

О ФОРМИРОВАНИИ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИХ ОТКРЫТИЯ В РОССИИ

© 2010 г. Л. В. Махлаев, И. И. Голубева

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54
E-mail: lev@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 04.12.2009 г.

Рассматривается проблема формирования прибрежно-морских титановых россыпей (ПМТР) – главного источника сырья современной титановой промышленности. Авторы обосновывают концепцию, согласно которой главным источником питания этих россыпей являются не магматиты (базиты, гипербазиты и щелочные породы), как полагает большинство специалистов, а глиноземистые сланцы с титановой минерализацией (титанистые метапелиты). С этих позиций дается положительная оценка перспектив открытия богатых современных ПМТР в России, особенно в ее северных регионах.

Ключевые слова: *титан, титановые минералы, ильменит, титановые россыпи, прибрежно-морские россыпи, формирование титановых россыпей, россыпеобразующие формации.*

ВВЕДЕНИЕ

Титан играет исключительную роль в современной промышленности. Среди конструкционных материалов он делит третье место с магнием, уступая лишь алюминию и железу. Решением правительства России титан и его руды отнесены к важнейшим стратегическим материалам, производство которых требует особого контроля государства, поскольку от него зависит экономическая и военная безопасность. На первый взгляд, все у нас обстоит отлично: Россия входит в тройку лидеров, обеспечивая своей продукцией треть потребностей мирового рынка. Однако мы не разрабатываем при этом ни одного собственного месторождения, и все производство титана в России основывается на переработке импортных концентратов. Достаточно в силу каких-либо осложнений лишиться их подвоза, и наша титановая промышленность остановится.

Парадоксально, но по запасам титана Россия относится, тем не менее, к весьма обеспеченным странам. Дело в том, что структура наших запасов принципиально отлична от мировой. В России 97% титана приходится на коренные месторождения (к которым наша статистика относит и погребенные россыпи) и лишь 3% – на современные россыпи, а главными рудами титана являются у нас титаномагнетит и лейкоксен, тогда как в мире основным источником титана служат именно современные прибрежно-морские титановые россыпи (ПМТР), основным рудным минералом которых является ильменит. Запасы ПМТР грандиозны и с лихвой могут покрыть потребности всего мира, включая и наши. К тому же они в значительной мере возобновляемы: после нескольких штормов содержание рудных компонентов в полностью обработан-

ных россыпях зачастую возвращается к исходному. Достоинством ильменитовых ПМТР является и то, что получение титана из ильменита обходится дешевле, чем из лейкоксена и рутила, поскольку последние гораздо более стойки, и их разложение требует существенно больших энергетических затрат.

В нашей стране *современных* ПМТР, сопоставимых с ведущими россыпями мира, пока нет. У нас известны лишь соответствующие проявления (например, пески Таймырской и Чешской губ), запасы которых должным образом не оценены. Поскольку месторождения иного типа современную титановую промышленность (включая и российскую) не интересуют, нам и приходится покупать это сырье за рубежом, ставя производство стратегически важного металла в полную зависимость от внешних источников.

Возможно, что экономически это даже оправданно, но иметь в России разведанные и подготовленные к разработке месторождения, эквивалентные мировым, чтобы обеспечить бесперебойную работу нашей титановой промышленности в случае международных осложнений, жизненно необходимо! Почему же, несмотря на обилие собственных пляжных комплексов, Россия не имеет ни одной современной ПМТР? Большинство специалистов полагает, что это предопределено объективными факторами, и формирование таких россыпей у нас принципиально невозможно. Мы полагаем, что это мнение ошибочно.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНЦЕПЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ

Концепция Момджи-Малышева

Вывод о “титановой бесперспективности” современных морских отложений России следует

из концепции формирования ПМТР, разработанной в середине XX века крупнейшими специалистами по минералогии и геохимии титана Г.С. Момджи и И.И. Малышевым. Монография последнего, опубликованная более 50 лет назад [10], остается настольной книгой любого геолога, работающего в данной области, а основы изложенной в ней модели и сейчас разделяются большинством наших исследователей. Согласно концепции Момджи-Малышева источником рудных минералов в ПМТР служат магматические породы – в основном базиты и гипербазиты. Хотя суммарное содержание в них титановых минералов редко превышает 2%, устойчивость последних позволяет им накапливаться в продуктах выветривания.

