

создание многопрофильных баз данных и знаний, как основы новой информационной геологической среды;

преодоление авторского субъективизма через механизмы многовариантности и системного подхода;

отказ от статических систем представления геолого-минералогических данных и переход к динамическим через механизмы автоматизированного построения общих, региональных и местных шкал, а также схем межсерийной корреляции;

повышение достоверности и надежности получаемых результатов за счет использования различных методов анализа и селекции данных;

переход на модельные и инструментальные абстракции при работе с данными, что создает принципиально иные возможности их представления в объектных геологических моделях;

отказ от жестких информационных стандартов с предоставлением пользователю возможности работы в привычной для него лексической среде и документальном интерфейсе;

обеспечение жесткого контроля и управление занесением в базы информативно неклассифицированных геологических данных и знаний через механизмы пользовательского интерфейса;

возможность работы с огромными массивами текстовых данных;

автоматизированное построение и актуализация серийных легенд любой сложности;

простота в освоении и доступность в приобретении ПМО Комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсеньев Б.П., Яковлев С.А. Интеграция распределенных баз данных. — СПб.: ЛАНЬ, 2001. — 462 с.
2. Арсеньев Б.П. Класс лексических моделей знаний как интеграционная основа распределенных баз данных информационных технологий / Региональная информатика — 98: Тезисы докл. VI междунар. конф. Ч. 1. — СПб.: СПОИСУ, 1998. — С. 21–22.
3. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. — М.: Бином, СПб.: Невский диалект, 1998. — 560 с.
4. Карпузов А.Ф., Карпузова Н.У., Арсеньев Б.П. Объектное моделирование и технология построения серийных геологических легенд. — М.: Геоинформмарк, 2001. — Вып. 3. — 77 с.
5. Карпузов А.Ф., Карпузова Н.У., Арсеньев Б.П., Степанов Д.Н. Автоматизированное построение серийных легенд на базе технологии GTR. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. — 126 с.
6. Карпузова Н.У., Арсеньев Б.П. Роль и место серийных легенд в отечественной картографии / Состояние и перспективы развития Государственного геологического картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000: Тезисы докл. СПб междунар. конф., 2015.
7. Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Арсеньев Б.П. и др. Проект справочно-информационной системы по геологии и ресурсам российского сектора Балтийского моря и его береговой зоны // Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение), 2008. — Т. 7. — Ч. 1.
8. Мэтью Мак Дональд, Адам Фримен, Марио Шпуста. Microsoft ASP.NET 4 с примерами на C# 2010. Москва-Санкт-Петербург-Киев: Изд-во Вильямс, 2011. — 1418 с.
9. Ник Рендольф, Дэвид Гарднер, Майкл Минутилло, Крис Андерсон. Visual Studio 2010 для профессионалов. Москва-Санкт-Петербург-Киев: Изд-во Диалектика, 2011. — 1177 с.

© Арсеньев Б.П., Карпузова Н.У., 2016

Арсеньев Борис Павлович // abp51@yandex.ru
Карпузова Найля Умяровна // karpuzova@mail.ru

Спорыхина Л.В.¹, Васильев А.Т.², Быховский Л.З.¹,
Кривоконева Г.К.¹, Мельникова А.В.¹,
Петкевич-Сочнов Д.Г.¹ (1 — ФГУП «ВИМС»,
2 — АО «Кольцовгеология»)

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РУДНЫХ ПЕСКОВ ТИТАНОНОСНЫХ (ТИТАНОСодержащих) РОССЫПЕЙ

*Рассмотрены методы опробования титаноносных россыпных месторождений. Проанализированы причины занижения оценки качества рудных песков в процессе геологоразведочных работ (бурение, отбор проб, их обработка и обогащение, изучение вещественного состава). Рекомендован комплекс мероприятий, способствующий повышению качества оценки рудных песков. **Ключевые слова:** россыпи титана и циркония, опробование, аналитика, качество.*

Sporykhina L.V.¹, Vasilev A.T.², Bykhovskiy L.Z.¹, Krivokoneva G.K.¹,
Melnikova A.V.¹, Petkevich-Sochnov D.G.¹ (1 — VIMS,
2 — Koltsovgeologia)

TO THE QUESTION OF THE QUALITY ESTIMATION OF TITANIUM-BEARING SANDS PLACER DEPOSITS

*Reviewed the methods of sampling of titanium-bearing sands placer deposits. The causes of underestimation of ore quality during the process of the exploration (drilling, sampling, testing, studding) have been analyzed. Recommended the a set of activities for improvement the quality of ore sands estimation. **Key words:** titanium and zirconium-bearing placer deposits, sampling, analysis, quality.*

Титаноносные россыпи — большая и весьма распространенная группа россыпных месторождений, разнообразных по минеральному составу, генезису, характеру связи с источниками питания и возрасту. Среди них по минеральному составу выделяются собственно титановые (россыпи ближнего сноса), содержащие среди полезных почти исключительно титановые минералы — ильменит, титаномагнетит, рутил, анатаз и комплексные титано-циркониевые россыпные месторождения прибрежно-морского происхождения [1, 2, 10].

