

УДК 553. 495 (477.5)

Л. Галецкий, д-р геол.-минерал. наук,
Е. Ремезова, канд. геол. наук

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ТИТАНА УКРАИНЫ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.В. Митрохином)

В статье рассмотрены факторы и условия рудоконцентрации месторождений титана различного генезиса. Выявлены закономерности формирования генетического ряда месторождений от коренных до рассыпных. Проведена типизация месторождений, связанных с расслоенными титаноносными интрузиями габбро и намечены перспективы их освоения

The ore-concentration factors and conditions of titanium deposits of a different genesis are considered in the article. The conformities to the natural law of genetic row of deposits forming from primary to placer are exposed. A typification of deposits connected with layered titanium-bearing intrusions of gabbro is conducted and the prospects of their development are outlined

Украина обладает мощной промышленной базой титана. Уровень потенциальных ресурсов титана и мощностей производства ильменитовых концентратов Украины в настоящее время оценивается в 20 % от мирового баланса. Минерально-сырьевая база титана в Советском Союзе формировалась в Украине, которая полностью удовлетворяла потребности страны в титановых концентратах. В бывшем Союзе доля Украины в производстве ильменитовых концентратов составляла 90 %. В настоящее время доля Украины в мировом экспорте титановых концентратов составляет 11 %, в экспорте титана 6 %. Разведанные запасы здесь составляют 40,5 % общих запасов стран СНГ. Коренные месторождения составляют 53,6 % всех запасов месторождений титановых руд Украины [1].

Содержание TiO_2 в коренных рудах месторождений Украины разное: от 4–5 % в бедных разновидностях руд, до 34,2 % в массивных рудах. Ильменит в этих рудах неизменный, это высококачественное сырье, как для производства пигментов, так и для металлургии. Для потребностей металлургии может применяться также титаномагнетитовый концентрат, который, вероятно, будет добываться из некоторых месторождений (Крапивенковское, Давидковское, Володарское).

В настоящее время, когда в мировой титановой промышленности снова наметился рост цен на титановые концентраты, возникла необходимость дальнейшего развития собственной сырьевой базы титана Украины с целью обеспечения ввода новых объектов. В работах [2, 3, 4] рассмотрена рудно-геохимическая специализация габброидных пород анортозит-рапаки-

вигранитных плутонов, отмечены условия образования коренных титановых руд и приуроченность наиболее богатых концентраций титановых минералов к оливиновым разностям габбро. Уникальность упомянутых выше плутонов как рудоносных массивов с фосфортитановой минерализацией и их минералогическо-петрологические особенности отмечены в работе [5]. Геологические особенности и масштаб оруденения, типы месторождений металлогенические эпохи и провинции в пределах бывшего СССР, в т.ч. и для Украины рассмотрены в [6,7]. Наиболее детально металлогения титана проанализирована в [8, 9]. Однако во всех этих работах не выявлены закономерности рудоконцентрации для коренных месторождений титана, приуроченных к расслоенным интрузиям и не прослежен генетический ряд: коренное месторождение-остаточное-россыпь. Изучение этих закономерностей представляется важным, поскольку в современных экономических условиях следует отдать предпочтение комплексной обработке месторождений и осваивать их группами.

Проблемы металлогении титана в связи с этим, являются важными, поскольку дают возможность оценить перспективы обнаружения новых титаноносных объектов, условия и особенности рудоконцентрации в них, взаимосвязи коренных источников и рассыпных месторождений.

Минерально-ресурсная база титана Украины представлена различными по масштабу оруденения и генезису месторождениями, которые находятся на разных стадиях геологического изучения. Основу сырьевой

базы титана Украины составляют месторождения трех геолого-промышленных типов [10]:

1. Коренные магматические месторождения комплексных апатит-ильменитовых руд в габбро-норитах.

2. Экзогенные (остаточные) месторождения кор выветривания основных титаносодержащих пород.

3. Ильменитовые и комплексные рутил-ильменит-цирконовые россыпи.

Наиболее крупными магматогенными месторождениями являются Стремигородское и Федоровское, приуроченные к Коростенскому плутону. Они представлены расслоенными интрузиями габброидов, в которых выделяется до 10–12 слоев пород [11].