Главная проблема магматогенного формирования титановых россыпей заключается в том, что все их потенциальные источники – базиты, гипербазиты, щелочные габброиды, содержат помимо титановых минералов тяжелые магниезиально-железистые силикаты (оливин, пироксены, амфиболы), которых в них в десятки раз больше, чем ильменита или рутила. Плотность этих силикатов, достигающая 4.0, соизмерима с плотностью рутила и мало уступает плотности ильменита (4.4–4.6), что препятствует гравитационному обособлению последних. Чтобы титановые россыпи могли реально формироваться за счет магматических пород необходимо, чтобы последние прошли через латеритное выветривание с разложением силикатов и замещением их пелитоморфным агрегатом гидрослюдов и гидрооксидов. Последующий размыв и перенос продуктов латеритного выветривания отделяет тяжелые и стойкие титановые минералы от пелитоморфной массы. Поскольку для латеритного выветривания необходим тропический климат, которого в России нет, современные ПМТР формироваться у нас не могут, а потому и искать их не нужно. Такой вывод является неизбежным следствием данной модели. Однако далеко не все особенности ильменитовых россыпей согласуются с ее основными положениями, что не позволяет принимать эти заключения столь безоговорочно. Прежде всего, ильменит в ПМТР не только не ассоциирует с тяжелыми силикатами магматических пород, но всегда сопровождается минералами глиноземистых метаморфитов – гранатом, ставролитом, кианитом, силлиманитом, содержание которых порой столь велико, что они извлекаются из тех же россыпей в промышленных масштабах. Так, кианит добывается попутно из современных ПМТР Западной Австралии, а силлиманит – из палеогеновых титановых россыпей Украины. Ситуация парадоксальная: тяжелых магматогенных минералов в ПМТР практически нет, а минералы, свойственные метапелитам, присутствуют в них всегда, но источником ильменита считаются, тем не менее, магматические породы, а вовсе не метаморфические.

Сторонники схемы Момджи-Малышева объясняют присутствие глиноземистых минералов в титановых россыпях их высокой стойкостью. Они полагают, что такие россыпи имеют минимум два источника питания: магматический – для титановых минералов, и метаморфический – для минералов глиноземистых. Однако все крупные современные ПМТР вовсе не проявляют пространственной связи с магматитами, но явно тяготеют к параметаморфитам. Так, богатейшие ильменитовые россыпи Австралии размещены вдоль ее западного побережья, к которому примыкает протерозойский пояс, включающий метапелиты. Сколько-нибудь крупных базитовых, гипербазитовых и щелочных массивов там нет. Напротив, на восточном побережье Австралии, в сложении которого существенную роль играют базиты и гипербазиты, а метапелиты отсутствуют, главными титановыми минералами россыпей являются не ильменит, а магнетит и титаномagnetит.

Рудная фракция пляжных песков вблизи Бомбея, в области питания которых находятся Деканские траппы, сложена преимущественно магнетитом, тогда как в Южной Индии, где магматиты резко уступают метапелитам, до 90% тяжелой фракции ПМТР приходится на ильменит. Тяготеют к метаосадочным толщам и ПМТР атлантического побережья Бразилии, Аргентины, Южной Африки и Мадагаскара, россыпи побережья Уэльса и Шотландии, палеороссыпи Украины.

Поступлением материала из разных источников объясняют и ряд других особенностей ПМТР, включая и присущий им комплексный характер минерализации. Большинство известных россыпей такого типа являются не только титановыми. Помимо ильменита, рутила и лейкоксена из них добывают также, как правило, циркон, монацит и другие редкометалльные минералы, как например в знаменитой россыпи Траванкор в Южной Индии.

Отметим и обстоятельство, которому в схеме Момджи-Малышева вообще нет объяснения. В ильменитовых концентратах ПМТР присутствует, как правило, кварц, содержание которого варьирует обычно от 5 до 10%, но порой превышает и 20%. Технологи утверждают, что отделение ильменита от кварца на таких объектах осложнено тем, что кварц тесно сростается там с ильменитом, образуя в нем мелкие включения, подобные пойкилитовым. Как могли появиться пойкилитовые включения кварца в ильмените основных, ультраосновных и, уж тем более, щелочных пород? Не понятно. Ничего не объясняют утверждения о некой “импрегнации” ильменита кварцем, происходящей то ли на стадии диагенеза россыпей, то ли под воздействием последующих преобразований [16]. Они не раскрывают сути процесса, а лишь констатируют наличие в рудном минерале кварцевых обособлений.

Концепция дальнего переноса и многократного переотложения

В последние годы XX века группой московских специалистов была разработана новая концепция формирования титановых россыпей, устраняющая некоторые из отмеченных противоречий. Она объясняет и поликомпонентный характер большинства таких объектов, и отсутствие их видимой приуроченности к источникам питания. Эту модель можно назвать “концепцией дальнего переноса и многократного переотложения” [16]. Она включила два главных положения схемы Момджи-Малышева: признание сосуществования нескольких источников тяжелых минералов и объяснение формирования их ассоциаций в титановых россыпях сходством условий переноса и отложения, а также близостью характеристик их механической и химической устойчивости.

Эта модель вполне достоверна, но только применительно к конкретным российским объектам, на базе которых она разработана. Ее основная цель – объяснение путей формирования подготавливаемых к разработке погребенных титановых россыпей Западной Сибири и центральных районов Европейской России. Это месторождения Омской, Томской, Тамбовской, Брянской, Орловской, Воронежской и ряда других областей. Запасы титана в них велики, но содержания рудных минералов слишком малы. Согласно этой модели, источник титана для формирования россыпей не имеет значения, а определяющим фактором является устойчивость рудных минералов, обеспечивающая возможность выдерживать дальний и длительный перенос, сочетающийся с многократным переотложением. В процессе такой транспортировки они освобождаются от сопутствующих неустойчивых минералов, и доля их в тяжелой фракции переносимого материала неуклонно возрастает. Они могут составлять в ней 90% и даже более, но общее содержание тяжелой фракции в песках “дальнего переноса” по мере их перемещения неуклонно снижается, а потому оно не только не превышает, как правило, 50 кг/м³, но зачастую вообще измеряется лишь первыми килограммами на тонну.