Генетическая приуроченность титаноциркониевых россыпных концентраций к тонкозернистым осадкам в первую очередь обусловила специфику их поисков, изучения и отработки.

Опробование — важнейший вид геологоразведочных работ, который производится с целью определения качества россыпных концентраций [12]. Методически правильно проведенное опробование — залог максимально достоверной оценки изучаемого объекта. Опробование состоит из собственно отбора пробы исходного потенциально продуктивного природного материала и комплекса операций по исследованию этого материала с целью вычленения из общей массы пробы полезных компонентов с определением их состава, качества и количества. Отбор проб производится по «сетке», плотность которой предопределяется стадией проводимых работ, но во всех случаях опробование россыпных

концентраций должно охватывать полностью всю мощность потенциально рудоносных пород. Теоретически отбор проб должен проводиться равными интервалами в пределах единых (однообразных) литологических толщ, границы которых в разрезе должны обязательно фиксироваться опробованием. Однако в природе однообразных литологических толщ, как правило, не бывает. В них всегда есть элементы неоднородности внутреннего строения: текстурно-структурные, включения, разные окраски, дифференцированные значения геоэлектрического разреза (данные гамма-каротажа, КС, КМВ), промера керна и др. Все эти неоднородности обязательно должны учитываться в соответствии с требованиями ГКЗ, секционным рядовым опробованием. Главное условие качественного отбора проб — учет неоднородности внутреннего строения продуктивной толщи. По опыту работ интервал опробования не должен превышать 1,0 м, в редких случаях однородного строения — до 1,5 м. При этом в граничной зоне россыпи необходимо уменьшение длины секции, как минимум в 2 раза, т.е. до 0,5 м. Важно еще одно условие — 100 % подъем керна. Потеря 5–10 см слойкового интервала черного шлиха из однометрового рейса может вывести скважину в ранг забортной (законтурной) значимости.

В зависимости от целей и стадии работ выделяют рядовое (геологическое), специальное и технологическое опробование. Рядовое опробование проводится на всех стадиях геологоразведочных работ для выявления и определения содержания полезных компонентов. Данные рядового опробования служат исходным материалом для оконтуривания рудных тел и подсчета запасов месторождения. Специальное (техническое) опробование проводится при необходимости в дополнение к рядовому для изучения различных свойств вмещающих отложений, влияющих на определение средних содержаний в пробах полезных компонентов, технологию добычи и переработки песков (определение коэффициента разрыхления, фракционного состава, физико-механических свойств, объемной массы и др.). Самостоятельный вид представляет собой технологическое опробование, осуществляемое для выявления технологических свойств песков, выделения и оценки пространственного размещения технологических типов руд и разработки оптимальной схемы их обогащения. В процессе геолого-технологического опробования проводятся те же операции, что и при рядовом опробовании, однако плотность сети опробуемых выработок определяется не строго стадией геологоразведочных работ, а параметрами изучаемой площади, сложностью геологического строения месторождения, особенностями вещественного состава продуктивных отложений, т.е. индивидуально для каждого месторождения.

Выбор методики опробования всех россыпных месторождений, как известно, зависит от гранулярного состава полезного компонента и вмещающих отложений, минерального состава и формы нахождения полезного компонента, а также от уровня его содержания в исходных породах. Эти свойства (параметры) россыпных месторождений определяют выбор схем опробова-

ния потенциально продуктивных отложений, способы обработки отобранных проб и комплексацию необходимых аналитических методов.

В настоящей статье предпринята попытка рассмотреть особенности изучения качества песков наиболее масштабных и распространенных типов титаноносных россыпей, а именно титаноциркониевых аллохтонных прибрежно-морских месторождений, с которыми в мире связаны самые крупные запасы и прогнозные ресурсы.

Как известно, в нашей стране все наиболее значительные титаноносные прибрежно-морские россыпи являются погребенными и связаны с мелкозернистыми и тонкозернистыми осадками. Тяжелая фракция (рудные минералы) всех разведанных и учтенных россыпей концентрируется в гранулометрических классах от 0,044 до 0,2 мм, а в некоторых месторождениях достаточно высокие содержания полезных минералов отмечаются в более мелких классах — 0,044 + 0,020 мм. Такая особенность гранулярного состава обуславливает опасность больших потерь полезных компонентов россыпей уже на стадии обработки продуктивного материала в ходе опробования, что грозит месторождению потерей качества в связи с неполным извлечением полезного компонента и более низким содержанием рудных минералов и соответственно полезных компонентов по сравнению с реально существующим.

