

1. По литию – возврат в число крупнейших мировых продуцентов первичного лития с минимальным объемом производства 4 000 т/год. Конечные объемы производства лития в РК определяются только ресурсной базой гидроминерального сырья, а не экономикой производства;

2. По йоду – создание впервые на территории России крупного производства первичного йода с объемами годового производства от 1 до 15 тыс. т/год. Конечные объемы производства йода первичного в Республике Коми определяются только ресурсной базой гидроминерального сырья и в малой степени экономикой производства;

3. Бром в России является типичным попутным элементом, объемы производство которого, не определяют значимость и экономику Проекта. Конечные объемы производства брома в Республике Коми определяются только объемами переработки гидроминерального сырья, при уровне производства до 40 тыс. т/год он весь может поступать на внутренний рынок. Крупные мирового значения производства брома в России необходимо создавать на минеральной базе крупнейших соляных озер Южного Поволжья, в первую очередь озера Эльтон, которые позволяют производить до 300 тыс. т товарного брома в год и более.

Список литературы

1. Бондаренко С.С. Лубенский Л.А., Куликов Г.В. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. М.: Недра, 1988. – 203 с.
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1.01.2009 г. Вып. 93. Бром. М., 2009.
3. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1.01.2009 г. Вып. 94. Йод. М., 2009.
4. Дедеев В.А. Зытнер Ю.И., Оберман Н.Г. и др. Подземные воды Европейского северо-востока СССР. Сыктывкар: Коми научный центр УрО АН СССР, 1989. – 160 с.
5. Лопатко С.В., Макеев А.Б. Нефтяные воды – источник стратегических видов сырья лития, йода и брома // Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования. Всероссийская конференция, посвященная 85-летию ИГЕМ РАН. Москва, Материалы докладов. М.: ИГЕМ РАН, 2015. – С. 287–288.
6. Макеев А.Б., Дудар В.А., Самарова Г.С., Быховский Л.З., Тигунов Л.П. Пижемское титановое месторождение (Республика Коми) аспекты геологического строения и освоения // Рудник будущего. – 2012. – № 1(9). – С. 16–24.
7. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод / Под ред. С.С.Бондаренко, Г.С.Вартаняна. М.: Недра, 1986. – 479 с.
8. Митюшова Т.П. Применение факторного анализа при изучении подземных промышленных йодобромных вод Тимано-Североуральского региона // Вода: Химия и экология. – 2013. – № 9. – С. 78–86.
9. Попов В.Н. Гидрогеохимические закономерности распространения и перспективы использования промышленных вод Тимано-Печорской провинции. Автореф. дис... канд. геол.-минералог. наук. Л., 1979. – 20 с.
10. Ткачук А.Н., Новиков А.А., Трофимов Е.Н., Дудар В.А., Макеев А.Б. Проект строительства вертикально-интегрированного горно-металлургического комплекса в Республике Коми на базе Пижемского месторождения титана // Горный журнал. – 2013. – № 9. – С. 67–70.
11. <http://www.b2b-project.ru/profile/307536>

Лопатко Сергей Владимирович¹, Макеев Александр Борисович²,

ПЕРСПЕКТИВЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ТИТАНОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

¹Технолог ЗАО «Руститан»

²Профессор, доктор геолого-минералогических наук, ВНС института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии И Геохимии РАН, Москва

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор российских титановых месторождений разного генезиса: коренных титаномagnetитовых, россыпных ильменит-рутиловых, мировой ресурсной базы титана и объем товарного производства. Предложен выход из неприятной зависимости от импорта титанового сырья путем вовлечения в отработку современного аллювия крупных рек.

ABSTRACT

The article provides an overview of Russian titanium deposits of various origins, such as primary titanomagnetite and ilmenite-rutile placer, a review of titanium global resource base and the volume of commodity production. There is being offered the solution to unpleasant dependence on imports of titanium raw materials by including the extraction from quaternary alluvium of big rivers.

Ключевые слова: ильменит, рутил, титаномагнетит, лейкоксен, циркон, титановые белила, титановая губка, коренные и россыпные месторождения.

Keywords: ilmenite, rutile, titanomagnetite, leucoxene, zircon, titanium dioxide, titanium sponge, primary and placer deposits.

Все месторождения титана России объединяются в две группы – коренные магматогенные месторождения с титаномагнетитовыми рудами и месторождения россыпного генезиса, ильменит-рутиловые с попутным цирконом, золотом и другими полезными минералами. Особняком стоят два крупных метаморфогенных месторождения Ярегское и Пижемское с нестандартными лейкоксеновыми рудами (и недостаточно разработанной технологией переработки руд), но с крупными запасами и ресурсами, превышающими половину всего баланса России [8]. На Госбалансе России стоят утвержденные запасы титановых руд более 25 месторождений всех генетических типов, выданы 20 долгосрочных сквозных лицензий на поиски, разведку и добычу титановых руд. И, тем не менее, в настоящее время Россия полностью зависит от импорта этого вида сырья. Задачей геологов, технологов, промышленников, инвесторов является вывод Отечества из этой неприятной ситуации, переломить тенденцию и вывести Россию в лидеры производителей титановой промышленной продукции, так как производство титановой продукции на душу населения является одним из ярких показателей промышленной развитости стран.

Мировая ресурсная база титана и объем товарного производства. Ниже представлен обзор

состояния ресурсной базы титановой отрасли (2013–2014 гг.) по материалам геологической службы США. Он касается производства концентратов титановых минералов и их переработки (табл. 1–4). Но здесь как всегда остается несколько спорных или политических вопросов. Прежде всего, Геологическая служба США пока не включила в перечень стран поставщиков Сенегал и Кению. Они начали в конце 2013 г. производство и экспорт концентратов ильменита и рутила, и объемы их производства значительны. Как правило, американцы включают их на следующий год, поэтому данные по 2014 г. реального производства в мире ильменита должно возрасти на 460 тыс. т, а рутила на 60 тыс.т.

США в своей статистике не замечают производство титанового сырья в России. В России есть титан в лопаритовых концентратах, он активный по статистике 2014 г. его набралось 5100 т, и первичный ильменит Олекминского ГОКа (131 тыс. т с содержанием TiO_2 – 39,7%, в пересчете на стандартный 54% это 97 тыс. т. Собственное производство концентратов рутила в России всего 81 тонна, это ничтожное количество.

Традиционно США не показывает импорт из России конструкционного титана 22 670 т, и не афишируют свои поставки губчатого титана в Россию (реэкспорт). Также как обычно у них свои политические толкования по поводу принадлежности Крыма, поэтому российское производство 105 тыс.т диоксида титана они числят за Украиной. Приходится делать четкий вывод о том, что в России, по-прежнему, нет собственной устойчивой сырьевой базы минерального сырья титана и циркона.

Таблица 1.

Мировое производство товарных концентратов минералов титана

№ п/п	Страны	Производство, тыс. т		Резервы
	Ильменит	2013	2014	млн. т
1	США	200	100	2,0
2	Австралия	960	1 100	170
3	Бразилия	100	70	43
4	Канада	770	900	31
5	Китай	1 020	1 000	200
6	Индия	340	340	85
7	Мадагаскар	264	340	40
8	Мозамбик	430	500	14
9	Норвегия	498	400	37
10	Южная Африка	1 190	1 100	63
11	Шри Ланка	32	32	
12	Украина	150	210	5,9
13	Вьетнам	720	500	1,6
14	Другие Страны	60	90	26,0

№ п/п	Страны	Продукция, тыс. т		Резервы
	Ильменит	2013	2014	млн. т
	Весь Мир	6 730	6 680	720
	Рутит			
1	США	н.д.	н.д.	н.д.
2	Австралия	423	480	28,0
3	Индия	24	26	7,4
4	Мадагаскар	8	7	
5	Мозамбик	14	14	н.д.
6	Сьерра Леоне	81	120	н.д.
7	Южная Африка	59	65	8,3
8	Украина	50	50	2,5
9	Другие страны	8	8	0,4
10	Весь Мир	667	770	47,0

Ильменит по данным Геологической службы США занимает 92% в сумме добываемых титановых минералов и его добыча в последние два года стабилизировалась на уровне примерно 6,75 млн. т. В 2014 г. отмечен резкий рост мирового производства рутила на 100 тыс. т. Этот рост обеспечен Австралией и Сьерра Леоне, обе страны дают теперь более 82% мирового объема производства рутила. Австралия доминирует на рынке производства и природного и искусственного рутила с суммарным объемом производства и экспорта в 910 тыс. т в 2014 г.