Главным сопутствующим компонентом в таких россыпях становится кварц – минерал, хотя и легкий, но весьма стойкий. В этой связи вряд ли справедливо называть титановыми рудами пески, в которых на каждые 3–5 кг ильменитового концентрата приходится более 90 кг кварца. Скорее это кварцевое сырье, в котором ильменит и прочие рудные минералы являются лишь вредной примесью. Конечно, их можно извлекать попутно с кварцем, но в последнее десятилетие настоятельно предлагается разрабатывать эти пески именно как ильменитовое сырье, поскольку суммарные запасы ильменита в них вполне достаточны, чтобы удовлетворить

потребности титановой промышленности России, превышающие 500 тысяч тонн ильменитового концентрата в год, а технология обогащения этих отложений достаточно проста [17]. Однако при таком составе песков параллельно с добычей требуемого количества титановых минералов ежегодно будут получать около 50 млрд. тонн кварца, что многократно превысит потребности в нем стекольной и керамической промышленности, и даже производства стройматериалов. Придется его складировать, то есть, проще говоря, засыпать кварцевым песком огромные площади черноземов в центральных районах Европейской России, либо соответствующие площади тайги в Западной Сибири. Скорее всего, именно поэтому разработка этих месторождений так до сих пор и не начата.

За рубежом, правда, столь убогие титановые месторождения иногда, все-таки, разрабатываются, но только в том случае, если это современные ПМТР. Дело в том, что для последних проблемы утилизации легкой фракции не существует: этот материал возвращается на тот же пляж, песок которого, в итоге, разве что, становится светлее.

Существенным недостатком рассматриваемой концепции является и то, что она не несет прогнозных функций. Опираясь на ее положения, невозможно выявить перспективные территории и объекты, дать их сравнительную оценку, определить стратегию и направление поисков. Но все же главный минус “модели дальнего переноса и многократного переотложения” заключается, по нашему мнению, даже не в этом. Прекрасно раскрывая механизм формирования крупных по масштабам, но при этом бедных (и даже убогих) месторождений, эта схема не имеет никакого отношения к грандиозным современным ПМТР с высокими содержаниями рудных минералов, за счет которых существует и развивается все мировое производство титана. Авторы этой модели вряд ли согласятся с нами, поскольку, по их мнению, формирование высокотитанистых терригенных осадков обусловлено именно дальним переносом и многократным переотложением продуктов выветривания и размыва ранее существовавших пород, в результате чего посредством удаления неустойчивых минералов формируются “новые минеральные ассоциации, концентрация полезных компонентов в которых в десятки–сотни (а возможно и более) раз превышает их исходные содержания в породах первоисточника, где они часто присутствуют в весьма малых концентрациях, часто – в виде аксессуаров” [16, стр. 71].

Против такого утверждения имеются, однако, серьезные возражения. Прежде всего, мировой опыт освоения любых россыпных месторождений свидетельствует о явной тенденции к размещению последних в непосредственной близости от источника питания. Это совершенно очевидно для россыпей

золота, платиноидов, но вполне применимо и к россыпям киновари, касситерита, вольфрамита, шеелита и даже хромита, близкого по плотности к ильмениту. Рассматривая эту проблему, И.И. Малышев писал, что “на расстоянии 15–20 км от первоисточника размыва и выноса ильменитовых минералов количество ильменита значительно уменьшается, а размеры зерен настолько малы, что затрудняется их извлечение при обогащении” [9, стр. 13]. О каком повышении концентраций в 100 раз (а возможно и более) можно говорить применительно к россыпям, в которых содержание титановых минералов составляет 1–2%, не отличаясь существенно от такового в магматических породах, а зачастую оказывается даже меньше, чем в них, что и следовало ожидать.

Если же принимать во внимание не месторождения Западной Сибири и Центральных районов Европейской России, а известные современные титановые ПМТР Индии, Шри Ланки, Австралии и других регионов, где содержание рудных компонентов измеряется многими десятками и даже сотнями килограммов на тонну, то такие месторождения формируются по иным правилам и (главное) за счет других исходных материалов. Начнем с законов и правил. Конечно, главными факторами концентрирования минералов в россыпях являются близость плотностных (гравитационных) характеристик минералов и их относительная устойчивость. Возражать против этого никто не собирается. Однако в формировании ПМТР роль процессов, сопутствующих транспортировке материала от области питания к области отложения, крайне мала. Образование таких россыпей и концентрирование в них тех или иных минералов происходит непосредственно на морском побережье, и определяющим процессом является здесь пляжный перебив под воздействием прибой.

Прибойная волна забрасывает детритовый материал на десятки метров от береговой линии в сторону суши. Энергия “откатной” волны много меньше в сравнении с волной прибойной. Соответственно, меньше и скорость течения воды, скатывающейся обратно. Поэтому возвращается вместе с водой только легкий материал – мелкозем и легкая фракция. Зерна тяжелых минералов остаются там, куда их забросил прибой. То, что откатная волна унесла обратно в море, затем снова и снова забрасывается на берег. Процесс многократно повторяется. За час шторма с пятибалльным прибоем песчинка проходит по поверхности пляжа путь более пяти километров!