Следующая особенность титаноциркониевых россыпей, которая может являться причиной занижения их качества при опробовании — сравнительно невысокая плотность россыпеобразующих минералов, колеблющаяся в пределах 3,8–4,3 г/см³. Наконец, особенностью минерального состава тяжелой фракции этих россыпей является разнообразие рудных минералов титана, представленных совокупностью первичных и вторичных минеральных образований. Первичные минералы — ильменит, рутил, анатаз, иногда брукит, сфен, вторичные — развивающийся по ильмениту псевдорутил (оксид титана и трехвалентного железа), а также микроагрегаты рутила, анатаза, брукита вторичного происхождения с примесью нерудных минералов (кварца, силикатов, оксидов и гидроксидов железа), называемые лейкоксеном. Все эти моно- и полиминеральные образования обладают различными физико-химическими свойствами и по-разному ведут себя в процессе обогащения руды. Следует также отметить, что некоторые разновидности титановых минералов практически не диагностируются традиционными оптико-минералогическими методами. Из-за перечисленных особенностей минерального состава потери именно титана оказываются наиболее существенными по сравнению, например, с цирконием, который в россыпях связан практически только с одним минералом — цирконом.

Для оценки качества комплексных титаноциркониевых россыпей традиционно используется *шлихо-минералогический метод*.

Практика использования этого метода базируется на шлиховом опробовании исходного материала с получением черного шлиха и минералогическим анализом

последнего. Эта методика, рекомендованная ГКЗ при разведке россыпных месторождений (МР ГКЗ), включает в себя следующие основные операции [4, 7]:

1. Отбор проб рудоносных существенно песчаных образований, часто со значительной илисто-глинистой составляющей (из зерна скважин, горных выработок, естественных обнажений и т. п.), с замером объема отобранной пробы.

2. Отмучивание пробы от глинистых минералов (обесшламливание) и получение зернистого (песчаного) материала пробы.

3. Гравитационное обогащение песчаной части пробы с получением тяжелого концентрата рудных минералов (серого) шлиха с примесью определенного количества минералов легкой фракции и отвальных хвостов.

4. Расслоение в тяжелых жидкостях для максимального извлечения фракции плотностью более $2,9 \text{ г/см}^3$ и получения черного шлиха — коллективного концентрата.

5. Минералогический анализ шлиха-концентрата с предварительным разделением его на классы крупности, электромагнитной и электростатической сепарацией классов для получения мономинеральных продуктов.

6. Пересчеты результатов анализов классов и шлиха на содержание рудных минералов в целом на пробу (кг/м^3) песков.

1. Основные причины искажения результатов опробования

Вопрос о недостоверности определения содержаний титановых минералов в россыпях и, соответственно, о несовершенстве шлихоминералогического метода опробования неоднократно поднимался в геологической литературе на протяжении многих лет. По существующей методике обработка и анализ каждой рядовой разведочной пробы, количество которых по любому россыпному месторождению исчисляется тысячами, а нередко и десятками тысяч штук, представляет собой довольно сложный, длительный и трудоемкий технологический процесс. Практически на всех этапах этого процесса — отбор проб, их первичная обработка, определение минерального состава, содержания полезных компонентов и извлекаемых минералов — возможны ошибки как субъективные, так и связанные с объективными факторами, но в любом случае приводящие к искажению содержания полезных минералов и, прежде всего, — занижению количества титаносодержащих минералов в потенциальной руде.

Количественное определение минерального состава продуктивных титаносодержащих прибрежно-морских россыпей является довольно сложной задачей. Поскольку доля рудных минералов в этих россыпях обычно составляет не более 2–3 %, для оценки содержания рудных минералов выделяют тяжелую фракцию, по выходу которой и результатам количественного минералогического анализа оценивают содержание рудных минералов и сопутствующих минералов в песках.

Потери тяжелых минералов при отборе проб могут быть связаны с недостаточной точностью определения

объема пробы, подготовленной для аналитических исследований. Как правило, на титаноциркониевых россыпях возможно получение достаточно высокого выхода зерна (98–100 %), что обусловлено их локализацией в сравнительно однородных, плотных, в разной мере увлажненных песчаных отложениях. Вместе с тем выход зерна зависит от применяемых технологических средств, технологии бурения, опыта буровой бригады и других объективных и субъективных факторов. Для получения приемлемых результатов требуется проводить жесткий геологический контроль качества отбора проб. Практика показывает, что, например, при ошибке в оценке объема анализируемой пробы даже в 100 см^3 ошибка в определении содержания ильменита (кг/м^3) по данным минералогического анализа о содержании этого минерала в шлихе может достигать $\pm 5 \%$ и более.