В 2014 г. в феврале заработал проект в Кении «Квале», годовая производственная мощность концентратов ильменита 360 тыс. т, рутила – 80 тыс. т, обеспеченность разведанными запасами на 13 лет.

Запущен в марте 2014 г. в Сенегале проект «Гранде Коте» по производству 575 тыс. т концентрата ильменита в год. Разведанных запасов должно хватить на 20 лет. Уже в августе 2014 года компанией «АВИСМА» закуплено первые 75 тыс. т сенегальского ильменита и начата его переработка в России. На 2015 г. объем закупок концентратов ильменита в Сенегале Россией увеличен до 255 тыс. т и он стал поступать и в Госрезерв.

Заслуживает пристального интереса и пуск проекта «Тормин» в Южной Африке с участием российского бизнесмена В. Вексельберга. (30%). Он имеет годовое производство смешанного концентрата с содержанием циркона 81% и рутила 11,6%, остальное ставролит. Годовая мощность производства концентратов 48 тыс. т. из этого объема порядка 15 тыс. т закупается Россией и направляется в г.Чепецк «ЧМЗ». Этот проект – сильнейший конкурент Лукояновского и Туганского месторождений.

Небольшие мощности по производству ильменита вводились в Бразилии, Мадагаскаре, Мозамбике, Танзании и Шри Ланке. На территории США в штате Джорджия вошел в финальную стадию проект по производству 100 тыс. т концентратов ильменита в год. Это позволит стране стабилизировать собственное производство концентратов ильменита на уровне 200 тыс. т в год. В настоящее время вся добыча США сосредоточена в двух штатах Флорида и Вирджиния. Весь рынок титановых минералов США это всего 835 млн. \$ США. 95% всех концентратов титана идет на производство пигментного диоксида титана. Оставшиеся 5% на карбид титана, химикаты и металл.

Таблица 2.
Производство титановой отрасли в США (тыс. т)

Позиция / годы	2010	2011	2012	2013	2014
Собственное производство	200	300	300	200	100
Импорт	1 040	1 010	1 110	1 190	1 050
Экспорт	11	16	24	7	2
Потребление	1 230	1 300	1 390	1 390	1 150
Цены на основное титановое сырье в США, \$/т					
Ильменит 54% FOB Австралия	75	195	300	265	165
Рутит 95% FOB Австралия	760	1 350	2 200	1 250	975
Шлак титановый 80–95%, Канада	431–451	963–989	699–839	538–777	699–774
Доля импорта в стране, %	65	77	78	86	91

Россия приступила к крупным закупкам титанового и циркон-рутилового концентратов с двух новых проектов введенных в эксплуатацию в 2014 г. в Сенегале и Южной Африке и снизила свою зависимость от поставок с Украины и Австралии до приемлемого уровня. Кардинально изменить ситуацию с обеспеченности России титаном могут только проекты в Северной Корее и Иране связанные с разработкой месторождений нового геолого-технологического типа магматогенных руд титаномагнетит-рутил-ильменитовый с аномально высоким содержанием рутила и

крупнокристаллического ильменита. Новое производство диоксида титана рутильного типа хлоридным способом на мощность 100 тыс. т в год пущено в 2014 г. в Китае, и еще одно аналогичное планируется запустить в начале 2015 г. Мексика планирует запустить новый крупный завод мощностью 200 тыс. т по хлорному методу уже в 2016 г. Японский производитель титана планирует пустить в 2017 году новый завод мощностью 16 700 т губчатого титана в 2017 г. в Саудовской Аравии город Янбу.

Таблица 3
Мировое производство губчатого титана, металлического титана и пигментного диоксида титана (тонн)

Страны	Губчатый титан		Титан металл	Пигмент TiO ₂
	2013	2014	2014	2014
США			24 000	1 470 000
Австралия				280 000
Бельгия				74 000
Канада				100 000
Китай	105 000	110 000	114 000	2 000 000
Финляндия				130 000
Франция				125 000
Германия				440 000
Италия				80 000
Япония	42 000	25 000	57 000	310 000
Казахстан	12 000	9 000	27 000*	1 000
Мексика				130 000
Россия	44 000	42 000	46 500	20 000
РФ с Крымом				(125 000)
Испания	6 300	6 000	10 000	80 000
Украина				120 000
Без Крыма				15 000
Другие страны				300 000
Мировое производство	209 000	192 000	279 000	6 560 000

Примечание. Под производством в Казахстане следует понимать прокат металлического титана в Южной Корее из слитков, отлитых в Казахстане

Мировое лидерство Китая во всех сегментах мирового рынка титановой продукции будет только расти и может превысить 50% от общего объема. Именно Китай обеспечивает основной рост объемов мирового производства титановой отрасли.

Предприятия по производству губчатого титана в США расположены в штатах Невада и

Юта и находятся в консервации. Производством проката из титана и сплавов титана занимаются 10 предприятий в 8 штатах. В 2014 г. 75% изделий из металлического титана потребляла аэрокосмическая отрасль. Исходная цена губчатого титана в США 11,2 \$ США за 1 кг, объем рынка всего 280 млн. \$ США.

Таблица 4.

Производство титановой губки и пигментного оксида титана (т) в США

Титановая губка (т)	2010	2011	2012	2013	2014
Импорт	20 500	33 800	33 600	19 900	15 300
Экспорт	293	256	1 420*	1 860*	2 490*
Цена \$ за 1 кг	9,62	10,25	11,78	11,57	11,2
Диоксид титана (т)	2010	2011	2012	2013	2014
Производство	1 320 000	1 290 000	1 140 000	1 280 000	1 310 000
Импорт	204 000	200 000	203 000	213 000	235 000
Экспорт	758 000	789 000	624 000	670 000	685 000
Потребление	767 000	706 000	722 000	826 000	860 000
Цены внутренние \$/кг	1,94	2,68	2,68	2,36	2,37

Примечание. Поставки титановой губки на собственное производство в США в 2010–2014 гг. не производились. *Основные экспортные поставки губчатого титана из США, направляются в Россию, а последние три года – 100%. Титанового пигмента произведено на 4 400 млн. \$ США.

Структура потребления: 64% – краски, лаки и пигменты, 22% добавки в пластмассу и композиты, 11 % бумага, 3% – остальное.

Рецикл металлического титана достигает 50 000 т в год, из них черная металлургия забирает 11 тыс. т, на суперсплавы и нержавеющей сталь 1 100 т, остальная металлургия 1000 т. То есть порядка 36 800 т вторичного титана было переработано на изделия и прокат титана.

