

УДК 551

## ГЕНЕЗИС, ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ МЕГАПРОВИНЦИИ

© 2020 г. Е. Н. Левченко<sup>а, \*</sup>, Д. С. Ключарев<sup>а</sup>, А. В. Лаломов<sup>б, с, \*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ФГБУ “ИМГРЭ”), ул. Вересаева, 15, Москва, 121357 Россия

<sup>б</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

<sup>с</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, 614990 Россия

\*e-mail: levchenko@imgre.ru

\*\*e-mail: lalomov@mail.ru

Поступила в редакцию 25.10.2018 г.

После доработки 17.01.2019 г.

Принята к публикации 30.10.2019 г.

Формирование прибрежно-морских редкометалльно-титановых россыпей Западно-Сибирской мегапровинции происходило в относительно коротком временном интервале от эоцена до позднего олигоцена. Схожий механизм формирования, общность первичных источников рудного вещества определили единый тип и близость вещественного состава россыпей мегапровинции. На основании сопоставления характеристик этих россыпей были выделены общие факторы, определяющие их промышленную ценность: структурный план и тектонические движения фундамента определили фаціальную зональность, литологические и технологические характеристики россыпных компонентов и вмещающих отложений; постседиментационные тектонические процессы оказали влияние на положение россыпей (глубину залегания) в структуре осадочного чехла и характеристики рудных песков (степень вторичных гипергенных изменений). Определены геологические факторы, позволяющие прогнозировать горнотехнические параметры россыпей, технологические характеристики рудных песков, качество минеральных концентратов и геолого-экономические показатели россыпных редкометалльно-титановых месторождений.

*Ключевые слова:* россыпи, титан, цирконий, факторы вещественного состава, Западная Сибирь.

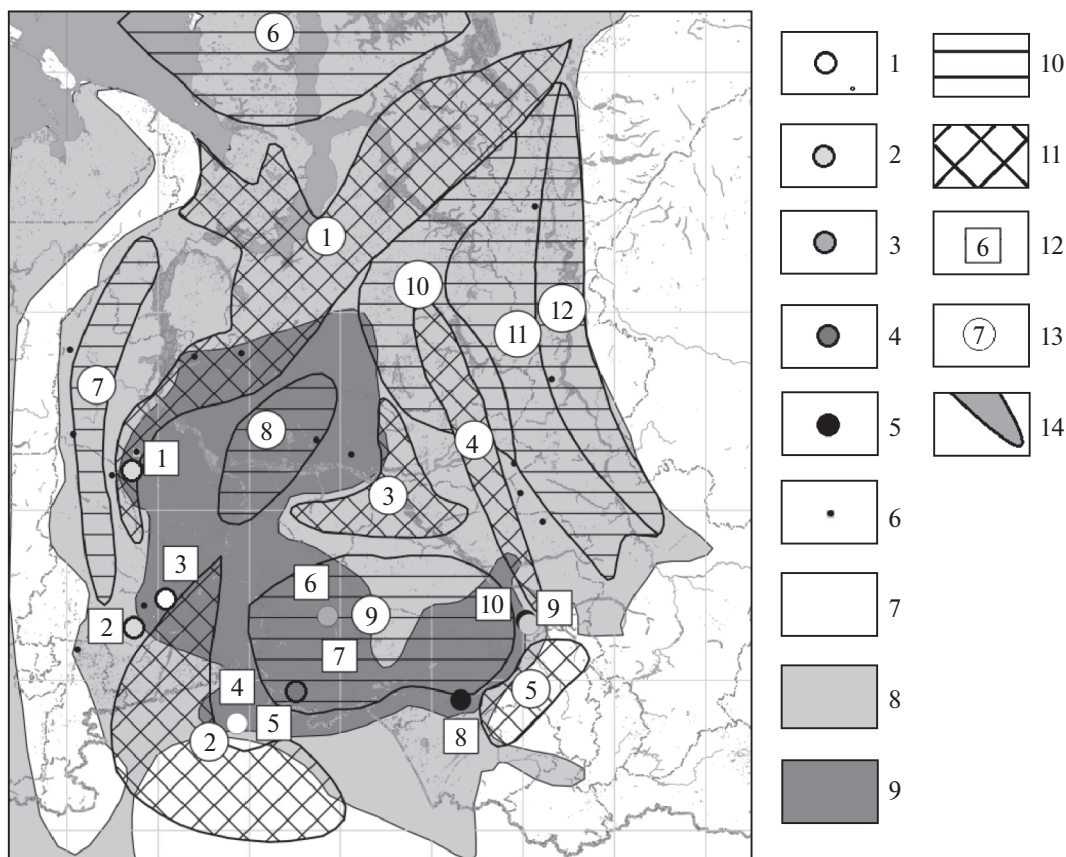
DOI: 10.31857/S0024497X20020056

На территории России и сопредельных стран выделяются две разновозрастные мегапровинции древних прибрежно-морских россыпей “тяжелых минералов” (редкометалльно-титановых, титано-циркониевых). Восточно-Европейская россыпная мегапровинция локализована в пределах Восточно-Европейской платформы. Время формирования россыпей охватывает диапазон от среднего девона до неогена включительно. В пределах Западно-Сибирской плиты выделяется Западно-Сибирская россыпная мегапровинция (ЗСМ), представленная палеогеновой продуктивной формацией. Западно-Сибирская мегапровинция комплексных прибрежно-морских россыпей занимает второе место по суммарной продуктивности в России и в мире среди мегапровинций комплексных россыпей “тяжелых минералов”.

### ФОРМИРОВАНИЕ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ И ИХ ПОЗИЦИЯ В СТРУКТУРЕ ЗСМ

Определяющие черты структурной позиции титано-циркониевых россыпей Западной Сибири сложились в среднем–верхнем мезозое (рис. 1) [Конторович и др., 1975; Конторович и др., 2013; Ронов и др., 1989; Ступакова и др., 2016].

Заложенный ранее структурный план, в целом, сохранялся на протяжении всего палеогенового периода и был унаследован мелеющим морским бассейном позднего времени [Akhmetiev et al., 2012]. Тектонические структуры фундамента плиты, унаследованные в строении чехла, определили общий план развития россыпеобразующего эоцен-олигоценового бассейна. Различия в строении и составе россыпных участков обусловлены как фаціальностью, так



**Рис. 1.** Схема тектонического районирования и палеогеографических обстановок олигоценового моря Западно-Сибирской плиты, с элементами титано-циркониевой россыпной металлоносности (по материалам А.Э. Конторовича и др. [1975, 2013], А.Б. Ронова и др. [1989] и А.В. Ступаковой и др. [2016], с упрощениями и дополнениями). 1–5 – глубина залегания продуктивного пласта: 1 – 2.0–6.8 м, 2 – 6.8–25.0 м, 3 – 25.0–52.0 м, 4 – 52.0–112.0 м, 5 – 112.0–152.0 м; 6 – россыпепроявления; 7 – высокая суша (область размыва); 8 – область континентальной аккумуляции; 9 – зона озерно-морской аккумуляции; 10 – депрессии; 11 – поднятия; 12 – редкометалльно-титановые россыпи (РТР); 13 – тектонические структуры; 14 – современные морские бассейны.  
РТР: 1 – Правобережная (Шоушма-Лемьинская), 2 – Буткинская, 3 – Стеклянка, 4 – Обуховская, 5 – Борисовское россыпное поле, 6 – Тарская, 7 – Самсоновская, 8 – Ордынская, 9 – Георгиевская, 10 – Туганская.  
Тектонические структуры: 1–5 – поднятия: 1 – Ямало-Ямбургский выступ; 2 – Казахское нагорье, 3 – Средне-Сибирские увалы, 4 – Пыль-Караминский мегантиклинорий, 5 – Новосибирский антиклинорий; 6–9 – депрессии: 6 – Карская мегасинеклиза, 7 – Восточно-Уральская моноклираль, 8 – Ханты-Мансийский прогиб, 9 – Васюганский прогиб; 10 – Западно-Сибирская депрессия; 11 – Худосейская ступень; 12 – Енисейская моноклираль.