Во время шторма любой пляж представляет собой гигантский концентрационный стол или своего рода отсадочную машину. Эффективное разделение минералов по фракциям происходит именно на пляже, а не в процессе предшествовавшей транспортировки. Об этом свидетельствует и уже упомина-

нутый “эффект самовосстановления ПМТР”, когда после нескольких крупных штормов содержание рудных минералов в полностью отработанной пляжной россыпи возвращается к первоначальным значениям. На пляже происходит и механическая обработка материала – окатывание обломков, а также их дробление и истирание, приводящее к очищению от нестойких компонентов.

И все же одного лишь “пляжного перебива” для формирования россыпей явно недостаточно. Определяющим фактором является поступление в зону прибойной деятельности соответствующих минералов. Именно поэтому к одним пляжам приурочены россыпи касситерита, к другим – ильменита, а большинство пляжей россыпями так и не становятся. Поэтому проблема источника питания остается ключевой для моделей формирования любых россыпей, включая титановые.

Метапелитовая концепция

Совершенно очевидно, что для возникновения россыпей необходимо наличие в области сноса существенных объемов таких пород, в которых присутствуют соответствующие минералы. Желательно также, чтобы последние легко извлекались из этих пород, эффективно отделялись бы от прочих минералов и были при этом устойчивы в условиях гипергенеза. Мы полагаем, что по сочетанию этих условий роль ведущих титановых россыпееобразующих формаций не следует отводить ни магматическим породам, в которых затруднительно отделение рудных минералов от тяжелых силикатов, ни осадочным образованиям, в которых титана либо мало, либо он представлен неизвлекаемыми формами. По нашему мнению, главным источником рудных минералов в ПМТР являются широко распространенные в природе глиноземистые метаморфические сланцы с титановой минерализацией. Впервые на возможность формирования титановых россыпей за счет метапелитов указывал еще И.И. Малышев. Отметив высокое содержание TiO_2 в глинах, достигающее порой до 10% и более, он высказал предположение, что “при сильном метаморфизме таких пород путем собирательной перекристаллизации могут образоваться довольно крупные зерна рутила и ильменита в виде вкрапленных зон этих минералов в сланцах..., а при разрушении таких зон в процессе выветривания, переноса и перераспределения... могут образоваться россыпные месторождения ильменита и рутила” [9, стр. 14]. Это предположение является примером подлинного научного предвидения, тем более что тогда такие метаморфиты никому не были известны, а во всех учебниках и справочниках категорически утверждалось, что ильменит может быть только магматогенным либо гидротермальным, но не метаморфогенным, а потому никаких ильменитсодержащих

метаморфических сланцев в природе вообще быть не должно. К сожалению впоследствии И.И. Малышев, отдав предпочтение базит-гипербазитовому источнику, не разрабатывал более эту версию, хотя в своей главной книге [10] он все же отметил высокие содержания ильменита в метапелитах Кольского п-ова (свита Кейв) и рутила в силлиманитовых сланцах Забайкалья (Кяхта).

Реальные основания для формирования представлений о ведущей роли метапелитов в образовании титановых россыпей появились в начале шестидесятых годов, когда в разных регионах были обнаружены соответствующие породы с ильменитом и другими титановыми минералами. В 1963 г. И.В. Бельков описал метаморфогенный ильменит в ставролит-кианитовых сланцах свиты Кейв на Кольском полуострове, где он представлен пластинчатыми порфиробластами диаметром до 5 мм при толщине 0.1–0.3 мм. Содержание ильменита варьирует в них от 1.5 до 5.0%. Пластинки этого минерала легко высвобождаются при физическом выветривании, что “предопределяет возможность его накопления в продуктах разрушения кристаллических сланцев” [2, стр. 276]. Отмечал И.В. Бельков и постоянное присутствие в кейвском ильмените мелких кварцевых включений в количестве до 7%.

Через год метаморфогенный ильменит был установлен и описан Н.И. Коробовой в метапелитах докембрийского пояса Таймыра [6, 7]. При этом она особо отметила, что находка новообразованного, а не детритового ильменита в метаосадочных породах опровергает представления о его исключительно магматическом происхождении, исключая один из опорных тезисов концепции Момджи-Малышева. Метапелиты с ильменитом ритмично переслаиваются на Таймыре с метаалевролитами и апограуваковыми сланцами, образуя флишоидную формацию (воскресенская свита, нижний рифей), выходы которой прослежены на 400 км, от фиорда Хутуда на западе до Таймырской губы на востоке. Метаморфизм в пределах этой полосы варьирует от зеленосланцевой фации до амфиболитовой. Ильменит развивается здесь в сланцах при достижении хлорит-биотитовой субфации, что визуально фиксируется по появлению биотита. Ильменит образует в них пластинчатые порфиробласты диаметром 1–3 мм (редко до 5 мм), при толщине около 0.1 мм. При возрастании уровня метаморфизма до эпидот-амфиболитовой фации (т.е. с появлением граната и ставролита) размеры обособлений ильменита увеличиваются десятикратно, достигая 2–3 см в поперечнике при толщине 1–3 мм [13, 14]. По мере развития ильменит пойкилитически захватывает детритовые кварцевые частицы исходных пород. Обильные пойкилитовые включения кварца обнаружены и нами в порфиробластах ильменита в метапелитах свиты Кейв Кольского п-ова и воскресенской свиты докембрийского пояса Таймыра. Опре-

деление первичной природы метапелитов воскресенской свиты, выполненное В.К. Головенком [3], показало, что они сформированы за счет гидрослюдистых и монтмориллонит-гидрослюдистых глин. Как в сланцах, так и в продуктах их разрушения ильменит на Таймыре, как и на Кольском п-ове, тесно ассоциирует с глиноземистыми метаморфическими минералами – ставролитом, силлиманитом и гранатом [7, 13].