Потери при первичной пробоподготовке. При отмучивании проб с целью удаления глинистой составляющей (шламов) не учитываемые потери минералов титановой группы связаны с их относительно невысокой плотностью, которая при наличии в рудных минералах включений кварца или присутствии сростков с менее плотными минералами еще более уменьшается. Тонкозернистые и дисперсные «облегченные» рудные минералы титановой группы массово уходят в смыв, тем самым содержание полезных минералов снижается. Поэтому при проведении обесшламливания проб важно следить за созданием оптимального режима обводнения исходных песков, исключая излишне активный смыв и потерю металла, заключенного в тонких и мелких фракциях.

Потери при гравитационном обогащении. При разделении зернистой части пробы, полученной после обесшламливания, на черновой коллективный концентрат и отвальные хвосты гравитации в отвал уходят мелкозернистые фракции полезных компонентов, а также сростки их с нерудными минералами, теряемые с более крупными надрешетными классами. Максимальное улавливание минералов тяжелой фракции обеспечивается многократной перечисткой отвальных хвостов. Опыт показывает, что основное количество потерь титановых минералов происходит при механической обработке проб со сливами при отмучивании и с хвостами гравитации. Эта тенденция хорошо видна при сравнении гранулярных составов исходных песков и ильменитов одних и тех же проб, обработанных в полевых условиях ГРП и в стационарных технологических лабораториях, оснащенных соответствующим оборудованием (табл. 1).

Приведенные результаты свидетельствуют, что при промывке проб исходных песков в полевых условиях (данные ГИРЕДМЕТ МЦМ, 1977) тонкие фракции (мельче 70 мкм) сохраняются в большем количестве по сравнению с результатами лабораторной обработки, где обесшламливание ведется на ситах $-0,071 + 0,044 \text{ мм}$. Учитывая, что до 60–80 % титаносодержащих минералов в ряде известных комплексных месторождений концентрируются именно в этих классах крупности, в процессе обесшламливания в таком режиме возможны большие потери рудных минералов [4].

Таблица 1

Гранулярный состав исходных песков и ильменитовых фракций в технологических пробах по данным ГРП и технологической лаборатории [4]

Классы, мм	Выход классов, %							
	Проба 1		Проба 2		Проба 3		Проба 4	
	ГРП	Лаборатория	ГРП	Лаборатория	ГРП	Лаборатория	ГРП	Лаборатория
Исходные пески								
>0,07	45,1	69,1	81,0	92,4	70,9	84,5	39,9	54,2
<0,07	54,9	30,9	19,0	7,6	29,1	15,5	60,1	45,8
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100
Ильмениты								
>0,10	91,63	88,65	94,76	90,16	84,23	82,26	84,30	62,75
<0,10	8,37	11,35	5,24	9,84	15,77	17,76	5,70	37,25
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100
>0,28	84,3	80,4	69,8	57,4	65,7	36,1	88,3	76,8
<0,28	15,7	19,6	30,2	42,6	34,3	63,9	11,7	23,2
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 2

Главные рудообразующие минералы титана в титаноциркониевых песках Ставрополя

Первичные минералы		Вторичные минералы	
Минерал	Форма выделения	Минерал	Форма выделения
Ильменит	Индивидуальные кристаллические зерна	Псевдорутил	Псевдоморфозы по ильмениту
	Сростки с рутилом		
	Реликты в псевдорутитовых псевдоморфозах		
		Гидратированный псевдорутил	Развивается по псевдорутилу
Рутил	Индивидуальные кристаллические зерна	Рутил	Микроагрегат в составе лейкоксена
	Сростки с ильменитом и псевдорутитизированным ильменитом		
Анализ	Индивидуальные кристаллические зерна	Анализ	Микроагрегат в составе лейкоксена

Гранулярный состав ильменита одних и тех же проб, обработанных в разных условиях, также количественно отличается. При получении черного шлиха выход более крупного ильменита выше при полевой обработке, а тонко- и мелкозернистого (преобладающего в титаноциркониевых россыпях) — больше при обогащении проб в условиях стационарной лаборатории. Наибольших значений разница (50–150 %) достигает в классе тонкозернистого ильменита (менее 0,1 мм), несколько меньше (4–30 %) разница для мелкозернистых разновидностей. Приведенные цифры фактически отражают величину потерь тонкого и мелкого рудного материала при недостаточном высоком качестве первичной обработки и обогащении продуктивных титаносодержащих песков. Кроме потери минералов тонких и мелких классов происходит искажение гранулярного состава рудных минералов, что оказывает серьезное отрицательное влияние на промышленную оценку месторождения и на технологические показатели обогащения.