Весьма необычной особенностью всех рассмотренных рудоносных массивов является расположение горизонта наиболее основных пород в их центральных частях, как правило, выше нижнего (внешнего) мезолейкократового горизонта. Представление о разновременном поступлении нескольких, по крайней мере, двух порций магм, несмотря на кажущуюся простоту и логичность, противоречит имеющимся геологическим материалам. В этом отношении, альтернатива – в поступлении единой порции расплава, с последующей его раскристаллизацией и образованием расслоенности, выглядит значительно более правдоподобной. Такой вывод требует признания более поздней консолидации центрального в разрезе меланократового горизонта, средний состав которого приближается к ультраосновному, что не отличается от традиционных взглядов о направленности кристаллизации.

Существуют два механизма образования меланократовых слоев в составе расслоенных титаносных интрузий.

1. Возрастание основности в последовательно формирующейся серии пород возможно вследствие смещения ликвидусных котектических линий системы, при поступлении в неё поливалентных кислотообразующих катионов. Такая добавка должна способствовать возрастанию доли мостикового кислорода в расплаве, а как следствие, полимеризации и укреплению силикатных каркасообразующих комплексов, активность которых при этом возрастает. В процессе возрастания активности силикатных полимерных комплексов, поддержание равновесия кристалл-расплав требует уменьшения содержания этих комплексов в расплаве (уменьшения доли мостикового кислорода), и состав расплава должен сместиться в область обеднения силикатными каркасообразующими ионами. По этой причине, поле кристаллизации каркасных минералов (полевых шпатов, кварца) – наиболее кислых, расширяется. И котектики между полями более кислых и более основных фаз системы смещаются в сторону последних. Если добавление поливалентного кислотного компонента в расплав происходит постепенно, при фракционировании расплава, то и продукты кристаллизации, протекающей в процессе такого смещения, будут всё более основными. Для объектов, содержащих апатит-ильменитовые руды, в качестве поливалентного кислотного компонента, естественно рассматривать фосфор – ионы $[\text{PO}_4]^{3-}$.

2. Гравитационная сортировка кристаллизующихся минеральных зёрен, в условиях высокой плотности расплава, достаточно высокой для всплывания зёрен плагиоклаза. Тогда, на дно магматической камеры на момент кристаллизации будут оседать тяжёлые оливины и пироксены. Основная масса плагиоклаза должна всплывать в верхнюю часть магматической камеры, с образованием здесь зоны флотационных кумулатов.

Для выяснения условий рудоконцентрации обработаны геологические и петрохимические данные по коренным месторождениям и проявлениям апатит-ильменитовых руд в расслоенных рудоносных массивах коростенского комплекса Украинского щита (УЩ). В результате статистической переинтерпретации выделено два типа коренных месторождений (Стремигород-Давидки и Федоровка-Крапивенка). Предложено соответственно две модели их происхождения, строения, особенностей химизма, которыми определяются направления и стратегия поисковых работ на Коростенском и Корсунь-Новомиргородском плутонах УЩ. Эти модели сводятся к вышеописанным: тип Федоровского месторождения и Стремигородского [12].

Своеобразный тип титаносных массив представляет Юровский массив. На начальном этапе (рис. 1) он представлял собой лополит, отдельные зоны которого наблюдаются ныне на западе тела (меланократовые породы) и востоке (лейкократовая безрудная толща). Такая асимметрия возникла в результате действия перемещений по тектоническим блокам в зоне Рудня-Хочинского разлома и эрозии, которая вывела на поверхность эти пачки.

В процессе становления Юровского массива проявилась кислотно-основная тенденция. Возрастание концентрации фосфора в расплаве должно привести к смещению равновесия силикатных полимерных комплексов и основ, причем таким образом, что состав расплава и продукты его кристаллизации будут становиться все более основными, что было показано для нескольких массивов Коростенского плутона [12]. Фосфор содержался не только в самой магме, но и мог поступать вначале пневматолитово-гидротермальной стадии из глубинных флюидов. В породах массиву выявлено две генерации апатита, причем одна из них образовалась за счет насыщения флюидами. Для этого же массива характерна и сульфидная минерализация. Сульфидные минералы (пирротин, пирит, пентландит, халькопирит) образуют отдельные рассеянные кристаллы, сростки с ильменитом, т.е. образовались одновременно с последним. Бедность сульфидного оруденения обусловлена сложными тектоническими процессами в Суцано-Пержанской зоне, которые не образовывали ловушек для задержки магмы и ее дополнительной дифференциации, не способствовали увеличению фугитивности кислорода, т.е. условий образования богатых сульфидных руд, подобных норильским. В то же время тектонические процессы способствовали перераспределению титанового оруденения: наибольшие концентрации ильменита наблюдаются в более верхней центральной части массива, а на его краях, где падение расслоенности максимальное – они меньше.