Текущее состояние дел в титановой отрасли России на I квартал 2015 г. Правительство РФ в начале 2015 года обнулило импортные пошлины на отходы и лом титана всех марок. Основанием для такого решения называется необходимость диверсифицировать доступ к источникам титанового сырья для титановой промышленности РФ в период ограничения поставок из традиционных источников поступления минерального сырья (из Украины, Австралии и Канады) и низких темпах разработки собственной сырьевой базы титанового сырья. Это вынужденное половинчатое решение и оно не решает всех проблем титановой отрасли. Необходимо отметить, что импорт отходов и лома титана в Россию из Европы полностью прекращен к июню 2014 г., и не компенсирован четырехкратным ростом поставок из США в четвертом квартале 2014 г. (импортировано из США 1 422 т).

Увеличились резко внутренние цены на лом титана в России до 18–23 \$ США за 1 кг, при ценах на рынке США на эту позицию не более 9,4 \$ США за 1 кг (снижение на 14%). Дефицит вторичного титанового сырья уже привел к резкому падению производства ферротитана в России (с 22 120 т в 2010 г. до 1 650 т в 2014 г.) и к росту импорта ферротитана с 28 т до 6 200 т/год. (Из Казахстана, Украины и США). Дефицит слитка титановых сплавов на внутреннем рынке вызвал экспотенциальный рост его импорта из Казахстана, Украины и Японии который уже превысил 11 тыс. т/год на сумму 490 млн. \$ США.

Загрузка девяти российских предприятий по производству ферротитана снизилась в первом квартале 2015 г. до 7%, мощностей по переплаву титановых ломов и губчатого титана на 11 предприятиях и цехах титановой промышленности до 4%. Правительство России отложило решение вопроса об обнулении пошлин на импорт концентратов ильменита и рутила на май 2015 г. до понимания источников и объемов его импорта из дружественных стран (Вьетнама, Ирана, Китая) на 2015 г. и завершении процедуры перехода в собственность России «Крымского Титана».

Из четырех крупнейших предприятий потребителей титанового сырья в России только АВИСМА располагает складскими запасами обеспечивающие возможность функционирования в течение года и заключила договора на поставку титанового сырья на текущий год. Остальные три предприятия не имеют складских запасов и вынуждены запрашивать помощь из Госрезерва России. Годовой баланс по поставкам в России концентратов ильменита в 2015 г. стал дефицитным (минус 94 тыс. т), по рутилу остро дефицитным (минус 44 тыс. т), по титановым шлакам сверхдефицитным (минус 66 тыс. т). Ситуация на рынке вторичных отходов и ломов титана в России просто катастрофическая.

Единственное предприятие России, работающее весьма устойчиво это АВИСМА которое более 65% производимого титана экспортирует на мировой рынок, имеет устойчивое положение, как со сбытом титановой продукции, так и с поставками титанового сырья по импорту из Вьетнама, Сенегала, Сьерра-Леоне и ЮАР. Остальные участники российского рынка в полной мере попали под пресс международных санкций, испытывают дефицит поставок по импорту и уже не питают иллюзий в отношении возможности получения рутила, титановых шлаков и качественного концентрата ильменита от российских ГОКов и владельцев лицензий в ближайшие пять лет.

Появление в России «Крымского титана», а также начало строительство на полуострове нового крупного завода по производству пигментного диоксида титана мощностью 180 тыс. т/год увеличило годовые потребности России в 2014 г. (к 2019 г.) в концентратах рутила на 22 (60) тыс. т, концентратах качественного ильменита на 170 (400) тыс. т/год.

Магматогенные месторождения. Титаномагнетитовые месторождения России разведанные и поставленные на Государственный баланс существенно уступают по содержанию исходного TiO_2 основным разрабатываемым месторождениям Канады Лак Тио (35%), Мексики Кьянос (26–38%), Норвегии, Теллнесс (18%), а также КНДР (22–34%). Единственный производитель первичного концентрата ильменита в России Олекминский ГОК не имеет собственного производства титанового шлака, не в состоянии реализовать даже 180 тыс. т полученных концентратов в России, и вынужден большую их часть экспортировать в Китай. В таком же положении находится и компания из Ирана, которая предлагает свой концентрат первичного ильменита в Россию по весьма низким ценам 100 \$ США за тонну и ищет крупного покупателя.

Из руд месторождений магматогенного типа в России получают только один вид титанового сырья – концентрат первичного ильменита с содержанием TiO_2 от 37 до 48%. Основная товарная ценность российских месторождений титаномагнетита – это железо, попутный ванадий. Они являются источником только первичного концентрата ильменита для плавки на титановые шлаки. Весь диоксид титана в титаномагнетите вредная примесь и теряется при металлургическом переделе. Концентрат титаномагнетита двух типов – доменного качества с содержанием TiO_2 до 2,4%, для переработки по технологии твердотельной металлизации и свыше 2,5% TiO_2 с попутным пентаоксидом ванадия. В качестве второстепенной минеральной продукции налажено производство апатитового концентрата (Большой Сейим, Первоуральское, Волковское), медного сульфидного концентрата с попутным золотом и серебром (Волковское, Гусевогорское, Первоуральское, Волковское) иногда пиритного концентрата (Волковское, Гусевогорское). В титаномагнетитовых месторождениях России практически нет рутила и весь ильменит первичный. За рубежом известны уже 3 провинции (КНДР, Гватемала, Иран) титаномагнетитовых руд с очень высоким содержанием крупных кристаллов рутила (от первых мм до нескольких дециметров) и крупнокристаллическим ильменитом с содержанием TiO_2 60% и выше.

На базе собственных концентратов первичного ильменита зарубежных коренных месторождений организовано крупное производство титановых шлаков сульфатного типа Канада (1,2 млн. т/год), Норвегия (680 тыс. т/год), и титановых шлаков хлоридного типа Канада (600 тыс. т/год). Производство титановых шлаков осуществляется в электропечах единичной мощностью 40 Мвт с одновременным выпуском передельных титанистых чугунов. То есть первичные концентраты ильменита в мировой торговый оборот титанового сырья поступают только из России, Ирана и Мексики в объемах всего 400 тыс. т/год. Концентраты титаномагнетита или складываются или продаются в Финляндию, ЮАР и Швецию для гидрометаллургического передела на ванадий. Это позволило им не только гарантировать сбыт произведенного первичного концентрата ильменита, но и обеспечило стабильный финансовый поток компаниям.

В России нет перспективных площадей и нет тематических работ по выявлению наиболее ценных в технологическом плане месторождений с крупнокристаллическим ильменитом и рутилом. Вследствие высокого удельного веса и содержания в запасах месторождения этого типа весьма дорогого и востребованного рутила рыночная ценность этих активов в 100 и более раз превышает месторождения титаномагнетита России. Поэтому доступ к таким объектам расположенных в Гватемале (зона Кьянос), Иране (зона Фарьяб), КНДР (зона Чходжи) остается высшим приоритетом России.

Технология твердотельной металлизации титаномагнетита с углем позволила вовлекать в металлургический оборот концентраты титаномагнетита с содержанием TiO_2 более 2,4% с переводом в чугун более 50% попутного ванадия и резко повысила интерес Китая к месторождениям этого типа сырья на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири. Китай уже установил полный контроль за двумя российскими месторождениями титаномагнетита и закупает весь объем производимого концентрата титаномагнетита еще и на Куранах и на Большом Сейиме. Не вызывает сомнений и финансовые возможности Китая в получении в ближайшие годы контроля и над стратегическим активом России в Сибири – крупнейшим Чинейским месторождением титаномагнетита с попутным ванадием и титаном.

Два крупных предприятия по металлизации титаномагнетита успешно работают в КНДР уже более 20 лет и необходимо с их технологиями детально ознакомиться, также как и с российским заводом в Черемхове. Эта технология имеет ключевое значение для отработки любого типа магмато-

генных месторождений титаномагнетита в России, имеет гигантский инвестиционный потенциал именно в России и необходима полная техническая компетентность в возможности ее промышленной реализации в стране.