Почти в то же время метаморфогенный ильменит был выявлен О.С. Кочетковым в метапелитах Тимана и п-ова Канин [8]. Титановая минерализация развита там в алевро-пелитовых прослоях рифейской метатерригенной флишоидной формации. Уровень метаморфизма слагающих ее пород варьирует, как и на Таймыре, от низких ступеней зеленосланцевой фации (на юге Тимана) до эпидот-амфиболитовой фации на севере, достигая местами на полуострове Канин уровня амфиболитовой фации. Титановые минералы являются в этих породах аутигенно-метаморфическими, и никогда не бывают детритовыми. Они представлены обычно рутил-анатазовым лейкоксеном и ильменитом. Встречаются также ильменорутит и рутил, характерные для высокотемпературной (силлиманитовой) зоны амфиболитовой фации. Содержание титановых минералов в метапелитах Тимана и Канина варьирует от 1.5 до 3.0%, изредка поднимаясь до 5%. И здесь для ильменита тоже типично присутствие пойкилитовых включений кварца.

В конце 60-х годов метапелиты с ильменитом были найдены и описаны также в докембрии Патомского нагорья, Енисейского Кряжа, Полярного Урала (Харбейский блок), а также в США и Мексике. Таким образом, к семидесятым годам накопилось множество свидетельств существования в природе особого типа титанистых пород – ильменитсодержащих метапелитов, которые вполне могут претендовать на ведущую роль в формировании россыпных месторождений титана. По содержанию этого элемента они не уступают базитам и гипербазитам, но по содержанию собственно титановых минералов существенно превосходят их, поскольку в магматических породах значительная часть титана входит в качестве изоморфной примеси в структуру силикатов, либо представлена нерудным титановым минералом – титанитом (сфеном). Поэтому метапелиты потенциально более благоприятны, чем магматиты, как источник титановых минералов для россыпей. К тому же они характеризуются более широким распространением на континентах, чем последние.

Ассоциация титана с пелитами вполне естественна, поскольку его поведение в экзогенных условиях определяется, в основном, амфотерностью, а потому подобна поведению алюминия. Поэтому пути и закономерности миграции этих элементов в зоне гипергенеза практически идентич-

ны. Повышенная титанистость глин и бокситов общеизвестна. При метаморфизме алюминий и титан обособляются. Титан формирует в этих условиях собственные минералы, прежде всего – лейкоксен и ильменит, которые так характерны для метапелитов. При этом кларк титана в метапелитах не уступает таковому в базитах и гипербазитах, рассматриваемых обычно в качестве главных поставщиков титановых минералов для россыпей.

Существенно, однако, что титановые минералы метапелитов легко высвобождаются и обособляются уже в ходе элементарного физического выветривания. В дальнейшем, они, как более тяжелые, эффективно накапливаются посредством гравитационного разделения в процессе транспортировки и переотложения продуктов выветривания, что создает необходимые предпосылки для формирования титановых россыпей. При этом нет никакой необходимости в предшествующем латеритном выветривании. Соответственно, отпадает и потребность в тропическом климате.

Площади, занимаемые на континентах титанистыми метапелитами, измеряются сотнями тысяч квадратных километров, поэтому в процессе их выветривания и размыва высвобождается громадное количество титановых минералов. Так для района Берега Харитона Лаптева (Центральный Таймыр), где эти породы формируют полосу протяженностью 400 км и шириной не менее 10 км, даже если принять за основу минимальную площадь их распространения и минимальное содержание в них ильменита (1.5%), денудация на глубину всего 1 м должна приводить к выносу в Карское море не менее 300 млн. тонн этого минерала, который из-за малого уклона морского дна должен концентрироваться там в прибрежных терригенных осадках. Для формирования ПМТР за счет размыва метапелитов требуется только, чтобы последние были представлены в области питания в достаточном объеме. Климат при этом может быть любым, даже арктическим. Предварительная оценка титаносодержания пляжных песков Таймырской губы, проведенная в 1965 г. Красноярским геологическим управлением с целью проверки заявки Н.И. Коробовой, показала, что содержание ильменита варьирует в этих отложениях от 150 до 540 кг/т, составляя в среднем около 300 кг/т. Это соответствует показателям лучших современных ПМТР Мира.

Если напомнить о постоянной ассоциации ильменита и рутила в промышленных ПМТР с типичными минералами метапелитов (ставролитом, силлиманитом, кианитом, альмандином), а также о приуроченности крупнейших ПМТР именно к регионам развития метапелитов, вывод о ведущей роли последних в их формировании становится очевидным. Логичное объяснение получает в таком случае и часто отмечаемое присутствие в россыпном ильмените пойкилитовых вростков кварца: в

ильмените метапелитов пойкилитовый кварц обычен, а в ильменитах других пород он не отмечался никогда.