и постседиментационными тектоническими движениями.

Динамика изменений уровня моря в течение палеоценовой–олигоценовой эпох и последующие неотектонические движения привели к тому, что распределение титано-циркониевых россыпей Западной Сибири и Северного Казахстана по глубине залегания характеризуется концентрической зональностью, отражающей этапы регрессивного развития замкнутого озерно-морского бассейна, постепенно теряющего связь с океаническими бассейнами [Ронов и др., 1989]. Постседиментационные неотектонические движения изменили первичную фациальную зональность.

В областях развития дифференцированных разнонаправленных неотектонических движений могут тесно сосуществовать мелкозалегающие россыпи прибрежного генезиса (дельтовые и литоральные), наблюдаемые на флангах купольных структур, и глубокозалегающие мелководно-морские россыпи в пределах смежных опущенных блоков.

Примерами такого сочетания являются Туганская и Георгиевская россыпи (рис. 2), локализованные в глинисто-песчаных отложениях верхнего эоцена–нижнего олигоцена [Быховский и др., 2007; Лаломов, Таболич, 2013]. Эоцен-олигоценовое Обуховское месторождение аллювиально-дельтового и прибрежно-морского генезиса, рас-

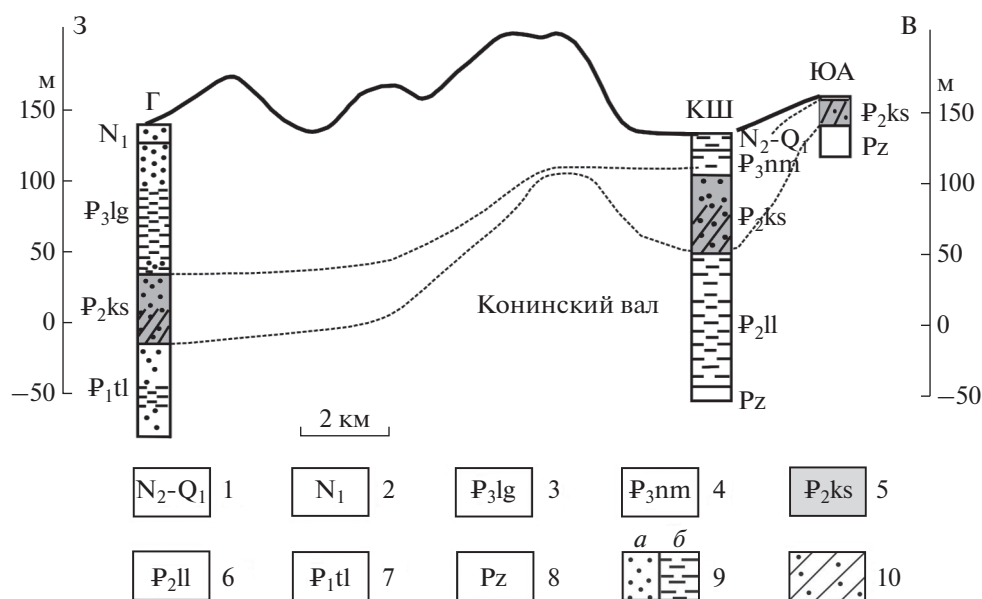


Рис. 2. Схематический разрез Туганского и Георгиевского месторождений.

1 — глины песчанистые неоген-четвертичные; 2 — пески миоценовые; 3 — лагернотомская свита олигоцена: пески, алевриты, глины, прослои и пласты бурых углей; титан-циркониевые россыпи; 4 — новомихайловская свита олигоцена: пески, прослои глин, бурых углей; 5 — кусковская свита эоцена: продуктивный горизонт, пески с титан-циркониевыми россыпями; 6 — люлинворская свита эоцена: глины с прослоями песков; 7 — талицкая свита палеоцена: пески с прослоями глин, титан-циркониевые россыпи; 8 — кварц-хлоритовые сланцы палеозоя; 9 — литология пород (а — пески, б — глины); 10 — интервалы развития промышленного россыпного титан-циркониевого оруденения.

Г — Георгиевская россыпь, Кантесский участок; КШ — Кусково-Ширяевский участок; ЮА — Южно-Александровский участок Туганской россыпи.

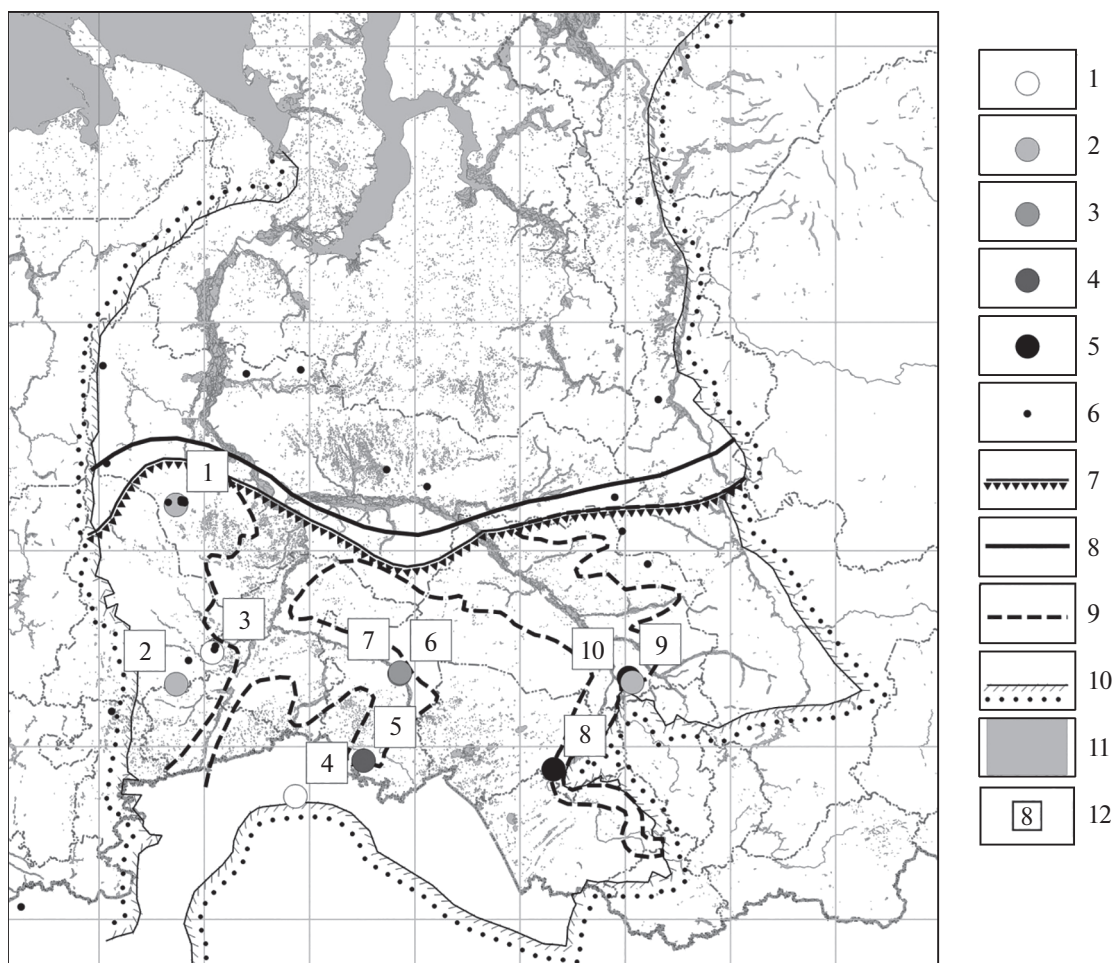
положенное в обрамлении Кокчетавской глыбы (т.е. в прибрежной, наиболее рано осушившейся части), залегает на поверхности практически горизонтально, протягиваясь вдоль палео-береговой линии, в то время как россыпи Борисовского поля, расположенные в пределах опущенного блока залегают на глубинах более 100 м.