Данная технология металлизации позволяет весьма высоко оценить возможность вовлечения в отработку кулсонитовых руд Среднего Урала с содержанием V_2O_5 – 7,53%. Перевод примерно 50–60% исходного ванадия в чугуны (нагетсы) резко повышает стоимость полученного прямо восстановленного железа, а шлаки с хорошим содержанием ванадия после окислительного рафинирования также являются дорогим ванадиевым сырьем. Именно компетенция по твердотельной металлизации переводит забалансовое месторождение кулсонитовых руд России в крупнейшего монопольного производителя ванадия в Мире с объемом годового производства до 250 тыс. т товарного металла в год.

Технологический уровень производства на действующих предприятиях России отрабатывающих магматогенные месторождения титаномагнетита может быть существенно повышен путем использования новых барабанных электромагнитных сепараторов производства ООО "Магнитс" ранее Луганск (сейчас Белгород). С использованием этого оборудования можно наладить рента-

бельное извлечение концентрата первичного ильменита из хвостов обогащения руд на Качканарском и Первоуральском ГОКах на Урале в объеме до 200–250 тыс. т/год, а также повысить извлечение ильменита в концентрат и на Олекминском ГОКе минимально на 100 тыс. т/год. Эти инвестиции наиболее привлекательны для российских госбанков на данный период и возможны по схеме лизинга оборудования.

Россыпные и метаморфогенные титан-цирконовые месторождения России. В этом разделе рассмотрим три наиболее перспективных месторождения титан-цирконового минерального сырья россыпного генезиса, включенные в Госбаланс России, и базовый вариант отработки ресурсов аллювиальных песков и ПГС рек Камы, Вятки, Белой, среднего течения Волги и Печоры представляют наибольший интерес, поскольку при их отработке производится сопоставимый или аналогичный спектр товарной продукции в сравнение с Пижемским лейкоксеновым метаморфогенным месторождением. Потому они являются прямыми конкурентами на рынках концентратов вторичного ильменита, рутила, лейкоксена, циркона и кварцевых песков. В таблице 5 проведено сравнение базового варианта с месторождениями россыпей Госбаланса и Пижемским метаморфогенным месторождением.

Таблица 5.
Сравнительная характеристика базового варианта с месторождениями россыпей Госбаланса и Пижемским месторождением.

Наименование показателя	Базовый вариант		Месторождения Госбаланса		Находящиеся в стадии разведки	
Месторождения	Кама	Средняя Волга	Туганское	Центральное	Буткинское	Пижемское
Площадь ресурсной базы, км ²	68 000	16 100	23,0 (360)	34,7 (164)	329	35
Потенциальные ресурсы						
Рудных песков, млн. м ³	70 000	30 000	478 (2400)	378 (1400)	23 (95)	1 700
Кварцевых песков млн. т	60 000	27000	200 (1170)	231 (750)	5 (22)	1 120
Во вскрыше карьеров	нет	нет	140 (780)	100 (530)	нет	830
Золото, т	49 000	15 000	3,5 (17)	6 (17)	2 (10)	33–45
TiO ₂ млн. т	840	450	6,4 (26)	6,36 (20)	0,18 (0,8)	60,5
Ильменит	1 120	480	9,5 (31)	9,12(33,6)	0,3(1,1)	1,51
Рутил	70–280	30–120	(1,7) (7)	1,6(5,88)	0,03 (0,11)	22,2
Лейкоксен	140	60	(+)	0,8(2,8)	нет	76,5
Циркон	350–490	150–210	5,23 (22)	1,93(7,15)	0,23(1,0)	5,1
Алюмосиликаты	280	120				
3. Прочие попутные	нет	нет	монацит	золото	нет	гематит, каолин
Каолин	нет	нет	200 (470)	нет	нет	20–50

Наименование показателя	Базовый вариант		Месторождения Госбаланса		Находящиеся в стадии разведки	
Глауконит	нет	нет	нет	160 (568)	нет	нет
фосфорит	нет	нет	нет	23,0 (78)	нет	нет
гематит	нет	нет	нет	примеси	нет	100
Транспортная доступность						
Водным транспортом	да	да	нет (90 км)	нет (190 км)	нет (300 км)	нет (200 км)
Железной дорогой, км	да	да	да	да 23 км	нет (63)	нет (60)
Автодорогой, км	да	да	да	да	есть	нет 60 км
Обеспеченность						
Инфраструктурой	Полное	Полное	да	да	Частично	Нет
Проектная мощность						
Предприятия, млн. тон	30–35	40	4,0 (2)	11,4 (20)	0,6	3,0 + 5,0 вскрыша
Опытного цеха, тысяч тонн	3 000	4 000	125	300	100	250 + 500

Продолжение таблицы 5.

Товарные позиции						
Месторождения	Кама	Средняя Волга	Туганское	Центральное	Буткин-ское	Пижем-ское
Кварцевые пески, тыс. т/год	24 000–28 000	35 000	1 860	4 860	100	1 860 + 3 000
фракция 2–5 мм	6 000 – 7 000	300	нет	нет	15–20	30–50
фракция 0,6–2 мм	8 400 – 9 800	700	нет	60	20–30	650
фракция 0,2–0,6 мм	6 000 – 7 000	24 000	1 160	3 200	35–40	960+1 500
фракция 0,075–0,2 мм	3 600 – 4 200	9 900	700	1 600	10–20	540+1 000
в том числе стекольные	2 000 – 5 000	до 10 000	980	2 000	нет	900+1 500
Золото, кг	15 000 – 17 500	16 000	нет	нет	300–600	от 100 до 500
Циркон, т	150 000 – 210 000	200 000	33 500	44 000	6 000	900
в том числе иттриевые	нет	нет	1 600	нет	20 ювел. 40 иттр.	90
Ильменит концентрат, т	450 000	600 000	71 400	240 000	9 000	54 000
Рутил	60 000 – 70 000	80 000 – 100 000	(13 300)	27 400	1 500	36 000
Лейкоксен	35 000	40 000	(+)	14 200	нет.	84 000
Прочие попутные фосфориты, тыс. т	нет	нет	нет	830	нет	нет
Глауконит, тыс. т	нет	нет	нет	4 560	нет	нет
Каолин, тыс. т	нет	нет	1 400	нет	–	300
Гематитовый шлам, тыс. т	нет	нет	нет	нет	нет	900
Размерность минеральных частиц						
Песков рудных, мм	1,7	0,5–0,6	0,35	0,32	2,5	0,8–0,5
Ильменита, мкм	140–220	110	70–84	65–70	200–600	110–160
Рутила, мкм	70–140	60–70	35–42	30–40	120–300	60–90
Лейкоксена, мкм	100	80	40–140	30	70–90	50–220
Циркона, мкм	70–120	35–50	10–30	10–25	100–300 (1000)	50–80
в т.ч. иттриевых	нет	нет	50–70	–	до 600	220–340

Анализ таблицы 5 позволяет сформировать несколько выводов, которые необходимо учитывать при планировании текущей деятельности отрасли.

Проект крупного Центрального ГОКа (ВСМПО-АВИСМА) [5, 8] имеет серьезные обременения по попутным полезным ископаемым и выходит за рамки традиционного ильменит-цирконового россыпного месторождения. Это больше напоминает агрохимический холдинг, чем горнорудное предприятие титан-цирконового типа. Годовой объем производства фосфатных и калийных удобрений составляет по действующему веществу 160–180 тыс. т P_2O_5 и 435 тыс. т K_2O , в физическом весе это более 1 200 тыс. т комплексного фосфорного удобрения и около 5 млн. т глауконита в год. Эта особенность руд Центрального месторождения может быть большой радостью для аграриев, но слишком большое отягощение для АВИСМы и основная причина невозможности реализации проекта в современных рыночных условиях. Чтобы окончательно «добить» проект технологи еще и начали искать пути извлечения там мелкого золота, которое все уносится глауконитом в шламы. Так нужно ли для АВИСМы продвигать этот проект и обеспечивать экологически чистыми удобрениями целый регион Черноземья – ответ ясен любому здравомыслящему человеку.