Потери минералов при минералогическом анализе шлихов и концентратов. Для оценки содержания полезных и попутных минералов в титаноциркониевых песках на протяжении всей истории их изучения традиционно применяется оптико-минералогический анализ шлихов. Однако по объективным причинам этот метод имеет серьезные ограничения в диагностике и количественной оценке рудных минералов титана, список которых с указанием их форм выделения приведен в табл. 2.

Главным недостатком метода является невозможность идентификации псевдорутита — высокодисперсного продукта гипергенного изменения ильменита, развивающегося по ильмениту с образованием псевдоморфоз. Ограничивающими факторами являются недостаточная разрешающая способность оптической микроскопии для анализа высокодисперсных образований и весьма близкое сходство оптических свойств псевдорутита и ильменита. Визуально (невооруженным глазом и под бинокулярным микроскопом) зерна частичных и полных псевдоморфоз псевдорутита по ильмениту не отличаются от зерен неизмененного ильменита, в результате чего оптико-минералогическим методом и те и другие в совокупности диагностируются как «ильменит» (в лучшем случае подразделяются на неизмененный и измененный ильменит).

Принимая во внимание значительную разницу в содержании TiO_2 в ильмените (50–54 %) и псевдорутите (60–64 %), нетрудно видеть, что при расчете содержания титана в россыпи по данным минералогического анализа можно получить существенно заниженные значения, если

при расчете опираться на содержание титана именно в ильмените (табл. 3). Этой ошибки можно избежать, предварительно определив химическим методом истинное содержание титана в «ильмените», иденти-

Таблица 3

Содержание TiO_2 в пробах различных месторождений по данным химических и минералогических анализов [4]

Месторождение	Содержания TiO_2 , %	
	по прямому химанализу	по пересчету минералогического анализа
В Восточном Казахстане:		
проба № 1	2,1	1,7
проба № 2	1,51	0,56
В Европейской части России		
проба № 1	1,4	0,8
проба № 2	3,2	0,9

фицированным методом оптико-минералогического анализа.

Невозможность дифференцированной диагностики и оценки количественного соотношения ильменита и псевдуртила, ориентация исключительно на ильменит препятствуют выбору наиболее благоприятного режима (электро) магнитной сепарации для получения товарного «ильменитового» концентрата с максимально возможным содержанием титана, т.е. являются причиной потерь титана в процессе обогащения руды. Это связано с тем, что для извлечения более богатого титаном псевдуртила, обладающего слабой магнитной восприимчивостью, требуются магнитные поля с более высокой напряженностью, чем для извлечения ильменита.

Рутил и анатаз находятся в титаноциркониевых песках в виде терригенного материала и вторичных продуктов. Последние совместно с кварцем и силикатными минералами образуют характерные плотные тонкодисперсные агрегаты, называемые лейкоксеном. Зерна лейкоксена уверенно диагностируются и количественно оцениваются оптико-минералогическим методом, но определение минерального состава этих гетерогенных образований, оценка массовой доли содержащихся в них рутила и анатаза оказываются за пределами возможностей метода. Следует иметь в виду, что минеральный состав лейкоксеновых концентратов отличается от минерального состава собственно лейкоксена, т.к. в зависимости от технологии получения в концентрат поступают в том или ином количестве псевдуртил и гидратированный псевдуртил.

Все вторичные минералы титана (минеральные фазы) в тонкозернистых титаноциркониевых песках невозможно диагностировать и количественно оценить оптико-минералогическим методом. Еще одним источником «потерь» минералов при оптико-минералогическом анализе шлихов и концентратов являются субъективные ошибки, вызванные трудностью диагностики минералов в тонкозернистых песках вследствие слишком малого размера зерен, их сильной окатанности, затертости поверхностей. Подобные ошибки особенно нежелательны по отношению к полезным минералам и минералам-носителям вредных примесей, определяющим качество рудных песков. Но, как показала практика, наиболее распространенными ошибками оптико-минералогического анализа титаноциркониевых россыпей является пропуск именно таких минералов: хромшпинелей (принимаются за ильменит), монацита.

Отмеченные ограничения и мешающие факторы делают оптико-минералогический анализ на современном этапе знаний о вещественном составе титаноциркониевых россыпей недостаточно корректным для применения в целях подсчета запасов этих руд.

Именно к такому выводу привели и результаты проведенного нами исследования минерального состава черных шлихов из тонкозернистых титаноциркониевых песков Бешпагирского месторождения [5]. Потери тяжелых минералов, которые происходят на этапах отбора проб в поле, первичной пробоподготовки, гравитационного обогащения, можно минимизировать,

добиваясь строгого выполнения технологических инструкций при отборе и определении массы и объема проб, подборе оптимального режима обесшламливания исходного материала, использовании многократной перемычки хвостов при гравитационном обогащении. Исключить аналитические потери рудных минералов и занижение содержания металлов в пробах и концентратах при минералогических исследованиях — задача значительно более сложная: требуется изменение методики анализа, привлечение более высокоразрешающих методов.