Олигоценые россыпи (месторождения Стеклянка и участок Правобережный, проявления Северо-Сосьвинской, Мансийской площадей) формировались в условиях прибрежного мелководья и при отступании моря перекрывались озерно-болотными и ледниковыми отложениями. В целом наиболее значительные мощности перекрывающих отложений характерны для россыпей, расположенных в пределах опущенных блоков, образование которых связано, в первую очередь, с неотектоническими движениями. Рельеф дна палеобассейна и глубина россыпеобразования являются второстепенными факторами, которые также зависят от тектонического режима.

Общность строения и состава россыпей “тяжелых минералов” в пределах ЗСМ определяется высокой минеральной зрелостью источников и промежуточных коллекторов россыпей (глубокая дезинтеграция материала, высвобождение россыпеобразующих компонентов и разрушение не-

устойчивых в зоне гипергенеза минералов), а также специфическими условиями концентрирования минералов в аллювиально-дельтовых, литоральных и мелководно-морских условиях [Лаломов, Таболич, 2011]. Отличия минерального состава россыпей отмечаются в краевых частях морского бассейна, где возможен привнос рудного вещества с обрамляющих областей размыва. Для Обуховской россыпи источником является Кокчетавская глыба, для Туганской, Георгиевской и Ордынской — Салаирский кряж, для Зауральского россыпного района (Мансийская площадь, Фоминское россыпное поле, месторождения Буткинское, Стеклянка и Правобережное) — Урал. Для Тарской и Самсоновской россыпей коренные источники достоверно не установлены; предполагается, что в их формировании участвовали промежуточные коллекторы.

Таким образом, эволюция россыпеносных палеогеновых бассейнов ЗСМ происходила в результате постепенного сокращения их площадей, утраты в раннем эоцене связи с палео-Ледовитым океаном и другими морскими бассейнами, превращения в серию обособленных водоемов типа “внутреннее море” или “озеро-море” с береговой линией, осложненной мелководными заливами лагунного типа, благоприятными для рос-



**Рис. 3.** Рассыпные редкометалльно-титановые месторождения Западной Сибири в эпоху максимального оледенения (по Е.В. Артюшкову [1969], с дополнениями).

1–5 – глубина залегания РТР: 1 – 2.0–6.8 м, 2 – 6.8–25.0 м, 3 – 25.0–52.0 м, 4 – 52.0–112.0 м, 5 – 112.0–152.0 м; 6 – россыпепроявления; 7–10 – элементы покровного оледенения: 7 – отложения краевой зоны самаровского оледенения, 8 – реконструированное положение южной границы максимального оледенения, 9 – южная граница подпрудных озерно-ледниковых бассейнов, 10 – границы Западно-Сибирской низменности как области распространения самаровского покровного оледенения; 11 – современные водоемы; 12 – нумерация РТР.

РТР: 1 – Правобережная (Шоушма-Лемьинский узел), 2 – Буткинская, 3 – Стеклянка, 4 – Обуховская, 5 – Борисовское россыпное поле, 6 – Тарская, 7 – Самсоновская, 8 – Ордынская, 9 – Георгиевская, 10 – Туганская.

сыпеобразования, с характерными фаціальными комплексами перекрывающих осадков [Ахметьев и др., 2004; Podobina, 2015].

Окончательное оформление геологической позиции титано-циркониевых россыпей Западной Сибири происходило в период четвертичного оледенения. Во время самаровского оледенения (плейстоцен, 230–187 тыс. лет назад) россыпи, сформировавшиеся в палеодолинах рек бассейнов палео-Оби и палео-Иртыша и оказавшиеся в пределах подпорных ледниковых озер, были дополнительно перекрыты комплексом рыхлых отложений (например, Тарское, Ордынское месторождения). В то же время, рудоносные отложения месторождения Стеклянка в результате размыва

перекрывающих толщ оказались практически на дневной поверхности (рис. 3) [Артюшков, 1969]. Мощность четвертичных отложений, перекрывающих россыпи, увеличивалась и в процессе отступления ледового щита за счет формирования отложений, подобных отложениям зандровых равнин, лёссов, конечных, покровных и донных морен [Velichko et al., 2011].

Значимую роль в формировании РТР Западной Сибири сыграли пострудные неотектонические движения, унаследованные от более ранних этапов и возобновленные в период палеогеновой тектоно-магматической активизации, в сочетании с особенностями палеорельефа [Vibe et al., 2018]. Все это повлияло на конечную структуру и

сохранность россыпных залежей, которые будут рассмотрены ниже.

### МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РОССЫПНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И ФАКТОРЫ ИХ КОНТРОЛЯ

В пределах ЗСМ известны 7 комплексных промышленных россыпей “тяжелых минералов”, целая серия перспективных площадей и проявлений, а также множество точек россыпной титаноциркониевой минерализации.

К числу новых потенциальных россыпных площадей ЗСМ относится Зауральская провинция, характеризующаяся относительно близким к поверхности залеганием куртамышской-алтымской свиты верхнего олигоцена, перспективной для выявления россыпей открытой добычи. В настоящее время в ее пределах известны, по крайней мере, три перспективные площади: Умытинская (с месторождением Правобережное), Северо-Сосьвинская (в пределах ХМАО) и Салехардская (на севере).

С учетом особенностей геологического строения восточного склона Северного и Приполярного Урала, в пределах ХМАО выделены 4 разобщенные площади: Шекуринско-Хорасюрская, Ялпигнерско-Чистопская, Вижайско-Ивдельская и Денежкин Камень, в строении которых принимают участие территориально сближенные тела магматических образований, являющихся основными источниками поступления рудных минералов в россыпь. Среди выделенных площадей, по комплексу дополнительных критериев установлено, что Ялпигнерско-Чистопская площадь служит основной питающей провинцией для Умытинской россыпи [Кудрин и др., 2017].

Формирование россыпывещающих отложений происходило в условиях мелководного морского бассейна, при умеренно-активном гидродинамическом режиме; береговая линия этого бассейна в раннекуртамышское время располагалась несколько западнее Умытинского участка. Осадки накапливались на фоне начавшихся тектонических движений, проявившихся в активизации Лемьинского выступа и образовании серии дугообразных возвышенностей, с простираем юго-восток–северо-запад, образующих структурно-седиментационные ловушки. По-видимому, интенсивность тектонических движений в раннекуртамышское время была слишком высокой для образования значительных россыпных концентраций. Тем не менее, на локальных участках, расположенных на склонах и в приподнятых частях донных поднятий, происходила достаточно эффективная дифференциация материала, и здесь сохраняются перспективы обнаружения небольших россыпных тел мелководно-

морского типа, приуроченных, главным образом, к верхним слоям осадочной толщи [Чефранов и др., 2014]. Вероятно, это связано с локальным ослаблением интенсивности тектонических движений, приведшим к оптимальному соотношению тектонических и гидродинамических процессов, благоприятному для формирования россыпей на этом временном отрезке.