По разработанной в ИГН методике выполнен пересчет химических анализов основных пород (титаномангнетит-apatит-ильменитовых, ульвошпинель-содержащих) на нормы. Предложены и применены петрохимические коэффициенты (железистость общая относительная, железистость силикатная относительная, железистость оливина, пироксена и др. показатели) которые отражают эволюцию магматических расплавов при становлении рудоносных интрузий с образованием расслоенности и формированием рудных залежей. Разработаны геохимические поисковые критерии для выявления не вскрытых на поверхности рудных залежей. Отличительной чертой верхних горизонтов рассмотренных рудоносных массивов, является повышенная железистость силикатной составляющей слагающих их пород. Самые верхние части рудоносных интрузий могут характеризоваться низкими содержаниями рудных минералов, а внешне не

слишком отличаться от вмещающих габбро и габбро-анортозитов. Такие породы верхних частей рудоносных массивов должны, однако выделяться среди вмещающих по вышеупомянутому показателю. Соответственно,

геохимические поиски "слепых" апатит-ильменитовых месторождений в пределах массивов габбро-анортозитов Коростенского комплекса могут оказаться весьма результативными.

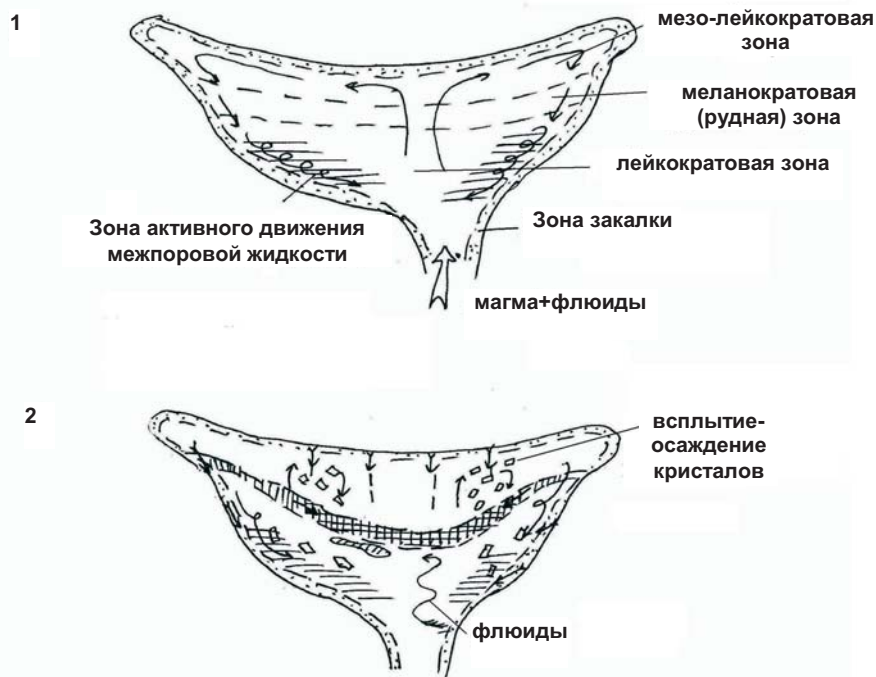


Рис. 1. Схема формирования Юровского титаносного массива.

Широкое развитие сиенитовых пород в верхней части разреза Давидковского массива, является фактом, заставляющим пересмотреть представления о перспективности проявлений сиенитовых пород в пределах Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов на глубину.