Более приемлемая картина по попутным полезным ископаемым на Туганском ГОКе [7, 8]. Каолин высокого качества это востребованная позиция и весьма дорогая в России, да еще и поступающая по импорту из стран Европы и Украины. Его цена в зависимости от сорта от 450 до 800 \$ США за тонну и должна рассматриваться как основная товарная позиция по стоимости и по объемам производства. Фактически строительство полноценного цеха по выпуску каолина керамического и бумажного сортов позволяет увеличить стоимость товарной продукции Туганского ГОКа на 250–900 млн. \$ США и делает этот проект уникальным для России. Но собственники этого ГОКа уже стали американцы и англичане. Как ни странно это хороший цирконовый проект с весьма приличными объемами производства, но высокая лейкоксенизация ильменита не позволила получить хорошие объемы производства титановых минералов. Основные потери титановых минералов связаны с каолиновыми шламами.

Лукояновское месторождение [6, 8] находится на юге Нижегородской области, в 180 км от Нижнего Новгорода. Титан-хром-циркониевое месторождение представлено серией крупных прибрежно-морских россыпей батского яруса средней юры. На месторождении выделено несколько разобщенных россыпей – Итмановская,

Шатковская, Казановская, Ульяновская и др. Наиболее крупная и богатая Итмановская россыпь. Она представляет собой среднее по масштабам, но богатое по содержанию циркона (более 23 кг/м³) месторождение. Кроме того, в рудных песках содержится около 7 кг/м³ рутила, 1,7 кг/м³ лейкоксена и около 90 кг/м³ ильменита с хромитом и гематитом. Содержание циркона в Итмановской россыпи наиболее высокое среди всех известных россыпей России и СНГ.

Горнотехнические условия эксплуатации рудных песков Итмановской россыпи довольно сложные. Помимо значительного коэффициента вскрыши, они характеризуются резко меняющейся в плане конфигурацией рудных тел (от 0,6 до 2,8 км по ширине). Общий водоприток на 1 пог.м будущего карьера составит 4,38 м³/сут., в том числе только за счет подземных вод 0,81 м³/сут.

Вещественный состав рудных песков Итмановской россыпи Лукояновского месторождения весьма своеобразен. Рудные пласты сложены мелко-зернистым полевошпат-кварцевым песком с прослоями глинистого материала. Количество полевого шпата достигает 15% от легкой фракции (с $d < 2,9$ г/см³), кварца – около 85%. В тяжелой фракции песков более 60% ее составляют циркон, рутил, лейкоксен, ильменит+хромит, различные алюмосиликаты (дистен, ставролит, эпидот и др.). Содержания полезных компонентов в песках составляют (%): циркона – 2–3, рутила – 0,2–0,4, ильменита – 2–3, хромита – 1,0–1,5. Своеобразие состава россыпи заключается в том, что ильменит вместе с хромитом и гематитом образуют тонко-зернистые агрегаты, разделить которые механическими методами обогащения не представляется возможным.

В результате обогащения получен высококачественный цирконовый концентрат, состоящий на 99,4% из мелкозернистого (0,01–0,1 мм) циркона при извлечении 89,9% от исходных песков. Концентрат содержит 62% диоксида циркония.

Титановые концентраты представлены двумя видами продукции – рутиловым и гематит-хромит-ильменитовым. Рутиловый концентрат сложен на 95,2% мелкозернистым рутилом, извлечение рутила от исходных песков 85,7%. Концентрат содержит 94% TiO_2 и соответствует по примесям ГОСТ 22938-78. Гематит-хромит-ильменитовый концентрат состоит на 99,8% из агрегатов этих трех минералов. Извлечение суммы этих минералов в концентрат 77,1% из исходных песков. Концентрат содержит 30–50% Fe_2O_3 , 9–10% Cr_2O_3 и 30% TiO_2 . Это нестандартный продукт, технологическими проблемами разделения

которого следует продолжить серьезно заниматься.

Пижемское лейкоксеновое месторождение [1–4] находится особняком в связи с незавершенностью геологоразведочных работ и поиском технологических решений по его комплексному освоению. Оно характеризуется стратегическим местоположением, крупнейшими запасами, имеются предпосылки производства дефицитных и востребованных видов продукции спецназначения, близостью к крупнейшим ресурсам лития в гидроминеральных водах. На данном этапе надо позиционировать его как проект регионального уровня, с возможностью решения ряда специальных задач. У него нет никаких преимуществ перед Туганским ГОКом и особенно технологическим проектом Кама-Волга, наоборот он серьезно отстает от них по времени и срокам реализации (на 5–10 лет) и требует крупных инвестиций на инфраструктурное обустройство. Значимость этого проекта можно серьезно поднять только путем организации производства лития, йода и брома [10], попутных РЗМ, алмазов и золота, стекольных песков и каолина в республике Коми в ближайшие несколько лет путем строительства установок электролиза и опытно-промышленного литейного завода в Ухте. Уникальной особенностью проекта Пижмы является структура производимого титанового минерального сырья с резким преобладанием лейкоксена и псевдорутила, в том числе пористого, требующего или дополнительных операций физико-химической доводки с целью удаления кремнезема и сидерита, или переработки в цветные оксидно-титановые пигменты термическим способом в универсальных печах типа Харпер [9].

Реализация Проекта Пижемского месторождения в России с заявленным объемом добычи и переработки титановых руд в 1–3 млн. т в год и годовым объемом производства бескремненных рутила и лейкоксена примерно 50–100 тыс. т по году является чисто российским проектом. На мировой рынок и торговлю концентратами ильменита и рутила не окажет никакого влияния. Постановка на баланс РФ ресурсов лейкоксена Пижемского месторождения найдет отражение в статистике Геологической Службы США по статье прочие ресурсы титанового сырья, а в официальной статистике только по производству рутила, при условии экспортных поставок значимых объемов пористого рутила на рынок США (2–5 тыс. т).

Проект освоения Пижемского месторождения с цехом производства цветных титановых пигментов (коричнево-желтого колора) не окажет серьезного влияния на мировой рынок производства и потребления диоксида титана рутильной

модификации, полученной традиционной промышленностью. Это самостоятельная дополнительная рыночная ниша мирового и российского рынка титановых пигментов и здесь нет серьезных конкурентов.

Современные аллювиальные пески крупных рек европейской части России. Единственный проект, который позволяет решить действительно проблему обеспечения промышленности России металлургическими концентратами титана и циркона на длительную перспективу, связан с реализацией проектов комплексной переработки аллювиальных песков и ПГС на Каме, Средней Волге, Печоре или Белой.

Наряду с уникальной степенью транспортной доступности, такое предприятие по объемам производства минеральных концентратов титана и циркона становится в ряд мировых проектов экстра-класса. Предприятие имеет минимальный годовой объем производства концентратов циркона в 150–210 тыс. т; концентратов ильменита с содержанием TiO_2 60% 450–600; концентратов рутила 60–100; концентрата лейкоксена 35–40 тыс. т/год. Нужно учитывать и возможность производство попутного золота в объемах 15–18 т/год стоимостью в текущих ценах 600–750 млн. \$ США, что резко повышает интерес любого коммерческого и государственного банка к этим проектам.