Можно предположить, что во время формирования среднего горизонта куртамышской свиты, снижение интенсивности тектонических движений продолжилось, что привело к нивелировке дна водного бассейна и, как следствие, к повышению гидродинамической активности среды осадконакопления, что проявилось в крупной зернистости отложений на этом этапе. Россыпеобразующие минералы концентрируются в узком интервале скоростей движения вод, при превышении которых сформированные ранее рудные прослои размывались, чем объясняется относительно невысокое содержание россыпных минералов в среднекуртамышском горизонте [Лаломов, Таболич, 2013].

В период последующей активизации тектонических движений и установления благоприятного для россыпеобразования режима сформировались отложения верхнекуртамышского горизонта. Водный бассейн между Лемьинским и Северо-Умытинским сводами в это время представлял собой мелководный морской залив. Поступление терригенного материала обеспечивалось руслом палео-реки, впадающей в вершине залива западнее Умытинского участка, и размывом центральных частей купольных структур, которые испытали умеренно-положительные неотектонические движения и являлись промежуточными коллекторами для россыпей бассейна. Стабильный тектонический режим на флангах куполов способствовал увеличению мощности формирующегося рудного пласта [Патык-Кара и др., 2009; Лаломов и др., 2010; Бочнева и др., 2013].

В сходных условиях “лукоморья” формировались россыпи Нижнетавдинского россыпного поля (Тюменская область), в частности, месторождение Стеклянка, где обогащенные рудными минералами тела значительной мощности залегают во впадинах между древних донных валов.

Важный фактор промышленной значимости россыпей “тяжелых минералов” – глубина залегания. Первоначально она определяется рельефом дна, фациальными условиями и общим пульсирующим режимом циклов трансгрессии–регрессии бассейна (захоронением, размывом или перетолжением уже сформированных россыпей). Следующим важным фактором формирования прибрежно-морских россыпей являются постседиментационные тектонические движения, в ряде случаев роль этого фактора может

быть определяющей. При преобладании активных отрицательных движений в зоне формирования россыпи будут иметь глубокое залегание, а при активной положительной неотектонике россыпи попадут в область эрозии и могут быть размыты и переотложены. При нейтральных колебательных или умеренно-отрицательных движениях формируются мелкозалегающие месторождения, пригодные для открытой карьерной добычи. Такие условия наблюдаются преимущественно на периферии сводово-купольных структур, которые являются перспективными по целому комплексу параметров.

На накопление рудных минералов и формирование россыпей в центральной глубоководной части палео-моря влияние оказывали активные нисходящие тектонические движения, что приводило к образованию относительно маломощных пластов (от первых метров до десятков метров), захороненных преимущественно на значительной глубине. В областях, примыкающих к горному обрамлению, где отрицательные тектонические движения были умеренными, а приподнятые блоки эродировались и служили источником россыпеобразующих минералов, сформировавшиеся россыпи, такие как Обуховская и Южно-Александровский участок Туганского месторождения, находятся на относительно небольшой глубине, доступной для открытой добычи. Отрицательные тектонические движения слабой интенсивности способствовали их захоронению и позволили избежать эрозии.

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РОССЫПЕЙ “ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ” ЗСМ

Особенности формирования россыпей ЗСМ непосредственно влияли на комплекс факторов, определяющих промышленную ценность комплексных редкометалльно-титановых россыпных месторождений. К этим факторам относятся: характер связи с первичным источником, эпигенетические преобразования россыпей, горно-геологические параметры россыпей, соотношение основных и попутных полезных компонентов (ПК), технологические свойства рудных песков, качество минеральных концентратов [Рихванов и др., 2001].

Среди горно-геологических факторов, влияющих на конечные результаты геолого-экономической оценки, определены: мощность рудного пласта и глубина его залегания, определяющие основные параметры разработки месторождения: коэффициент вскрыши, система разработки, применяемое горное оборудование и т.д.

Месторождения различаются по глубине залегания рудного пласта: близповерхностные (месторождения Стеглянка, уч. Правобережный, Южно-Александровский уч. Туганского месторождения), с предполагаемой карьерной добычей, и глубокопогребенные (Кусковско-Ширяевский уч. Туганского месторождения, Георгиевское, Ордынское, Тарское), добыча на которых предопределила использование метода скважинной гидродобычи (СГД) (табл. 1). Большая глубина залегания продуктивных пластов и, соответственно, огромные затраты на вскрышные работы стали причиной отнесения ряда месторождений редкометалльных песков к категории низкорентабельных.

На Ордынском и Тарском месторождениях проведены масштабные работы по использованию способа добычи руд методом СГД. Качество рудного продукта, полученного методом СГД, имеет существенное отличие от продуктов, полученных традиционными способами добычи. Частично или полностью разрушенная руда поднимается на поверхность в виде пульпы, что позволяет сразу направить ее по пульповодам на установки разделения, минуя операции дробления и дезинтеграции [Ницевич и др., 2014]. При гидродобыче происходит частичное перераспределение материала добытых песков по классам крупности. Например, продуктивными для песков Тарского месторождения являются классы 0.25–0.1 и 0.1–0.01 мм (табл. 2). Сопоставление данных минерального состава продуктивных классов пробы карты намыва и керновых проб показало, что за счет отмывания глинистой составляющей при гидродобыче, содержание полезных компонентов в пробах существенно повысилось.

Анализ гранулометрического состава технологических проб рудных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ показал, что все они мелкозернистые с преобладанием класса крупности менее 0.14 мм (табл. 3, рис. 4).

Глубокозалегающие рудные пески (Туганское, Тарское, Ордынское месторождения) характеризуются высоким содержанием шламового класса крупностью менее 0.044 мм.

По содержанию основных полезных компонентов (ПК) – диоксидов титана и циркония, пробы рудных песков месторождений существенно различаются: наиболее богатыми являются рудные пески Туганского месторождения, наиболее бедными – месторождения Стеглянка (табл. 4).

По содержанию рудных минералов, в пробах песков месторождений наблюдается сходная картина (табл. 5): выход тяжелой фракции и содержание рудных минералов самые высокие в песках Туганского месторождения, а в песках участка Правобережного и Стеглянки – самые низкие.

**Таблица 1.** Геологические параметры основных редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ

Наименование показателей	Единицы измерения	Туганское*	Георгиевское (Кантесский участок)	Тарское (Левобережный участок)	Ордынское (Филипповский участок)	Участок Правобережный**	Стекланка
Глубина залегания рудного пласта	м	$\frac{8.0}{10-98}$	154	50.6	146.5	0.5–3.2	0.5–5.0
Средняя мощность рудного пласта	м	$\frac{5.0}{8.0}$	8.5	4.2	3.68	20.0	25.0
Средний коэффициент вскрыши	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\frac{1.2-1.8}{1.2-12.3}$	18.1	12.97	39.59	0.093	0.062

Примечание. \* В числителе – Южно-Александровский участок, в знаменателе – Кусковско-Ширяевский участок; \*\* Шошма-Лемьинского россыпного узла.