2. Химико-технологический метод опробования титаносодержащих россыпей

Еще во времена существования СССР в связи с недостатками существующей оптико-минералогической методики количественной и качественной оценки продуктивных отложений рассматривалась возможность перейти на химический способ опробования титаносодержащих россыпей, определяя в каждой разведочной выработке общее содержание диоксида титана. В 1980 г. Л.Б. Зубков и Л.Б. Чистов [3] предлагали заменить шлихо-минералогическое опробование титаносодержащих россыпей химическим опробованием с минералогическим изучением руд по отдельным участкам (блокам) для определения по каждому из них баланса распределения титана по минералам, среднего содержания двуокиси титана в ильмените и объемного веса руды.

Для вычисления содержания ильменита в кг/м^3 по результатам химического анализа проб на двуокись титана и минералогических исследований ими была предложена следующая формула:

$$C_1 = \frac{C_2 \times \varepsilon_{\text{Ti}} \times 10 \times d}{C_3} \quad (1),$$

где C_1 — определяемое содержание ильменита в пробе руды (кг/м^3); C_2 — общее (валовое) содержание TiO_2 в пробе по данным химанализа (%); C_3 — содержание TiO_2 в ильмените данного участка или блока (%); ε_{Ti} — количество TiO_2 , связанное с ильменитом (%); d — объемный вес руды (т/м^3); 10 — коэффициент перевода процентных содержаний ильменита на содержание в кг/т .

Значения параметров C_3 , ε_{Ti} , d определяются для каждого блока (участка) по данным технологического опробования, как усредненное по нескольким определениям и являются неизменными для каждого отдельного блока (участка):

$$K = \frac{\varepsilon_{\text{Ti}} \times 10 \times d}{C_3} \quad (2),$$

Коэффициент K является постоянной величиной для каждого конкретного блока, учитывающей количество титана, связанное с ильменитом, содержание TiO_2 в ильмените и объемный вес руды.

Соответственно формулу (1) можно представить в виде:

$$C_1 = K \times C_2 \quad (3).$$

При этом подсчет запасов по каждому блоку может производиться либо по титану, либо по вычисленным содержаниям ильменита в кг/м³.

Предлагаемый химико-технологический метод опробования россыпей с применением коэффициента более достоверный и экономичный, чем существующие методы. Внедрение его в практику геологоразведочных работ могло, по мнению авторов, значительно ускорить разведку и оценку месторождений цветных и редких металлов, увеличить достоверность определяемых содержаний и запасов металлов и дать большой технико-экономический эффект. Однако этот метод рассматривался применительно к собственно ильменитовым россыпям, где был практически единственный носитель диоксида титана — ильменит и не может быть рекомендован для широкого использования на титаноциркониевых россыпях с разнообразным набором титансодержащих минералов. Кроме того, по предлагаемой технологии определяется валовое содержание титана в песках и соответственно запасы в недрах, в то время как практический интерес представляют извлекаемые запасы полезных рудных минералов.

3. Эффективные методы оценки минерального состава россыпей и определения качества концентратов

Решающую роль в расшифровке продуктов гипергенного изменения ильменита в россыпях сыграли методы рентгеноструктурного и рентгенографического анализов, микронзондового исследования, а также магнитометрии, мессбауэровской и инфракрасной спектроскопии, электронной микроскопии.

Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА). Возможность дифференцированной диагностики ильменита и псевдорутила, а также вторичных диоксидов титана (рутила, анатаза, брукита) рентгенографическим методом при одновременной надежной идентификации сопутствующих минералов инициировала применение РКФА для оценки минерального состава «ильменитовых» концентратов [14, 15] и черных шлихов [11]. Важно отметить, что метод РКФА в состоянии обеспечить количественные определения на уровне III категории точности, необходимой для подсчета запасов руд.

Рентгенографический количественный фазовый анализ по существу является единственным методом, позволяющим определять содержание неизмененного ильменита и замещающего его псевдорутила независимо друг от друга [5]. Присутствие рентгеноаморфной составляющей (аморфного или ультравысокодисперсного вещества), в частности гидратированного псевдорутила, устанавливается по дефициту суммы кристаллических фаз. Ограничением служит довольно высокий порог обнаружения кристаллических минеральных фаз (преимущественно от 0,5 до 2 %).