Большинство известных коренных месторождений титана Украины приурочено к габбро-анортозитовой формации (возраст 1,6–1,8 млн лет). Однако исходные высокоглиноземистые базальты не имели четко выраженной специализации на титан. Согласно разработанной нами модели, оказавшись, впоследствии, на более высоких уровнях – в толще коры, в обстановке значительно более низких давлений, высокоглинозёмистая магма окажется неустойчивой и будет сбрасывать избыток плагиоклаза в кумуляты. Исключительно чётко проявлено стремление и титана и фосфора накапливаться в остаточных порциях магмы, совместно с магнием и железом, в процессе ухода из расплава кристаллизующегося плагиоклаза. В результате наиболее меланократовые разности будут обогащаться на титан. Сам по себе, такой процесс концентрирования чаще всего не будет самодостаточным для возникновения промышленно значимых концентраций металлов. Однако он может способствовать усилению, или запуску иных процессов их перераспределения и накопления, уже с образованием руд. Комплексы или серии, в которых процесс концентрирования металла, прослеживается от ранних фаз к поздним, и является прямым следствием направленного фракционирования, предлагается именовать динамически специализированными на металл. Соответствующее распределение металла – возрастание его содержания в последующем ряду фаз (фракций) следует именовать динамической специализацией данного комплекса на этот металл.

Кроме того, на основе статистической обработки данных силикатных анализов пород, руд и минералов

установлены механизмы образования титановых руд в пределах двух плутонов УЩ – Коростенского и Корсунь-Новомиргородского. Первый путь реализуется при условии достаточного динамического и длительного проявления течений в кумулятивных слоях, которое имело место как к, так и после ликвации. Создаются предпосылки для дифференциации двух жидкостей после стадии ликвации. В своем крайнем выражении такая дифференциация может привести к образованию весьма богатых руд. В составе пород реализация этого пути оказывается в виде наличия прямой связи рудных фаз с ранними по времени кристаллизации и отложения магнезиально-железистыми силикатами и, одновременно, в проявлении негативной связи рудных с поздними клинопироксенами в интеркумулятивном пространстве. Другой путь связан с проявлением в поровом пространстве течений в ослабленном виде, и раннем их прекращении к началу фазы ликвации. В таких условиях возможности дифференциации и отделения в пространстве силикатной и рудной жидкостей сильно уменьшаются, или совсем исключаются. Ввиду ограничения миграционных возможностей рудной жидкости, предпосылки к образованию богатых руд не создаются. Возможны лишь бедные и небогатые, по большей части тонковкрапленные руды. Такой путь фиксируется в составе пород прямой корреляционной связью ильменита с силикатными компонентами поздних этапов. Именно первый механизм на фоне общей дифференциации исходного расплава приводит к формированию богатых месторождений коренных титановых руд [13].

Таким образом, в результате становления анортозит-рапакивитовых плутонов согласно механизму сбрасывания в кумуляты плагиоклазов, создавались условия для накопления в остаточных расплавах железа и титана. Уникальность этих структур как крупных титаносных массивов объясняется последующими

процессами усиления рудоконцентрации. В дальнейшем происходит запуск процессов перераспределения рудных компонентов и их накопления в промышленных концентрациях. Такому повышению содержаний рудных минералов способствует образование специфических рудоконцентрирующих структур – расслоенных интрузий, где имеет место перераспределение минералов между слоями. В зависимости от степени и условий проявления течений в слоях кумулятов происходит образование более бедных или богатых титановых руд.

Коры выветривания мезозой-кайнозойского возраста, развитые на рудоносных габброидах, – это остаточные месторождения. Среди них известно крупное по запасам Торчинское месторождение. В общих чертах распределение ильменита в корях соответствует распределению его в исходных габброидах.

Коры выветривания на Коростенском плутоне являются промежуточными коллекторами для формирования россыпей. При образовании коры титан выносятся ограниченно, преимущественно за счет разрушения железо-магнезиальных силикатов. Ряд подвижности для коры по рудным троктолитам Коростенского плутона представляется таким образом: $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Si} > \text{Ti} > \text{Al}$. Ильменит в коре изменен незначительно, в результате чего происходит окисление и частичное вынесение железа, и накопление титана. Содержание ильменита в корях по рудным габброидам может достигать 500 кг/м^3 . Ильменит имеет довольно крупные (до 3 мм) зерна [6]. То есть, учитывая относительную стойкость этого минерала, он способен накапливаться в россыпях. Рассыпные месторождения ильменита сформировались в результате размыва кор выветривания габброидных пород. Часто контуры аллювиально-делювиальных россыпей и титаносной коры выветривания совпадают. По отношению к коренным источникам россыпи расположены на расстоянии 5–3 км, это типичные россыпи ближнего сноса.