**Таблица 2.** Гранулометрический состав песков и содержание рудных минералов в пробах керна добычных скважин и пробах карты намыва Тарского месторождения

Показатели	Пробы керна добычных скважин	Пробы песков карты намыва	Среднее по скважинам в пределах опытного блока
Гранулометрический состав, отн. %			
>1.0 мм	0.2	0.8	2.8
1.0–0.5 мм	0.2	0.3	1.2
0.5–0.25 мм	0.4	0.7	1.9
0.25–0.1 мм	3.0	22.1	12.2
0.1–0.05 мм	77.9	69.3	51.0
0.05–0.01 мм	6.7	5.0	16.5
<0.01 мм	11.7	1.8	14.6
Содержание рудных минералов, кг/м <sup>3</sup>			
Ильменит	62.0	145.8	27.9
Лейкоксен*	5.40	11.0	3.57
Рутил + антаз + брукит	2.69	6.38	1.33
Циркон	16.5	42.3	4.66

Примечание. \*Лейкоксен – полиминеральный агрегат, продукт изменения титановых минералов, тонкозернистые минеральные смеси оксидов титана с кварцем, ильменитом, гидроксидами железа, марганца и др.

Для песков месторождения Туганское характерно повышенное содержание лейкоксена. Для всех месторождений, кроме Ордынского, характерно низкое содержание рутила.

Минералами, которые относятся к вредным примесям в титан-циркониевых россыпях, являются хромит, апатит и монацит. Минералы группы хромшпинелидов содержатся в исходных пробах в виде единичных зерен (“знаков”), не превы-

шая 0.08%. Монацит представлен плоскими овальными зернами светло-бурой окраски и в исходных пробах содержится в количествах от единичных знаков до 0.005%. Органическое вещество, представленное углефицированными древесными остатками, присутствует в пробах в незначительном количестве и обнаруживается преимущественно в классах с размерностью зерен >0.25 и <0.044 мм.

**Таблица 3.** Гранулометрическая характеристика технологических проб рудных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ

Класс, мм	Выход от исходных песков, отн. %				
	месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
>1	2.6	—	—	—	—
1.0–0.56	3.86	0.28	3.15	—	0.01
0.56–0.25	4.81	0.63	4.70	6.02	0.04
0.25–0.14	29.11	1.10	7.72	26.76	20.0
0.14–0.1	30.75	56.06	41.03	57.2	56.7
0.1–0.074	8.77	19.78	22.74	4.93	8.05
0.074–0.044	4.25	15.87	13.76	2.17	3.15
0.044–0	<u>15.85*</u>	<u>18.4**</u>	<u>26.7**</u>	2.92	2.05
	20.4	6.28	6.9		

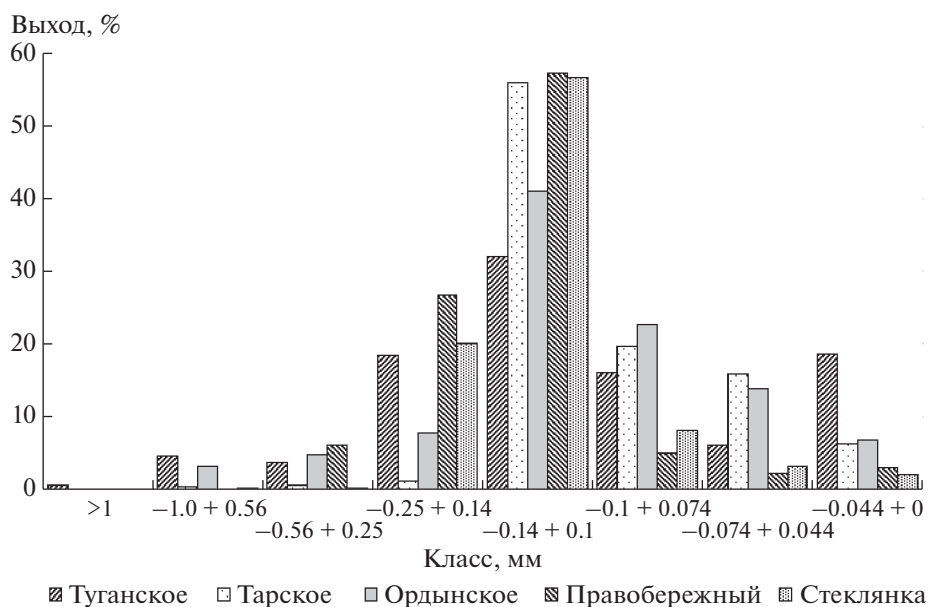
Примечание. \* В числителе – Южно-Александровский участок, в знаменателе – Кусковско-Ширяевский участок; \*\* – в числителе – по ядру добычных скважин, в знаменателе – по карте намыва методом СГД.

Для определения минерального состава глин выполнен дифференциально-термический анализ (ДТА). В составе исследуемых глин присутствуют: железистая разновидность монтмориллонита –  $33 \pm 5\%$ ; кварц –  $30 \pm 5\%$ ; калиевый полевой шпат ~ 7%; натриевый полевой шпат – 6%; мусковит ~7%; оксиды и гидроксиды железа (в пересчете на лимонит) ~5%; соединения кальция и магния (в пересчете на карбонаты) ~3%; другие минералы ~5%.

Рудные минералы всех изученных месторождений концентрируются в тонких размерных

классах, крупностью менее 0.1 мм (в т.ч. в классе >0.074 мм), что, возможно, связано с мелкой размерностью аксессуарных минералов в исходных дезинтегрированных материнских породах (табл. 6).

Степень химического изменения титановых минералов определяется отношением  $TiO_2/(FeO + Fe_2O_3)$  – степенью выщелачивания ( $C_B$ ). Этот показатель дает возможность охарактеризовать ильменит и продукты его изменения на всех стадиях, вплоть до образования высокотитанистого лейкоксена или вторичного рутила. Теоретиче-



**Рис. 4.** Гранулометрическая характеристика технологических проб рудных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ.



**Таблица 4.** Химический состав технологических проб рудных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ, мас. %

Содержание компонента в пересчете на оксиды	Месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
SiO <sub>2</sub>	89.2	83.60	84.24	90.85	86.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.01	7.90	6.82	4.62	8.56
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>2.12</b>	<b>1.82</b>	<b>1.35</b>	<b>1.26</b>	<b>0.88</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	1.39	1.73	2.14	1.70	2.63
CaO	0.41	0.50	0.6	0.089	0.477
MgO	0.23	0.18	0.23	0.092	0.24
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.81	0.83	0.109	2.28
K <sub>2</sub> O	0.35	1.72	1.4	0.99	1.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	<0.02	0.05	0.041	0.07
MnO	0.09	0.05	0.05	0.043	0.045
п.п.п.*	1.60	1.07	1.84	0.59	2.40
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>0.26</b>	<b>0.26</b>	<b>0.13</b>	<b>0.069</b>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.029	0.07	0.053	0.03	0.023

Примечание. \*п.п.п. – потери при прокаливании.

**Таблица 5.** Содержание минералов тяжелой фракции в технологических пробах рудных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ, мас. %

Минералы	Месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
Ильменит	3.20	2.14	1.70	1.76	1.25
Рутил + анатаз (сфен)	0.12	0.13	0.35	0.08	0.10
Лейкоксен	0.93	0.27	0.20	0.09	0.17
Циркон	0.66	0.35	0.24	0.17	0.08
Монацит	0.003	0.005	0.001	0.003	зн
Группа граната	0.001	0.080	0.095	0.039	0.032
Группа эпидота	0.04	0.55	0.95	0.021	0.19
Хромшпинелиды	0.004	0.080	0.001	зн	0.007
Кианит + силлиманит	0.01	0.10	0.06	0.02	зн
Ставролит	0.071	0.041	0.010	0.060	0.012
Турмалин	–	0.07	0.07	0.02	–
Амфиболы, пироксены	0.017	0.016	0.030	0.010	0.054
Магнетит, титаномагнетит	зн	0.016	0.030	0.017	0.005
Гидроксиды железа	0.002	зн	зн	зн	0.128
Сульфиды железа, в т.ч. в сростках	0.001	0.001	0.052	зн	зн
Сумма титановых минералов	4.25	2.54	2.15	1.93	1.52
Сумма рудных минералов	4.91	2.90	2.39	2.10	1.60
Выход тяжелой фракции	5.70	3.15	3.07	2.40	2.04

Примечание. зн – ед. зерна (“знаки”).

