания или в россыпи.

В предгорном обрамлении Западно-Сибирской низменности ильменитовые россыпи сопровождаются более высокими концентрациями золота, достигающими на Барзасской площади 2,5 г/м³ [5].

Как показывает зарубежная и отечественная практика, несмотря на казалось бы невысокие содержания благородного металла, попутное его извлечение из месторождений титано-циркониевых россыпей становится рентабельным благодаря их уникальным запасам.

Поскольку в литосфере на золото фракции 0,9-0,01 мм приходится около 75%, то основные резервы поисков, разведки и добычи ближайшего будущего связаны с мелким и тон-

ким золотом. В то же время, планируя подобные работы, необходимо учитывать, что решение данной проблемы возможно исключительно “российскими методами” – созданием дешевых и простых методик поисков и разведки, дешевых и простых способов разработки месторождений с мелким и тонким золотом. Перспективными в этом отношении являются мезозойско-кайнозойские отложения, контролируемые в Западно-Сибирской низменности и ее складчатом обрамлении размещение крупных титано-циркониевых россыпей с повышенным содержанием редкоземельных металлов и золота. Для их эффективного освоения необходимо своевременное создание новых технологических способов комплексной переработки минерального сырья.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 06-05-64697) и Интеграционного проекта СО РАН (№ 96)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быховский Л.З., Зубков Л.Б., Тигунов Л.П. Титан-циркониевые россыпи России: проблемы освоения и рационального использования // Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения. Пермь: Изд-во Пермского государственного университета, 2005. С. 24-26.
2. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области. Том II. Полезные ископаемые // Варакин Ю.Н., Свиридов В.Г., Росляков Н.А. и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1998. 254 с.
3. Гурвич С.И. Закономерности размещения редкометалльных и оловоносных россыпей. М.: Изд-во «Недра», 1978. 227 с.
4. Жмодик С.М., Агафонов Л.В., Нестеренко Г.В., Колпаков В.В., Щербаков Ю.Г. Au-PGT россыпная минерализация в северной части Кузнецкого Алатау // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология / Тезисы Третьего Всероссийского симпозиума с международным участием, Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. С. 81-84.
5. Золото Кузбасса // Коллектив авторов. Кемерово: Изд-во «Кемеровский полиграфкомбинат», 2000. 407 с.
6. Исакова Л.И. Литолого-минералогические особенности и условия формирования верхнеолигоценых циркон-ильменитовых россыпей Ордынского Приобья. Автореферат кандидатской диссертации. Новосибирск, 2006. 21 с.
7. Комин М.Ф., Патык-Кара Н.Г., Осокин Е.Д. Коренные источники и типы провинций россыпей циркония // Тезисы докладов VIII совещания по геологии россыпей. Киев: Изд-во «Киевская книжная типография научной книги», 1987. С.25-28.
8. Кременецкий А.А., Веремева Л.И., Копнева Л.А. Проблемы рационального освоения редкометалльных кор выветривания и россыпей // Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения. Пермь: Изд-во Пермского государственного университета, 2005. С. 119-121.
9. Минералогия области сочленения Салаира и Колывань-Томской складчатой зоны // Росляков Н.А., Щербаков Ю.А., Алабин Л.В. и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН Филиал «Гео», 2001. 243 с.
10. Минералы. Справочник. М.: Изд-во «Наука». Т. I, 1960, 610 с.; Т. II, вып. 2, 1965, 342 с.; Т. II, вып. 3, 1967, 676 с.; Т. III, вып. 1, 1972, 884 с.
11. Патык-Кара Н.Г. Ископаемые россыпные формации как основа расширения минерально-сырьевой базы россыпей в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2004. № 5-6. С. 32-37.

12. *Циркон-ильменитовые россыпные месторождения* – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона // Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Бабенко С.А. и др. Кемерово: Изд-во ООО «Сарс», 2001. 214 с.

13. *Цыбульчик В.М.* Поведение титана в коре выветривания метаморфических пород. М.: Изд-во «Наука», 1972. 136 с.

14. *Яблокова С.В., Полканов Ю.А., Иконников Н.Н.* Золотоносность титановых и титано-циркониевых россыпей Русской платформы и других регионов // Древние и погребенные россыпи СССР. Киев: Изд-во «Наукова Думка», 1977. Часть 2. С. 42-45.