Простое решение находит и еще одна задача. Давно известно, что титановые россыпи всегда являются комплексными. Ильменит, лейкоксен и рутил постоянно ассоциируют в них с цирконом. Если считать, что эти минералы поступают в россыпи из магматических пород, то источники титановых минералов и циркона должны быть разными. Этот факт особо подчеркивал Н.А. Шило, который так формулировал и объяснял эту особенность: “Партнерство в комплексных ПМР циркона и минералов титана – это уникальное и вместе в тем закономерное явление: два элемента (Ti и Zr) с резко отличной магматической минералообразующей историей объединяются в экзогенном цикле за счет сходной гипергенной устойчивости в единую, устойчиво повторяющуюся от месторождения к месторождению ассоциацию” [18, с. 492].

Мы полагаем, что титан и цирконий (элементы с “разной магматической предысторией”, как вполне справедливо подчеркивал Н.А. Шило) действительно “объединились в экзогенном цикле”, но произошло это не в песках россыпей, а значительно раньше – в глинах. Затем, при метаморфизме, глинистые осадки были преобразованы в сланцы, в которых эти элементы дают собственные, свойственные им минералы. Для циркония это циркон, а для титана – лейкоксен, рутил, ильменит. Все эти минералы обычны для метапелитов и присутствуют в них в соизмеримых количествах. При последующем выветривании и размыве титановые минералы и циркон совместно высвобождаются из сланцев и поступают в терригенные отложения, включая и пляжные фации, в том числе и современные ПМТР, формируя там “единую ассоциацию” вследствие исключительной близости их плотностных характеристик, а также механической и химической стойкости.

Отметим также, что глинистые осадки нередко характеризуются повышенным содержанием органики. Это так называемые “черные илы”, преобразующиеся при метаморфизме в черные (аспидные) сланцы. Именно “аспидным сланцам” принадлежит существенная доля ильменитсодержащих метаморфитов Кольского п-ова и Таймыра. Черные илы обогащены обычно не только титаном и цирконием, но и другими малыми элементами, поэтому черные сланцы кроме титановых минералов и циркона нередко содержат также монацит, куларит, торит, тантало-ниобаты и другие редкометалльные минералы, поступающие в россыпи вместе с ильменитом, рутилом и цирконом, что характерно для многих месторождений Индии, Шри Ланки, Мозамбика и других регионов.

Соответствующая модель формирования ПМТР была предложена нами в качестве альтернативы

схеме Момджи-Малышева еще в 1972 г. [14] и получила дальнейшее развитие в наших последующих публикациях [12]. Независимо от нас, к аналогичным выводам пришел в те же годы В.А. Калюжный – первооткрыватель знаменитого Ярегского лейкоксенового месторождения. Этот объект является древней россыпью, сформированной на побережье моря, омывавшего в девоне полосу рифейских метаморфитов, слагающую ныне восточную окраину Тиманского Кряжа. Контуры моря были весьма близки границам Печорской плиты, почему его условно можно назвать “Печорским”. Источником питания Ярегской палеороссыпи послужили, по мнению ее первооткрывателя, именно прототиманские метапелиты с титановой минерализацией.

Опубликовав серию статей, В.А. Калюжный приступил к монографическому обобщению новой модели россыпеобразования. К сожалению, у него, как и у других исследователей Яреги, не было на тот момент современного (актуалистического) объекта, который показал бы, как формируются титановые россыпи за счет метапелитов в настоящее время. Ознакомившись с публикациями Н.И. Коробовой, В.А. Калюжный решил, что таким объектом являются современные пляжные ильменитовые россыпи Таймырской губы, формирующиеся за счет размываемых там же глиноземистых ильменитосодержащих сланцев. По его просьбе ему были переданы выписки из соответствующих отчетов, первичные аналитические данные, а также немалое количество образцов россыпеобразующих пород Таймыра и ильменитовых концентратов из современных таймырских россыпей. Все это способствовало интерпретации его собственных обширнейших материалов по девонским россыпям При-Тиманья. В итоге, в 1982 году В.А. Калюжным была опубликована монография “Геология новых россыпеобразующих формаций”, являющаяся на сегодня наиболее полным и глубоким исследованием по данной проблеме [5]. В качестве таковых в этой работе представлены именно метапелиты. Обосновывается их ведущая роль в формировании как современных, так и погребенных ПМТР, а также показано отсутствие пространственных и генетических связей последних с магматическими породами. Главным итогом этих обобщений является вывод их автора о неправомочности сделанных ранее отрицательных прогнозов на открытие в России современных ПМТР.