Единственный недостаток или достоинство этого проекта – большой объем добычи и переработки аллювиальных кварцевых песков и ПГС. Но уже сейчас действующие земснаряды только на Камском водохранилище и Средней Волги добывают порядка 60 млн. м³ ПГС и не менее 45 млн. м³ кварцевых песков сбрасывают обратно в воду рек. Кварцевые пески фракционированные, очищенные методом оттирки с анолитом – это дефицитная крупнотоннажная позиция в большинстве регионов бассейна р. Волги и возможно организовать их сбыт в объеме хоть 100 млн. т/год при доставке баржами по рекам. Это важнейшим проектом для развития перевозок водным транспортом в России в бассейне реки Волги.

Несомненными достоинствами данного проекта является простота технологического процесса, высокая единичная мощность оборудования классификации и оттирки, транспортировка песков влажностью 20–30% с использованием штанговых насосов по трубопроводам на любые расстояния и высоты, выделение ильменита с помощью высокопроизводительных барабанных сепараторов из узкой фракции песков до стадии гравиметрии. Направление на доводку и выделение циркона и рутила менее 15% от исходной массы. 85% затрат в проекте приходится на оборудование и несамоходные речные баржи, и только 15%

на капитальные здания и бетонированные площадки. Извлечение золота осуществляется из песков и концентратов узкой фракции методом интенсивного цианирования в трубчатом автоклаве с осаждением из продуктивных растворов и пульпы на макропористые иониты. Насыщенные иониты с золотом отправляются на аффинажные заводы и являются оборотными.

Основными преимуществами предложенного подхода к налаживанию производства титан-циркониевого сырья и попутного золота в реках Европейской части России, с высоким геохимическим фоном золота и платиноидов являются следующие аспекты: а) для добычи используются большие объемы аллювиального материала (пески, ПГС); б) применяются высокопроизводительные действующие земснаряды на основании лицензий на добычу строительных материалов и при ведении дноуглубительных работ выдаваемых местными властями. То есть, нет необходимости приобретения лицензий на добычу золота и внесения авансом гигантских платежей за запасы золота в бюджет государства.

Проект переработки аллювиальных речных песков крупных рек и водохранилищ РФ с получением товарных концентратов циркона, ильменита, рутила и извлечением попутного золота. Современный речной аллювий является основным механизмом переноса материала эрозии и абразии горных пород в природе. С момента поступления материала в водный поток начинается перемещение и абразия первичного материала. По мере удаления от места происхождения уменьшается размерность, увеличивается степень окатанности отдельных частиц, происходит разрушение сростков минералов и образование вторичных минералов, в том числе пелитовой размерности. Часть минеральных частиц крайне неустойчива в водной среде и уже на расстояние от 3 до 30 км от источника сноса не обнаруживаются в материале водных отложений. Твердые и устойчивые минералы наоборот освобождаются от вмещающих пород и концентрируются. Основным материалом речного аллювия это кварц, плотность которого 2,6 г/см³ – его содержание в речных песках, как правило, превышает 60% и достигает 95%. Поэтому всегда его гидравлическая крупность и размерность принимается за единицу. Чем плотнее и тверже минерал, тем его гидравлическая крупность размерность меньше единицы и выражается в долях от единицы. Например, коэффициент гидравлической крупности ильменита (плотность 4,2 г/см³) составляет 0,22; а циркона (плотность 5,6 г/см³) уже 0,07; золота – (19,4 г/см³) 0,0003. Эта пропорция соблюдается при достижении порога прекращения абразивного износа кварцевой частицы в водной среде, он составляет для кварца

0,17–0,19 мм. Наряду с гигантскими объемами кварцевого материала в песках, речной аллювий содержит и чрезвычайно большие объемы устойчивых тяжелых минералов, в том числе мелкого золота, ильменита, рутила, циркона и других. Причем они присутствуют в речном аллювии всегда в объемах определяющих геохимическую специализацию пород области питания водного потока и их содержания крайне редко достигают промышленных кондиций для рудных объектов. Потому обычно говорят о рассеивании полезного компонента в аллювии, а не его концентрировании.

Необходимо отметить, что речные пески и ПГС являются самостоятельными видами минерального сырья и добываются в гигантских масштабах самым дешевым способом гидравлическими земснарядами для различных целей (строительство, углубление фарватера, намыв территорий, укрепление берегов и другие). Расчетный годовой объем добычи попутного золота с песками и ПГС в России в 3–8 раз может превышать его годовой объем производства всей горной промышленностью страны. Еще большие объемы добычи могут быть характерны для попутного циркона (в 4 000–6 000 раз), ильменита и рутила (в 10 000 раз). Для начала необходимо четко ответить на ряд вопросов.

– Насколько технологически возможно извлечение золота, циркона, титановых и других тяжелых минералов из аллювиальных песков и ПГС речного генезиса?

– Возможно ли, организовать комплексную переработку аллювиальных речных песков и ПГС в объемах 3–35 млн. т в год в районе сезонной работы действующих земснарядов типа «Прага» и «Волжский»?

– Какая себестоимость комплексной переработки аллювиальных песков и ПГС речного генезиса на примере Камских водохранилищ, Средней Волги и Средней Печоры?

– Срок окупаемости проекта на 10 млн. т переработки песков и ПГС в этих регионах и требуемые единовременные капитальные вложения в создание производственных мощностей?

Учитывая, что производительность одного земснаряда «Прага» составляет по песку и ПГС на Средней Волги примерно 1200–1600 т/час, а время его работы в сезон навигации может составлять от 2000 до 3500 часов только один земснаряд может добыть 2,4–6,6 млн. т волжского песка в год. Эту горную массу надо погрузить в баржи, доставить к берегу и далее гидравлическими перегружателями они подаются на полигоны обезвоживания. Потом поставляются потребителями, как правило, в естественном состоянии.

При комплексном подходе необходимо волжские пески средней размерности 0,5–0,6 мм подвергнуть классификации на высокочастотных грохотах с полиуретановыми ситами с размером ячеек 0,18–0,22 мм с эффективностью более 85% производительностью до 700 т/час. Надрешетный продукт песок класса +0,18 -0,22 мм не содержит тяжелых минералов и золота и направляется после обезвоживания на склад и в строительство. Мелкая фракция песков подвергается тонкому грохочению на пятидечных грохотах Деррик с полиуретановыми ситами по классу 75–100 мкм производительностью 450 т/час с эффективностью 80% и выше. Надрешетный продукт фракция + 0,075–0,1 – 0,18–0,22 мм содержит ильменит и в минимальных количествах золото, циркон, рутил. Она подвергается перемешке по гравитационно-электромагнитной схеме с получением товарного концентрата ильменита и концентрата тяжелых минералов. Основная масса фракции – это чистые товарные кварцевые пески штукатурного качества. Путем оттирки с ячейкой ЭДА они могут быть доведены до качества стекловидных песков невысоких марок.

Подрешетный продукт содержит основную массу циркона, до 98 % золота и свыше 90–95% исходного рутила и подвергается наиболее сложным операциям выделения товарной продукции

со стадиями доводки и перемешки с обязательной стадией первичной оттирки от пленок и глинистого шлама. Золото выделяется из концентратов минералов узкой фракции с содержанием от 6 до 20 г/т методом интенсивного цианирования в трубчатом автоклаве на подафинажные иониты.

Таким образом, на всех стадиях классификации волжских речных песков удаляется в товарные продукты основная масса кварцевого материала, а ценные минералы титановые и цирконовые, совместно с золотом концентрируются в узких фракциях. В таблице 6 приведена схема перераспределения тяжелых минералов и золота по фракциям в предлагаемом технологическом процессе на примере волжских песков и возможные объемы годового производства товарной продукции в трех регионах Европейской части России.