Методика полного рентгенографического количественного фазового анализа черных шлихов из титаноциркониевых песков, пригодная и для анализа концентратов, впервые разработана в ВИМСе в 1995 г. на материале шлиховых проб Бешпагирского месторождения [8]. Позднее в 2005 г. она была уточнена и актуализирована в соответствии с новыми техническими возмож-

ностями метода (Инструкция НСОММИ № 54) [9]. Эта методика легла в основу создания аналитической базы для подсчета запасов Бешпагирского, а позднее — Камбулатского и Константиновского титаноциркониевых месторождений. Запасы этих месторождений утверждены ГКЗ и поставлены на государственный баланс. Опыт внедрения разработанной методики на месторождениях титаноциркониевых песков показал, что в зависимости от тех или иных особенностей вещественного состава анализируемых руд алгоритм РКФА нуждается в уточнении. Это означает, что для каждого нового геологического объекта на этапе, предшествующем массовым определениям минерального состава рудной фракции песков, необходимо провести пробные испытания, которые либо подтвердят корректность ранее разработанного алгоритма анализа, либо потребуют его уточнения применительно к особенностям вещественного состава песков данного объекта. Например, для песков Камбулатского и Константиновского месторождений потребовалось внести изменения в способ количественного определения псевдорутила в связи с мешающим влиянием повышенных содержаний гидратированного псевдорутила в рудах, а для песков Восточного участка Центрального месторождения — изменения в алгоритм расчета содержаний эпидота, турмалина, гранатов в связи с повышенным содержанием последних. Соответствующие методические коррективы оформлены в виде Дополнений к Инструкции НСОММИ № 54. Затраты на адаптацию методики окупаются точностью получаемых аналитических данных.

Правильность определения минерального состава анализируемых проб методом РКФА контролируют посредством сравнения расчетных содержаний TiO₂, ZrO₂, SiO₂ и некоторых других компонентов (например, P₂O₅, Cr₂O₃) с данными химического анализа. Расчет содержаний химических компонентов в пробе по результатам РКФА производят на основе микрорентгеноспектральных данных о химическом составе минералов, т.к. в отличие от оптико-минералогического анализа методом РКФА определяется массовая доля чистой минеральной фазы. Отсутствие значимых систематических расхождений между расчетными и измеренными содержаниями указанных компонентов, соответствие относительного СКО допустимой погрешности для фазовых анализов III категории точности свидетельствуют о правильности результатов РКФА (табл. 4). Методом РКФА в анализируемой пробе определяется суммарное содержание каждой минеральной фазы во всех ее формах выделения (индивидуальные зерна, сростки с другими минералами, полиминеральные микроагрегаты, включения в других минералах), что является в некоторой степени недостатком метода. Однако информация о формах локализации минеральных фаз может быть получена с помощью методов микронзондового исследования.

Как показала практика проведения подсчета запасов титаноциркониевых россыпных месторождений, выполненная в течение последнего десятилетия, метод РКФА в настоящее время является практически единственным, позволяющим не только определять

Таблица 4

Содержания ZrO_2 , TiO_2 и SiO_2 в пробах черных шлихов из Камбулатской и Константиновской россыпей, рассчитанные по данным РКФА и микрорентгеноспектрального анализа, в сравнении с данными химического анализа

№ п/п	Содержание химических компонентов, %					
	ZrO_2		TiO_2		SiO_2	
	РКФА	Хим.ан.	РКФА	Хим.ан.	РКФА	Хим.ан.
1	5,4	5,2	44,7	44,5	12,0	14,3
2	5,7	5,4	41,0	43,0	12,1	11,6
3	8,7	8,9	42,2	42,3	12,1	11,1
4	9,4	9,8	39,4	40,0	14,2	15,3
5	8,4	7,1	39,6	39,8	15,9	15,5
6	10,8	11,0	37,8	39,6	13,2	14,7
7	11,1	13,2	37,0	39,5	14,6	12,2
8	12,4	14,9	41,9	38,4	12,5	14,4
9	9,7	10,2	37,9	38,6	16,2	17,0
10	9,3	9,3	38,2	38,2	15,4	15,5
11	3,5	3,7	37,3	38,7	15,7	16,7
12	8,0	8,5	38,8	37,0	14,6	15,1
13	6,0	5,8	33,4	37,0	18,8	17,7
14	8,5	8,6	36,1	36,7	15,1	15,2
15	3,7	3,4	35,6	36,1	18,3	17,6

на количественном уровне минеральный состав тяжелой фракции титаноциркониевых песков прибрежно-морских россыпей, но и получить достоверную информацию об уровне гипергенного преобразования минералов ильменитовой группы, что весьма важно для оценки качества минерального сырья с позиции промышленного использования [13]. В комплексе с предварительным микрозондовым исследованием рудной фракции россыпей метод РКФА позволяет прогнозировать качество потенциальных концентратов и способствует выбору оптимального технологического режима их получения [6].