О ПЕРСПЕКТИВАХ ОТКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ НА СЕВЕРЕ РОССИИ

Мы также полагаем, что ПМТР, как погребенные, так и современные в России есть. Исходя из

имеющихся сведений, можно указать и места их наиболее вероятной дислокации, что позволяет уже сейчас приступить к выявлению и оценке соответствующих объектов. К настоящему времени метапелитовые комплексы, относимые В.А. Калюжным и нами к титановым россыпеобразующим формациям, прослежены вдоль Арктического побережья России (с локальными перерывами) почти на 3 тыс. км, от Кольского п-ова до Таймыра. На всем протяжении этого пояса метапелиты с ильменитом входят в состав докембрийских парасланцевых формаций, слагая около половины их объема. На Кольском п-ове это уже упомянутая кейвская серия, размываемая многочисленными ручьями и реками системы реки Поной, посредством которых продукты размыва выносятся в Горло Белого моря, а также реками южного направления, впадающими в Кандакшский залив. Ильменит и рутил накапливаются как в пляжных комплексах, так и в мелководных донных отложениях. Наибольший интерес представляют отложения, прилегающие к сравнительно пологому Терскому берегу. По материалам Мурманской экспедиции “Севморгео”, содержание ильменита в осадках этой части Белого моря превышает местами 100 кг/т.

В последние годы метапелиты (ставролит-биотитовые сланцы) с ильменитом выявлены в этом регионе О.С. Кочетковым и в составе значительно более молодых образований – в рифеидах полуострова Рыбачий. В ряде пунктов они подвергаются современной морской абразии и пляжному перемыву, что создает дополнительные предпосылки для поисков там современных ПМТР.

Вторым потенциальным источником титановых минералов на Европейском севере России являются рифейские толщи титанистых метапелитов Тиманского кряжа и п-ова Канин [5, 8]. Они прослежены на 700 км от Среднего Тимана до Канина Носа [15]. Среднее суммарное содержание ильменита, рутила и лейкоксена варьирует в этих породах от 1.5 до 5.0%. С учетом общей площади развития соответствующих пород, валовое содержание этих минералов в объеме, определяемом глубинным интервалом до 100 м, превышает 50 млрд. т. Этой цифрой оценивается в прогнозах верхний предел россыпеобразующего потенциала Канино-Тиманского региона.

Вдоль восточной границы Среднего и Южного Тимана, удаленных от современного океана не на одну сотню километров, протягивается прибрежная полоса девонского “Печорского моря”. Там расположено несколько крупных и гигантских девонских ПМТР. В одном только Ярегском месторождении сосредоточена половина балансовых запасов титана России, и оно – не единственное в регионе. Главное достоинство Яреги заключается в том, что она расположено непосредственно у железной дороги. Ее промышленную разработку можно бы-

ло бы начать безотлагательно. Проблема в том, что ведущим титановым минералом является там насыщенный кварцем лейкоксен. Хотя содержание титана в лейкоксене значительно выше, чем в ильмените, современная промышленность предпочитает все-таки ильменит, поскольку получение титана из лейкоксена, тем более – высококремнистого, требует значительно больших затрат. Вторым интересным объектом является Пижемское месторождение, которое также является ископаемой ПМТР. Изучено оно гораздо хуже, и удалено от железной дороги более чем на 100 км, по масштабам сопоставимо с Ярегским, но главным рудным минералом в его составе является не лейкоксен, а ильменит.

Относительно причин различия рудных фаз Ярегского и Пижемского месторождений существует не одна версия. Поскольку пески Ярегской палеороссыпи насыщены нефтью, большинство исследователей полагают, что лейкоксен был сформирован там уже в теле россыпи за счет преобразования более ранних титановых минералов (ильменита, сфена) под воздействием этой нефти или нефтесодержащих вод. Нами было показано, что никакого отношения к воздействию углеводородов ярегский лейкоксен никогда не имел. Он поступал в таком виде в эту россыпь из питающих сланцев, в которых титановая минерализация была представлена в данном случае как раз лейкоксеном, а не ильменитом. Дело в том, что в метапелитах начального уровня преобразования, отвечающего хлорит-серицитовой зоне зеленосланцевой фации, формируется именно лейкоксен, причем лейкоксен, образующий тончайшие сагенитовые сростания с кварцем. При возрастании метаморфизма до уровня хлорит-биотитовой субфации лейкоксен уступает место ильмениту, получающему максимальное развитие в ставролитовой зоне эпидот-амфиболитовой фации. Это детально охарактеризовано Н.И. Коробовой на таймырских материалах и показано также О.С. Кочетковым на примере метапелитов Тимана [8, 13]. При этом уровень метаморфизма тиманских рифеид, в состав которых и входят метапелиты, питающие палеороссыпи Притиманья, возрастает в направлении к северу. Соответственно, самая южная из этих древних россыпей (Ярегская) является лейкоксеновой, тогда как титановая минерализация более северных палеороссыпей региона (Пижемской, Умбинской) представлена преимущественно ильменитом. Это определяется уровнем метаморфизма питающих пород и не зависит от того, подвергались ли впоследствии титановые минералы соответствующих россыпей воздействию нефти или нефтяных вод, или же никогда с ними не контактировали [11].

Известны в Канино-Тиманском регионе и другие титановые палеороссыпи. К тому же, на северной оконечности Тимана и на побережье п-ова Канин ильменитсодержащие метапелиты эпидот-

амфиболитовой фации подвергаются и современной абразии. Продукты их разрушения попадают в пляжные комплексы Чешской и Мезенской губ Баренцева моря, где создаются хорошие условия для формирования современных ПМТР. Наиболее высоки перспективы на их выявление в отложениях мелководной Чешской губы, куда ильменит и рутил поступают как с юга – в результате размыва метапелитов Северного Тимана, так и с севера – вследствие денудации аналогичных метаморфитов Канинской гряды. По данным предварительных исследований экспедиций ВНИИОкеангеологии, содержание ильменита варьирует в них от 70 до 240 кг/т.