Фактически технология двух стадийной классификации позволяет получать два технологических типа богатых руд:

– ильменитовые пески со средним содержанием полезного компонента 64–72 кг на тонну с фракционным составом +75 -180 (220) мкм;

– циркон-рутиловые мелкозернистые пески с попутным золотом с содержанием суммы циркона+рутила в пределах 45–66 кг/т во фракции - 75 (100) мкм.

Таблица 6.

Распределение содержаний попутных минералов и золота при классификации среднезернистых волжских песков размерностью 0,5–0,6 мм

Волжские пески		Фракции песка размерностью, мм			Коэффициент концентрирования	
		+0,18 -0,22	+0,075 -0,18	-0,075		
Объем песков	в %	100	60	25	15	1,6; 4
Кварц	в %	100	65	28	7	
Ильменит	кг/т	16–18	нет	64–72	нет	4
	в %	100	0	99,8	0	
Циркон	кг/т	5–7	0	0	33–47	6–7
	в %	100	0	0	100	
Золото	г/т	0,5	0	ед. зн.	3,5–4	6–7
	в %	100	0	0	99–100	
Рутил	кг/т	2–3	0	1	12–19	5,5–7
	в %	100	0	15	85	

Эти техногенные руды, полученные в больших объемах с минимальными затратами из обычного волжского (камского, печорского и др.) песка, как по содержанию в них ильменита, так и по содержанию в них суммы циркона и рутила, да еще с промышленным золотом существенно превосходят руды любого месторождения Госбланса России.

Возможные объемы годового производства товарных концентратов попутных титан-цирковых минералов и золота при переработке в год трех млн. т среднезернистых волжских песков приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Возможные годовые объемы производимых товарных продуктов
из трех млн. т волжских речных песков

Наименование, товарные позиции	Годовой объем производства, тыс. т	Коэффициент извлече- ния – (концентрирова- ние)	Стоимость, млн. \$
Кварцевые пески фракция +0,16 -0,22 мм	1800	0,65 (2 \$/т)	3,6
Кварцевые пески фракция +0,75 -0,18 (0,22) мм	660	0,27 (3 \$/т)	1,96
Итого кварцевых песков	2460	0,82 (2–3 \$/т)	5,56
Концентрата ильменита с содер- жанием TiO ₂ 60%	45–51	0,95 (200 \$/т)	9–10,2
Циркон керамической чистоты с содержанием ZrO ₂ 60%	12–18	0,8 (1200 \$/т)	14,4–21,6
Концентрат рутила, TiO ₂ 95%	4,8–7,2	0,8 (1 600 \$/т)	7,7–12,0
Итого попутных концентратов титана и циркона	61,8–76,2		31,1–43,8
Золото (кг) в смоле ионитов	1200 кг	0,8 (40 000 \$/т)	48,0
Всего, с учетом попутного Au			79,1–91,8

То есть стоимость попутного минерального сырья титана и циркона превышает стоимость кварцевых песков в 6–8 раз, а вместе с Au в 13–15 раз.

Анализ данных материалов позволяет сделать несколько принципиальных выводов в отношении перспектив развития минерально-сырьевой базы титана и циркона в РФ и определить место в этом вопросе аллювиальных песков и ПГС речного генезиса верховьев Камы, Белой, Вятки, Средней Волги и Печоры.

Реализация технологических проектов по комплексной переработке аллювиальных песков и ПГС в бассейнах рек Камы, Белой, Вятки, среднего течения Волги с места впадения Камы и до плотины Куйбышевской ГЭС может определять основные объемы производства концентратов ильменита, рутила, циркона в России начиная с 2018–2020 годов.

Отличительными особенностями данных производств от традиционных месторождений россыпного генезиса прибрежно-морской фации, которые включены в МСБ России по титану и циркону являются:

- гигантские объемы ресурсов аллювиальных песков и ПГС в руслах современных рек и водохранилищ (только на Камском водохранилище более 27 млрд. т);

- возможность быстрой организации добычи высокопроизводительными земснарядами любых объемов аллювиальных песков и ПГС на любом участке акватории и доставки на места переработки самым дешевым и вместительным водным транспортом при минимальных затратах;

- отсутствие в песках и ПГС таких вредных примесей как глауконит, гематит, фосфориты, каолин и бентониты, аутигенный пирит;

- более высокая размерность зерен ильменита, рутила и циркона и их четкая приуроченность к узким фракциям песка, что позволяет простой классификацией получать кондиционные руды и коллективные концентраты минералов тяжелой фракции;

- использование при классификации аллювиальных песков и ПГС грохотов чрезвычайно высокой единичной производительности и эффективности со сроком службы просеивающих сит с полиуретановым покрытием в 1 год и более. В сочетании с плунжерными насосами высокого давления и производительности это позволяет проектировать предприятия на годовую мощность переработки в 10–30 млн. т / год;

- вся кварцевая часть аллювиальных песков и ПГС крупнее 100–75 мкм выделяется в товарную продукцию высокого качества, востребована и может быть доставлена потребителям самым дешевым видом транспорта водным в период навигации как в г. Москву, так в другие города акватории или реализована в регионе;

- резко повышает экономику данных проектов возможность получения попутного золота и платиноидов, рыночная стоимость которых превышает во много раз рыночную стоимость титан-цирконовых минералов. Ликвидность этих позиций даже не обсуждается;

- особо следует отметить экологические и юридические аспекты вопроса. По простоте юридического и правового сопровождения проектов у него нет равных в современном правовом поле по абсолютному большинству показателей в России.

Поскольку работа земснарядов в руслах рек не требует лицензирования. Запреты существуют только в прибрежной части, и касаются предотвращения размыва береговой линии. В случае углубления форватеров территориальная администрация должна будет еще и доплачивать предпринимателю.

Современная технология отработки аллювиальных россыпей. При использовании высокопроизводительных пятидечных грохотов Деррик по двухстадиальной схеме удается классифицировать исходную песчанно-гравийную смесь и выделить более 99% исходного золота, ильменита, рутила, циркона сначала в узкую фракцию песка размерностью минус 0,23:-0,30 мм. Надрешотный продукт используется целиком для производства качественных строительных песков различных фракций. На второй ступени высокопроизводительной классификации на пятидечных грохотах Деррик с размером сит 75 мкм и эффективностью разделения более 85% получается надрешотный продукт, в котором находится основной объем ильменита, алюмосиликатов и частично рутила, и фракция минус 75 мкм, в которой содержится весь циркон, большая часть рутила, основной объем попутного золота и платиноидов. Необходимо отметить, что полученные на первой стадии товарные строительные пески фракции плюс 0,3 или 0,23 мм – это ликвидная позиция и их реализация покрывает полностью затраты на операцию первичной гидравлической классификации.

На этой стадии целесообразно провести очистку поверхности минеральных частиц обеих узких фракций на промышленном высокопроизводительном оборудовании производства ЮАР, дооборудованных модулем ЭДА от пленок и глинистых частиц, с целью повышения контрастности их свойств.

После выделения на барабанных электросепараторах Поваровского завода основной массы ильменита с эффективностью 97–99% непосредственно в товарный концентрат из фракции песков плюс 75 мкм –230:-300 мкм раздельно осуществляется вторая стадия концентрирования гравиметрическими способами. После двухстадиальной очистки на промышленных винтах очищенный кварцевый песок фракции 75–230:-300 мкм направляется в строительство или в стекольную промышленность. Концентрат минералов тяжелой фракции подвергается пересортировке на концентраторах с получением товарных концентратов рутила, алюмосиликатов и промпродукта.