**Таблица 6.** Распределение рудных минералов по классам крупности исходных песков редкометалльно-титановых месторождений ЗСМ, %

Месторождение	Класс крупности, песков, мм	Выход класса от исходных песков, %	Распределение рудных минералов по классам крупности		
			Ильменит	Циркон	Рутил
Туганское	>0.25	8.82	—	—	—
	0.25–0.14	18.35	0.481	3.197	1.524
	0.14–0.1	32.09	14.93	3.36	16.16
	0.1–0.074	15.97	36.62	26.93	48.98
	<0.074	24.77	47.97	66.51	33.34
Тарское	>0.14	22.85	—	—	—
	0.14–0.1	51.43	2.20	0.35	0.44
	0.1–0.074	4.42	60.23	44.54	47.7
	<0.074	22.15	37.57	55.11	51.86
Правобережный	>0.14	32.78	—	—	—
	0.14–0.1	57.20	30.70	20.13	32.89
	0.1–0.074	4.93	33.29	31.54	30.26
	<0.074	5.09	36.02	48.32	36.84
Стеглянка	>0.14	20.05	—	—	—
	0.14–0.1	56.7	16.96	41.65	13.23
	0.1–0.074	8.05	26.38	19.83	48.94
	<0.074	5.2	54.56	36.42	35.74

ское значение  $C_b$  для неизменного ильменита — 1.1, для псевдорутила ( $Fe_2^{3+}Ti_3O_9$ ) — 1.5, для измененного (лейкоксенизированного) ильменита различных степеней — 1.5–5.0. К лейкоксенам относятся продукты изменения ильменита с соотношением  $TiO_2/(FeO + Fe_2O_3)$  более 5 [Цимбал, Полканов, 1975].

Наиболее измененный ильменит, близкий к псевдорутилу по соотношению диоксида титана к суммарному железу, наблюдается на Тарском ( $C_b = 1.42$ ) и Туганском ( $C_b = 1.30$ ) месторождениях; наименее измененный (соответствующий неизменному ильмениту) — на Ордынском ( $C_b = 1.0$ ), что в общих чертах соответствует удаленности россыпей от коренных источников (табл. 7). Отчетливо выраженных закономерностей в поведении элементов-примесей (V, Sc, Nb) при изменении ильменита не наблюдается.

Лейкоксен на изученных месторождениях различается по степени измененности — наиболее высокие значения  $C_b$  отмечаются на Туганском и Правобережном месторождениях, наименьшие — на Тарском месторождении, что не совпадает с распределением измененного ильменита (табл. 8). Возможно, эта особенность характеризует разную степень развития процессов химического выветривания в коренных источниках россыпей

и постседиментационных преобразований ильменита.

По химическому составу рутилы месторождений ЗСМ различаются (табл. 9). Содержание минералообразующего  $TiO_2$  изменяется от 94.12 до 98.42%. Наиболее низкое содержание  $TiO_2$  установлено в рутиле Тарского месторождения (94.12%) при повышенном содержании  $Fe_2O_3$  (1.39%) и ванадия (1.6%).

Циркон представлен обычной (неизменной) и метамиктной разновидностями. Повышенное содержание метамиктного циркона (до 10.0–12.0%) наблюдается в россыпях Тарского и Ордынского месторождений. Неизменные цирконы всех месторождений близки по химическому составу, существенно не отличаются от теоретического состава циркона (табл. 10) и характеризуются повышенным содержанием гафния до 1.76%.

#### ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ИСХОДНЫХ РУДНЫХ ПЕСКОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Основными факторами вещественного состава, влияющими на технологические свойства РТР, являются: гранулометрический состав исходных

**Таблица 7.** Средний состав ильменита россыпных месторождений ЗСМ (по данным РСМА\*), мас. %

Содержание компонента в пересчете на оксиды	Месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
TiO <sub>2</sub>	60.54	58.3	50.2	52.83	52.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	46.48	41.1	45.7	42.52	42.88
MgO	0.243	0.75	0.1	0.032	0.94
MnO	1.578	2.3	2.06	1.203	1.352
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.393	0.60	0.39	0.025	0.052
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.165	0.12	0.04	0.033	0.024
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.009	0.16	1.30	0.406	0.258
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.006	–	–	0.053	0.052
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0.7	0.03	0.465	0.41
C <sub>B</sub>	1.30	1.42	1.10	1.24	1.23

Примечание. \* – рентгено-спектральный микроанализ.

**Таблица 8.** Средний состав лейкоксена редкометалльно-титановых россыпных месторождений ЗСМ (по данным РСМА), мас. %

Содержание компонента в пересчете на оксиды	Месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
TiO <sub>2</sub>	79.51	94.12	97.64	96.31	62.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	0.438	1.39	0.78	0.484	0.489
MgO	0.396	0.15	–	0.034	0.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.105	0.01	0.18	0.121	0.052
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	–	–	0.007	0.066
SiO <sub>2</sub>	0.185	0.02	0.05	0.393	0.351
CaO	0.106	–	–	0.031	0.08
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.635	1.06	0.53	0.681	0.494
MnO	0.31	–	0.04	0.21	1.07
C <sub>B</sub>	181.5	67.7	125.2	199.0	127.7

**Таблица 9.** Средний состав рутила редкометалльно-титановых россыпных месторождений ЗСМ (по данным РСМА), мас. %

Содержание компонента в пересчете на оксиды	Месторождение				
	Туганское	Тарское	Ордынское	Правобережный	Стеглянка
TiO <sub>2</sub>	98.42	94.12	97.64	96.31	96.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	0.438	1.39	0.78	0.484	0.489
MgO	0.053	0.15	–	0.034	0.032
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.108	0.01	0.18	0.121	0.126
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	–	–	0.007	0.006
SiO <sub>2</sub>	0.185	0.02	0.05	0.393	0.354
CaO	0.055	–	–	0.031	0.167
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.065	1.06	0.53	0.681	0.54
MnO	0.051	–	0.035	0.211	0.175

**Таблица 10.** Средний состав циркона редкометалльно-титановых россыпных месторождений ЗСМ (по данным РСМА), мас. %

Содержание компонента в пересчете на оксиды	Месторождение						
	Туганское	Тарское		Ордынское		Правобережный	Стеглянка
		1*	2*	1*	2*		
ZrO <sub>2</sub>	65.99	66.0	63.91	65.78	64.69	65.03	65.13
HfO <sub>2</sub>	0.87	1.05	1.12	1.76	1.66	1.031	1.11
SiO <sub>2</sub>	33.19	31.97	32.04	32.72	32.95	33.11	32.95
TiO <sub>2</sub>	0.015	0.05	0.11	0.186	0.075	0.347	0.24
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.079	–	1.23	–	0.705	0.004	0.03
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.111	–	–	–	0.045	0.082	0.071
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.012	–	0.03	–	–	0.025	0.024
UO <sub>2</sub>	0.03	–	0.038	–	0.008	0.06	0.045
ThO <sub>2</sub>	0.012	0.003	0.048	0.004	0.048	0.016	0.025

Примечание. 1\* – циркон неизмененный, 2\* – циркон метамиктный.

песков и рудных минералов, глинистость исходных песков, морфоструктурные особенности рудных минералов, степень измененности (первичной и постседиментационной) рудных минералов, содержание полезных компонентов и лимитируемых примесей в рудных минералах, наличие сростков рудных и породообразующих минералов [Levchenko, Kalish, 2014].