Методы определения химического состава черных шлихов и концентратов. В последние годы с целью экспрессного определения содержания полезных и вредных химических компонентов в титаноциркониевых песках и продуктах их обогащения методы классического химического анализа заменяют инструментальными методами элементного анализа. Наиболее популярным является метод рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. Однако получить этим методом надежные данные о содержании в пробах TiO_2 и ZrO_2 можно лишь после построения поинтервальных калибровочных графиков на основе данных химического анализа с целью учета матричного эффекта. Как показывает практика, в отношении ZrO_2 эта задача решается более успешно, чем для TiO_2 . Для определения содержаний TiO_2 , а также SiO_2 (с целью контроля правильности результатов РКФА) предпочтителен атомно-эмиссионный анализ с индукционно связанной плазмой. Первостепенной задачей для преодоления отмеченных методических ограничений и трудностей является создание стандартных образцов химического состава (СОС) и стандартных образцов фазового

состава (СОФС) тяжелой фракции титаноциркониевых песков и концентратов.

В заключение подчеркнем, что только методически правильный отбор проб и их последующая обработка с применением современных методов минералогического анализа позволит получить наиболее достоверную оценку запасов рудных песков и их качества для последующей оценки возможности использования в виде промышленного сырья. На этих характеристиках песков базируется и выбор оптимального технологического варианта их переработки с получением товарной продукции — кондиционных концентратов наиболее высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов В.А., Короленко Н.В. Минеральное сырье. Титан / Справочник — М.: Геоинформмарк, 1998. — 49 с.
2. Гурвич С.И., Казаринов Л.Н., Хмара Н.В. Древние редкометалльно-титановые россыпи, методы их поисков и оценки. — М.: Недра, 1964.
3. Зубков Л.Б., Чистов Л.Б. О методике опробования титановых россыпей // Научные труды ГИРЕДМЕТ. — М., 1980.
4. Зуев В.Н., Чистов Л.Б., Зубков Л.Б., Комаров О.К. О необходимости замены методики опробования и оценки запасов титана в россыпях. Древние и погребенные россыпи СССР. Ч. 2. — Киев: Наукова думка, 1977. — С. 186–192.
5. Кривоконова Г.К., Васильев А.Т. Использование рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА) для подсчета запасов рудных минералов титаноциркониевых песков Бешпагирского месторождения / Титаноциркониевые месторождения России и перспективы их освоения: Матер. совещания. — М.: ИГЕМ РАН, 2006. — С. 29–32.
6. Кривоконова Г.К., Чистякова Н.И. Минералогический прогноз обогатимости титано-циркониевых россыпных руд и качества потенциальной товарной продукции / Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: Матер. междунар. совещания «Плаксинские чтения-2012». — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. — С. 89–92.
7. Методические рекомендации по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых к россыпным месторождениям. — М.: ГКЗ, 2007. — 74 с.
8. Полный количественный рентгенографический анализ (РКФА) черных шлихов из руд Ti-Zr россыпей (на примере Бешпагирского месторождения). Инструкция № 40 НСОММИ. — М.: ВИМС, 1995.
9. Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) черных шлихов из рудных (Ti-Zr) песков (на примере Бешпагирского месторождения). Инструкция № 54 НСОММИ. — М.: ВИМС, 2005. — 19 с.
10. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. — М.: Научный мир. 1997. — С. 308–352.
11. Сидоренко Г.А., Яшунский Ю.В., Коленкина Т.В. и др. Эффективная методика определения качества рудных песков титаноциркониевых россыпей // Разведка и охрана недр. — 1997. — № 3. — С. 13–18.
12. Тренирование к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. — М.: ГКЗ, 1992. — 26 с.
13. Чистов Л.Б., Комаров О.К., Доронин Н.А. Влияние степени лейкоксенизации ильменита на технологию переработки ильменитовых концентратов. Древние и погребенные россыпи СССР. Ч. 2. — Киев: Наукова думка, 1977. — С. 192–194.
14. Frost, M.T., Grey, I.E., Harrowfield, I.R., Li, C. Alteration profiles and impurity element distribution in magnetic fractions of weathered ilmenite // Amer. Mineral., 1986. — Vol. 71. — P. 167–175.
15. Wort, M.J., Jones, M.P. X-ray diffraction and magnetic studies of altered ilmenite and pseudorutile // Mineral. Magazine, 1980. — Vol. 43. — P. 659–663.

© Коллектив авторов, 2016

Спорыгина Лидия Викторовна // spor_vims@rambler.ru
 Васильев Александр Тимофеевич // colgeo@yandex.ru
 Быховский Лев Залманович // lev@vims-geo.ru
 Кривоконова Галина Кирилловна // g.krivokoneva@mail.ru
 Мельникова Анна Владимировна // melnikova_anna@list.ru
 Петкевич-Сочнов Дмитрий Геннадьевич // fgyp.vims@gmail.com