Вторая стадия концентрирования фракции минус 75 мкм осуществляется гравиметрическим

способом с использованием оборудования разрабатанного только в 2006 г. – это винтов FM 1. Особенность этого оборудования – уникальное качество выделения тяжелых минералов из материала размерностью 100–70 мкм (на уровне 90–95%) из пульпы с содержанием твердого до 40%. Это позволяет иметь на выходе концентрат минералов тяжелой фракции с содержанием суммы циркона и рутила на уровне 250–430 кг/т и иметь устойчивый уровень золота из песков Камского водохранилища в 17–28 г/т продуктивного концентрата тяжелых минералов. Данное оборудование имеет производительность от 1 до 4 тонн в час, не содержит подвижных частей и достаточно дешево. Окончательная пересортировка концентрата тяжелых минералов до получения товарного концентрата циркона и рутила производится на концентраторах.

Необходимо отметить, что технология механическо-гравиметрического концентрирования полностью ориентирована по размерности и плотности на попадание в концентрат основных тяжелых минералов с удельным весом более 3,3 г/см³, а не на золото с удельным весом до 19,4 г/см³. На извлечение попутного аллювиального золота и платиноидов могут направляться следующие промпродукты:

1. Отходы концентратора после пересортировки фракции 75 -230:-300 мкм.

2. Вся узкая фракция минус 75 мкм с содержанием золота от 3 до 7 г/т;

3. Раздельно концентрат минералов тяжелой фракции песков минус 75 мкм с содержанием золота 15–21 г/т и отходы обогащения винтов FM-1 с содержанием золота от 0,5 до 2 г/т.

4. Возможно, потребуется и извлечение пленочного золота из глинистого шлама, особенно после оборудования ЮАР с модулем ЭДА щелочного типа, что требует дополнительных исследований. Выщелачивание золота ведут бисульфитным способом при pH 10,4 с регулировкой pH – 10,4 аммиаком в присутствии окислителя хлорного железа 2 г/м³ или пероксиоксида аммония 20 г/т. Процесс ведут в трубчатом автоклаве при соотношении твердое к жидкому 70:30, температуре от 50 до 90оС, времени выщелачивания от 3 до 5 часов. После механического отделения макропористой смолы, обезвоживания пульпы, кеки промывают двукратным объемом оборотного раствора. Сорбцию золота и платиноидов осуществляют на смолу макропористую АВ-17 сначала в пульпе автоклава, а промывные растворы на аппаратах типа БАС также со смолой АВ-17. Эффективность извлечения золота при таком режиме превышает 93–95%. Насыщенная по золоту смола АВ-17 направляется на аффинажные

заводы России и является возвратным материалом. При работе по данной технологии одного земснаряда типа «Праги» на Камском Водохранилище в проектном режиме 4 тыс. м³ пульпы в час, 1200 тонн ПГС, при исходном содержании золота 0,7 г/т с извлечением 0,65 г исходного золота на смолу АВ-17 производство золота составляет 780 г/час при расчетной себестоимости производства 5,3 \$ США за гр. Минимальная производительность при расчетном времени работа земснаряда 3000 часов в год может составлять 2,34 тонн золота в год. При переработке 5 мил. т печорских песков района Цильмы с геохимическим фоном золота порядка 350 мг/т вполне реально получать ежегодно до 1,5 тонн попутного золота и значительные количества титан-циркониевого сырья.

5. Предприятие можно разместить в любом регионе России на берегу судоходных рек и водохранилищ и использовать для доставки минерального сырья и товарной продукции дешевый водный транспорт. Мощность предприятия по переработке ПГС и аллювиальных песков может варьировать от 10 до 35 млн. т в год

6. Предприятие имеет высокую рентабельность за счет попутного золота и платиноидов, короткие сроки окупаемости капитальных вложений и идеально вписывается в рынки по основной продукции, включая строительные и стекольные кварцевые пески и ПГС.

Проектное оформление данного предприятия определяется сезонностью работы земснарядов и необходимостью дополнительной перевалки песка с барж на береговое предприятие располагающее соответствующим высокопроизводительным оборудованием. После поступления с барж песчанно-гравийный материал классифицируется на пятидечных грохотах Деррик производительностью до 650 т/час по классу 0,3 мм (можно и до 0,35 мм). Фракция минус 0,3–0,35 мм поршневыми насосами в виде пульпы влажностью 20–25% направляется на основной цех для комплексной переработки или накапливается в отвале. Основная горная масса перерабатывается на товарные пески и гравий. Основной цех предприятия всегда располагается на значительном удалении от берега до 1–5 км на высоте от 10 до 20 метров от уреза воды и работает в круглогодичном режиме. Минимальным объемом перерабатываемого сырья основного цеха фракции минус 0,3–0,35 мм предприятия определен в 3 млн. т и выше.

Учитывая высокую рентабельность и короткие сроки окупаемости данного проекта имеет смысл провести первые технологические опыты с аллювиальными песками, добываемые в республике Коми в бассейне Печоры в районе поселения Цильмы действующими земснарядами.

Выводы и рекомендации. Опираясь на вышеизложенный материал и факты необходимо констатировать, что все начатые проекты на месторождениях титана в России (Большой Сейим, Лукояновский, Туганский, Центральный ГОКи) даже при выходе на проектную мощность к 2019 г. не закроют потребности внутреннего рынка России ни по объемам, ни тем более по качеству требуемого минеральных концентратов титана.

Единственным решением этой проблемы является строительство 1–2 предприятий по комплексной переработке аллювиальных песков и ПГС в районе рр. Камы-Волги с поэтапным наращиванием объемов переработки добываемых ПГС к 2019 г. до 60–80 млн. т и годовыми объемами производства концентрата рутила в 200 тыс. т и концентрата ильменита в 1 000–1 200 тыс. т.

Объемы производства пористого рутила на основе руд Пижемского месторождения достаточны для позиционирования его в качестве ключевого мирового поставщика производителям литий-титановых батарей нового поколения в ведущих странах мира. Сейчас на эти цели уходит примерно 0,1–0,25% от мирового производство диоксида титана высокой чистоты и пористости. Основной областью использования пористого рутила Пижемского месторождения может стать промышленность России по производству сварочных электродов и электродных масс, а также использование части рутила для повышения пористости брикетов хлораторного типа.

Список литературы

1. Макеев А.Б. Типоморфизм рудных и акцессорных минералов Пижемского титанового месторождения, источник рудного вещества // Минералогия во всем пространстве сего слова. Материалы XI съезда Российского минералогического общества. С.Пб. 2014. – С. 43–45.

2. Макеев А.Б., Дудар В.А., Самарова Г.С., Быховский Л.З., Тигунов Л.П. Пижемское титановое месторождение (Республика Коми) аспекты геологического строения и освоения // Рудник будущего. – 2012. – № 1(9). – С. 16–24.

3. Макеев А.Б., Лютоев В.П. Спектроскопия в технологической минералогии. Минеральный состав концентратов титановых руд Пижемского месторождения (Средний Тиман) // Обогащение руд. – 2015.–№ 5. – С. 33–41. DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/or.2015.05.06>

4. Ткачук А.Н., Новиков А.А., Трофимов Е.Н., Дудар В.А., Макеев А.Б. Проект строительства вертикально-интегрированного горно-металлургического комплекса в Республике Коми на базе Пижемского месторождения титана // Горный журнал. – 2013. – № 9. – С. 67–70.

5. <http://www.acexpert.ru/archive/28-31-519/sire-dlya-titana.html>

6. <http://kop.nnov.ru/projects/project002.asp>
7. <http://www.ilmenite.ru/>
8. <http://www.minsoc.ru/E2-2011-6-0/>
9. mhtml:file:///C:/Users/Мастер/Документы/Вращающиеся печи. mhtml:/wp-content/uploads/2011/03/

10. Лопатко С.В., Макеев А.Б. Проект организации промышленной переработки гидроминерального сырья малоглубинных артезианских питьевых и попутных нефтяных вод на территории Республики Коми // Единый всероссийский научный вестник. – 2016. – № 2. – С.