В значительной мере эти факторы контролируются фаціальными условиями россыпеобразования и могут быть прогнозируемы. Так, в россыпях литоральной зоны присутствуют наиболее крупные размерные фракции россыпных минералов, рудные пески этой зоны характеризуются более высокой степенью сортировки и пониженной глинистостью. В мелководно-морских россыпях, обладающих повышенной глинистостью, ПК содержатся в более мелких гранулометрических классах отложений. Наиболее низкой отсортированностью характеризуются вмещающие отложения и ПК аллювиально-дельтовых россыпей [Лаломов и др., 2015]. По мере сепарации россыпеобразующих минералов в системе “коренной источник–россыпь”, происходит вынос железистой составляющей ильменита и обогащение лейкоксена редкоземельными компонентами [Кропанин, 1997].

Факторами, влияющими на результаты геолого-экономической оценки редкометалльных объектов, также являются: технологические показатели (качество рудных концентратов и извлечение), комплексность переработки исходного минерального сырья, глубина переработки исходного минерального сырья и получение конечных видов продукции с высокой добавленной стоимостью.

При обогащении россыпей по единой технологической схеме сквозное извлечение полезных компонентов из исходных песков варьирует в следующих пределах: TiO<sub>2</sub> – от 66.58 до 86.87%; ZrO<sub>2</sub> – от 67.89 до 86.46% (рис. 5). Этот показатель зависит как от размера, так и от сортировки россыпеобразующих компонентов и вмещающих отложений по классам крупности. Эти параметры также контролируются фаціальными литологическими факторами: наибольшая степень сквозного извлечения наблюдается в россыпях прибрежно-морских (прибрежно-озерных) обстановок – Туганское, Правобережное месторождения, несколько меньшая – в россыпях мелководно-морских (Тарское, Ордынское) и на месторождении Стеглянка, в образовании которого большую роль играли аллювиально-дельтовые условия россыпеобразования.

Комплексное использование рудных песков россыпных титано-циркониевых месторождений оказывает наиболее существенное влияние на результирующие показатели геолого-экономической оценки и повышает инвестиционную привлекательность объектов [Левченко, Калиш, 2012, Седельникова и др., 2013]. Доля нерудных (неметаллических) компонентов в стоимости товарной продукции титано-циркониевых месторождений составляет нередко первые десятки процентов, достигая 45–50%.

Обоснование комплексности месторождений обеспечивается всесторонним изучением литологических особенностей рудовмещающих толщ и перекрывающих отложений. Наличие и качество попутных компонентов определяются литолого-фаціальными условиями: глауконит и фосфориты характерны для мелководно-морских россы-

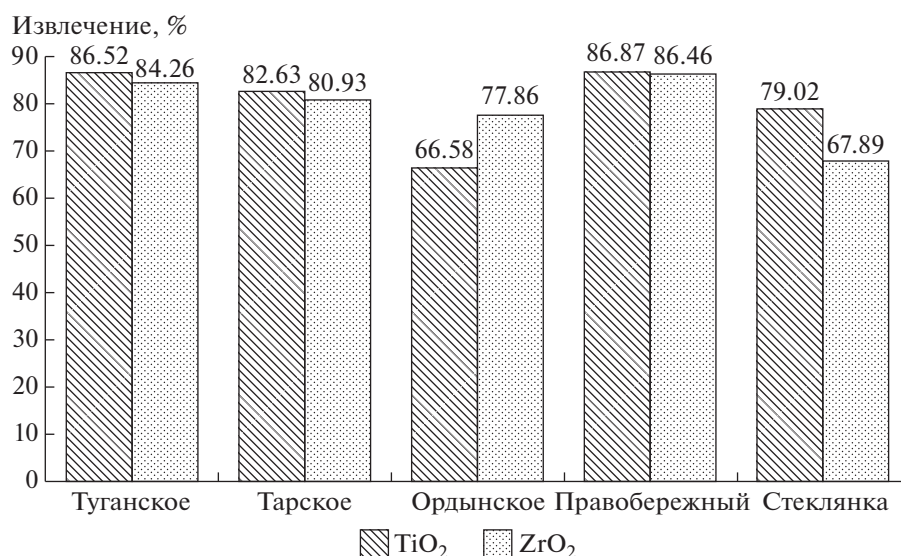


Рис. 5. Сквозное извлечение полезных компонентов при укрупненно-лабораторных испытаниях (вес пробы от 100 до 300 кг).

пей; хорошо отсортированные кварцевые пески, являющиеся сырьем для стекольной промышленности, — для литоральных обстановок и т.д.

Повышение глубины переработки минеральных концентратов позволяет получить продукты металлургического передела (металлы или их соединения) и значительно повысить экономическую эффективность освоения древних прибрежно-морских титано-циркониевых россыпей ЗСМ [Левченко и др., 2018].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование титано-циркониевых месторождений и проявлений ЗСМ происходило в результате непрерывного единого процесса, протекавшего при оптимальных для образования россыпей (или близких к оптимальным) условиям осадконакопления. По мере отступления моря условия накопления рудных минералов определялись гипсометрическим уровнем стояния воды и рисунком древней береговой линии. Процессы тектоно-магматической активизации и неотектонические движения сформировали структуры ловушек и обеспечили перекрытие рудных залежей более молодыми осадками, сохранив большинство россыпей от повторного перемыва и разубоживания.

Наиболее перспективными для выявления рентабельных россыпей, с горно-геологической и технологической точек зрения (неглубокое первичное залегание, пониженная глинистость и повышенная крупность полезных компонентов), являются литоральные литолого-фациальные условия. Вследствие более высокого гипсометри-

ческого положения таких россыпей и приуроченности к флангам тектонически положительных структур (сводов и куполов) они реже сохраняются от последующего размыва. Наиболее широкой распространенностью среди них пользуются мелководно-морские россыпи, расположенные, как правило, в пределах тектонически опущенных блоков. Они характеризуются средними и большими запасами, пониженной крупностью ПК, повышенной глинистостью, относительно глубоким залеганием и лучшей сохранностью. Россыпи и россыпепроявления аллювиально-дельтовых фаций встречаются реже — эти отложения малоперспективны для выявления промышленных месторождений вследствие менее благоприятных гидродинамических условий формирования: часто они попадают в область размыва и становятся промежуточными коллекторами для прибрежно-морских и мелководно-морских россыпей.

Различная глубина залегания рудных пластов связана с постседиментационными тектоническими процессами, а также с глубинами палеобассейна и временем осушения территории. Глубоко залегающие россыпи располагаются в областях отрицательных тектонических движений, при активной положительной неотектонике россыпи попадают в область эрозии и могут быть размывы и переотложены. Оптимальные с точки зрения горно-геологических критериев мелкозалегающие месторождения, пригодные для открытой карьерной добычи, отмечаются в обстановках нейтральных, колебательных или умеренно-отрицательных движений. Такие условия существовали преимущественно на периферии сводово-

купольных структур, которые являются перспективными по целому комплексу параметров.

Преимущественно однотипный вещественный состав россыпей, близкие минеральный состав и гранулометрические характеристики рудных песков, свидетельствуют о едином механизме их формирования, который был связан с процессами глубокого химического выветривания, дезинтеграцией комплексных пород-источников, высвобождением россыпеобразующих рудных минералов и их концентрацией в ходе транспортировки и осаждения в литоральной и мелководно-морской зонах россыпеобразующего бассейна.

Важными особенностями Западно-Сибирской провинции являются: узкий возрастной диапазон промышленных россыпей, отчетливо выраженная концентрическая зональность размещения россыпей, влияние пострудных тектонических движений неотектонического этапа на структуру и сохранность россыпных залежей.