Перспективны и отложения западного побережья Обской губы [1]. Ильменит мог поступать туда с Полярного Урала, где метапелиты с ильменитом (от 2 до 4%) входят в состав париквасьшорской свиты Харбейского блока [4]. Соответствующие сведения были приведены на совещании “Титано-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения” [17]. Так в докладе А.А. Малюгина и В.А. Душина отмечены высокие содержания ильменита в неоплейстоцене левобережья Обской губы, особенно (до 15 кг/м³) в песках бассейна р. Лонгот-Юган, куда могли поступать продукты размыва метапелитов париквасьшорской свиты. В докладе О.Н. Грязнова сообщалось, что в террасовых шлихах низовьев Оби содержания ильменита достигают 90 кг/м³, составляя в среднем 19.6 кг/м³. В одной из проб оно превысило 174 кг/м³. С.А. Рыльков (Федеральное агентство “Уралнедра”) отметил высокие перспективы палеоген-неогеновых россыпей Приполярного Урала, оценив их прогнозные запасы в 4.5 млн. тонн. Отметим также, что, по материалам всех этих докладчиков, ильменит в Зауралье и Приобье повсеместно сопровождается в россыпях глиноземистыми минералами – гранатом, ставролитом, кианитом, как это и должно быть при его поступлении из метапелитов. О перспективах притаймырских отложений Карского моря уже было сказано выше.

Работа выполнена в рамках программы ОНЗ РАН “Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов”, проект 09-Т-5-1020 “Метапелиты как источник формирования прибрежно-морских титановых россыпей и перспективы их открытия в России”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреичева Л.Н.* Фации морских отложений плейстоцена на Европейском Северо-Востоке // Фундаментальные проблемы квартера: мат-лы V Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. М.: Геос, 2007. С. 14–17.
2. *Бельков И.В.* Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.:

- Изд-во АН СССР, 1963. 321 с.
3. Головенко В.К. Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 1977. 268 с.
 4. Голубева И.И., Афонькин М.М., Махлаев Л.В. Метаморфогенный ильменит в парасланцах харьбийского комплекса (Полярный Урал) // Минералогия Урала. Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 156–150.
 5. Калюжный В.А. Геология новых россыпеобразующих формаций. М.: Наука, 1982. 263 с.
 6. Коробова Н.И. Ильменитсодержащие метаморфические сланцы Таймыра // Докл. АН СССР. 1965. Т. 162, № 1. С. 183–185.
 7. Коробова Н.И. Титанистые парасланцы и их возможное значение для корреляции докембрия // Корреляция докембрия. Т. 1. М.: Наука, 1977. С. 214–216.
 8. Кочетков О.С. Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1967. 200 с.
 9. Малышев И.И. Основные генетические типы месторождений титановых руд и промышленная их ценность // Разведка и охрана недр. 1955. № 1. С. 5–14.
 10. Малышев И.И. Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. М.: Госгеолгиздат, 1957. 272 с.
 11. Махлаев Л.В. О природе лейкоксена в Ярегском нефтетитановом месторождении (в связи с оценкой перспектив других палеороссыпей Пригиманья) // Литосфера. 2008. № 5. С. 117–121.
 12. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Ильменитсодержащие метапелиты как важнейший источник формирования гигантских и сверхгигантских титановых россыпей // Титано-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения: мат-лы Всерос. совещ. М: ИГЕМ РАН, 2006. С. 39–42.
 13. Махлаев Л.В., Коробова Н.И. Генетические гранитоидные ряды докембрия Таймыра (метаморфизм, ультраметаморфизм, гранитообразование). Красноярск: Красн. кн. изд-во, 1972. 158 с.
 14. Махлаев Л.В., Коробова Н.И. Об источнике ильменита в россыпных месторождениях // Геология и геофизика. 1972. № 11. С. 41–50.
 15. Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 163 с.
 16. Патык-Кара Н. Г. Месторождения ископаемых титано-циркониевых россыпей (россыпей тяжелых металлов) // Титано-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения: мат-лы Всерос. совещ. М: ИГЕМ РАН, 2006. С. 71–75.
 17. Титано-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения: мат-лы Всерос. совещ. М: ИГЕМ РАН, 2006. 94 с.
 18. Шило Н.А. Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.

Рецензент Б.М. Осовецкий

On the formation of titanium-bearing sea-beach placers and prospects of their discovering in Russia

L. V. Makhlaev, I. I. Golubeva

Institute of Geology, Komi Science Centre, Urals Branch of RAS

The problem of formation of titanium-bearing sea-beach placers (TSBP), that are the main source of modern titanium industry raw material is discussed. Authors prove, that the main supplier of these minerals for such placers are not magmatites (basic, ultrabasic and alkaline rocks), as many specialists believe, but aluminous schistes with a titanium mineralization (titaniferous metapelites). From these positions the positive estimation of discovering of rich modern TSBP in Russia, especially in their northern regions, is given.

Key words: *the titanium, titanium minerals, ilmenite, titanous placers, sea-beach placers, titanous placers formation, placer-forming complexes.*