Для россыпей Западно-Сибирской провинции характерны: мелкозернистость песков и рудных минералов, глинистость, относительно небольшое количество лимитируемых примесей, пригодность кварц-полевошпатовых хвостов первичного обогащения для использования в качестве сырья для стекольной и др. промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артюшков Е.В.* Четвертичные оледенения и трансгрессии в Западной Сибири // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1969. № 7. С. 98–114.
- Ахметьев М.А., Александрова Г.Н., Беньямовский В.Н. и др.* Новые данные по морскому палеогену Западно-Сибирской плиты. Статья 2 // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 5. С. 65–86.
- Бочнева А.А., Лаломов А.В., Чефранов Р.М.* Геостатистический подход к выявлению потенциальных титан-циркониевых россыпных площадей на примере Зауральского россыпного района // Литология и полез. ископаемые. 2013. № 3. С. 234–255.
- Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Левченко Е.Н. и др.* Цирконий и гафний России: современное состояние, освоения и развития минерально-сырьевой базы // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. № 23. М.: ВИМС, 2007. 127 с.
- Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В. и др.* Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 972–1012.
- Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др.* Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 690 с.
- Кропанин С.С.* Минералого-геохимические особенности циркон-ильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья / Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: ТПУ, 1997. 27 с.
- Кудрин К.Ю., Чефранов Р.М., Чефранова А.В.* Типоморфизм и коренные источники россыпеобразующих минералов Умытынской редкометалльно-титановой россыпи (Ханты-Мансийский АО) // Литология и полез. ископаемые. 2017. № 5. С. 467–478.
- Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М. и др.* Литолого-фациальная районирование и титан-циркониевая металлоносность Мансийской и Северо-Сосьвинской площадей Зауральского россыпного района // Литология и полез. ископаемые. 2010. № 4. С. 370–382.
- Лаломов А.В., Таболич С.Э.* Механизмы формирования концентраций титан-циркониевых минералов прибрежно-морских россыпей сублиторальной зоны // Ученые записки Казанского ун-та. Сер. естеств. науки. 2011. Т. 153. Кн. 4. С. 232–242.
- Лаломов А.В., Таболич С.Э.* Локальные геолого-динамические факторы формирования комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых минералов. М.: ГЕОС, 2013. 224 с.
- Лаломов А.В., Бочнева А.А., Григорьева А.В. и др.* Исследование минеральных ассоциаций редкометалльно-титановых россыпей и создание экспертной системы оценки литолого-фациальной зональности россыпных месторождений // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2015. № 4. С. 101–106.
- Левченко Е.Н., Калиш Е.А.* Повышение эффективности освоения редкометалльных месторождений за счет глубины переработки и комплексности использования минерального сырья // Разведка и охрана недр. 2012. № 9. С. 89–94.
- Левченко Е.Н., Галкин М.В., Матвиенко С.Ю.* Глубина переработки и комплексность использования минерального сырья – как путь повышения эффективности освоения редкометалльно-титановых месторождений // Разведка и охрана недр. 2018. № 6. С. 89–94.
- Ницевич О.А., Левченко Е.Н.* Инновационные технологии добычи глубокозалегающих титан-циркониевых россыпей и их влияние на вещественный состав // Разведка и охрана недр. 2014. № 9. С. 46–48.
- Патык-Кара Н.Г., Лаломов А.В., Бочнева А.А. и др.* Предпосылки формирования титан-циркониевых месторождений Зауральского россыпного района: региональная геолого-эволюционная модель // Литология и полез. ископаемые. 2009. № 6. С. 598–613.
- Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Бабенко С.А. и др.* Ильменит-цирконовые месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона. Кемерово: ООО “Сарс”, 2001. 214 с.
- Ронов А.Б., Хаин В.Е., Балуховский А.Н.* Атлас литолого-палеогеографических карт мира. Мезозой и кайнозой континентов и океанов. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1989. 79 с.
- Седельникова Г.В., Рогожин А.А., Лыгина Т.З., Левченко Е.Н.* Современные технологии переработки минерального сырья, обеспечивающие полноту и комплексность освоения месторождений ТПИ // Разведка и охрана недр. 2013. № 4. С. 61–68.
- Ступакова А.В., Стафеев А.Н., Сулова А.А., Гилаев Р.М.* Палеогеографические условия в Западно-Сибирском бассейне в титоне – раннем берриасе // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2016. № 6. С. 10–19.
- Цымбал С.Н., Полканов Ю.А.* Минералогия титан-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. 247 с.

Чефранов Р.М., Лаломов А.В., Бочнева А.А. и др. Геолого-геофизические критерии поисков и разведки древних редкометалльно-титановых россыпей на примере участка Умытынский Зауральского региона Западной Сибири (Ханты-Мансийский АО) // Литология и полез. ископаемые. 2014. № 6. С. 539–553.

Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., Benyamovskiy V.N. et al. The Paleogene history of the Western Siberian seaway – a connection of the Peri-Tethys to the Arctic ocean // Austrian Journal of Earth Sciences. 2012. V. 105(1). P. 50–57.

Levchenko E., Kalish E. Specific Features of the Mineral Composition of Titanium-Zirconium Placers in Russia // Sedimentology at the crossroads of new frontiers. Abstract Book of 19th International Sedimentological Congress (18–22 August, 2014, Geneva, Switzerland). 2014. P. 619.

Podobina V. Regional stratigraphy and its dependency on tectonic movements (case study: Upper Cretaceous and Paleogene stages in Western Siberia) // Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress. IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci. 2015. V. 24. P. 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/24/1/012012>

Vibe Y., Bunge H.-P., Clark S.R. Anomalous subsidence history of the West Siberian Basin as an indicator for episodes of mantle induced dynamic topography // Gondwana Res. 2018. V. 53. P. 99–109.

Velichko A.A., Timireva S.N., Kremenetski K.V. et al. West Siberian Plain as a late glacial desert // Quat. Int. 2011. V. 237. P. 45–53.

## Genesis, Features of Material Composition and Problems of Development of Rare Metal-Titanium Placers of the West Siberian Mega-province

E. N. Levchenko<sup>1, #</sup>, D. S. Klyucharev<sup>1</sup>, A. V. Lalomov<sup>2, 3, ##</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystallochemistry of Rare Elements (IMGRE), Veresaeva str., 15, Moscow, 121357 Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Staromonetny per., 35, Moscow, 119017 Russia*

<sup>3</sup>*Permian State University, Bukireva str., 15, Perm, 614990 Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: levchenko@imgre.ru*

<sup>##</sup>*e-mail: lalomov@mail.ru*

Received October 25, 2018; revised January 17, 2019; accepted October 30, 2019

The formation of coastal-marine rare metal-titanium placers of the West Siberian mega-province occurred in a relatively short time interval from the Eocene to the late Oligocene. A similar mechanism of formation, the commonality of primary sources of ore matter determined a single type and proximity of the material composition of the megaprovince placers. Based on the comparison of the characteristics of these placers, common factors determining their industrial value were identified: the structural plan and tectonic movements of the basement of the platform determined the facies zonality, lithological and technological characteristics of placer components and host deposits; post-sedimentation tectonic processes influenced the position of placers (depth) in the structure of the sedimentary cover and the characteristics of ore sands (the degree of secondary hypergenic changes). The geological factors allowing predicting mining parameters of placers, technological characteristics of ore Sands, quality of mineral concentrates and geological and economic indicators of placer rare metal-titanium deposits are defined.

*Keywords:* placers, titanium, zirconium, factors of material composition, Western Siberia.