При анализе структурно-литологических моделей Злобичского рассыпного месторождения ильменита (элювиальная часть россыпи) было выявлено, что в целом распространение площадной коры выветривания подчиняется закономерностям расположения основных форм палеорельефа фундамента. Наиболее высокое залегание коры характерно для центральной части месторождения и в периферийных частях – на крайнем западе и юго-востоке участка. Ход изолиний кровли в целом повторяет расположение их для подошвы, однако поверхность кровли гораздо более расчленена локальными неровностями. Это объясняется дальнейшим размывом коры в дораннемеловую эпоху. Для данной территории было характерно развитие размыва и сноса больших объемов материала с водораздельных пространств. В некоторых случаях возможно омоложение коры в пределах этих форм рельефа. Часто дресвянистая зона имеет здесь большую мощность, чем обычно (4–6 м), дресва некаолинизированная или малокаолинизированная. В палеодепрессиях породы коры выветривания сохранились от размыва. В некоторых случаях контуры повышенного содержания ильменита формируют линейные зоны, тяготеющие к ареалам распространения габбро, и отображают их приуроченность к тектоническим нарушениям. В целом структурно-тектонический фактор образует некоторую мозаичность палеорельефа и мозаичность распространения коры.

На основе построения структурно-литологических моделей отложений полтавской серии, составляющих 75–80 % пласта (на примере выше упомянутого рассыпного месторождения), нами выделены фации и литофации, выявлены закономерности распределения в

них ильменита, повышенные концентрации которого приурочены к микроформам палеорельефа древней долины, вмещающей россыпь [14].

Формирование оруденения начинается в склоновом потоке, исходящем от коренных источников сноса; наиболее крупные фракции ильменита тяготеют к подножьям склонов. Более мелкий ильменит (<0,3 мм) сносился потоками воды далее от бортов долины и претерпевал дальнейший переувлажнение. Образовывался "хвост" или "шлейф" концентраций ильменита по долине. На внешней пойме ильменит накапливался на плоских возвышенных участках, которые в меньшей степени размывались. Более сложные закономерности распределения ильменита характерны для русловой пристречневой фации, где в отдельных местах происходил значительный переувлажнение отложений, в других – накопление рудных минералов.

Следует отметить, что россыпи Волынского титаносного района пространственно совпадают с палеодолинами различного возраста, преимущественно палеоген-неогенового возраста. Часто контуры россыпей вытянуты, повторяют контуры древних долин, как это наблюдается для Очеретянской, Федоровской, Валки-Гацковской и других россыпей. Рядом находятся месторождения коренных титановых руд с развитой по ним корой выветривания. Для района Злобичской россыпи характерны несколько перестроек гидросети, что привело к такому разнообразию фаций и литофаций.

Ильмениты аллювиальных и элювиальных россыпей Коростенского рудного района (Злобичское, Валки-Гацковское, Правобережное, Краснореченское и ряд других) содержат V_2O_5 – 0,23 %, Sc – 0,01 %, что унаследовано от коренных источников, в которые также зафиксированы в повышенных количествах эти элементы. Ильмениты россыпей Иршанской группы месторождений содержат (г/т): Sc – 88,8–91,7; V – 453,6–485,5; Ce – 74,6–98,4; Nb – 194,6–196,0; Ta – 13,7–14,4; Hf – 12,4–15,1; а ильмениты Торчинского остаточного месторождения (г/т): Sc – 74; V – 1800; Nb – 220; Ta – 8,7; Zr – 455; Hf – 15; Co – 88. То есть, источниками формирования россыпей Волынского титаносного района были расслоенные интрузии габбро.

Для Правобережного, Левобережного и некоторых других рассыпных районов характерны прибрежно-морские россыпи, имеющие сложное строение и образованные часто за счет переувлажнения не только кор выветривания, но более древних песков [6]. Закономерности распространения ильменита в них подчиняются течениям в палеобассейнах. Древние долины служили здесь путями транспортировки титановых минералов, выносимых с Украинского щита, а ловушками служили разные микроформы рельефа дна прибрежной зоны. Для выяснения процессов рудоконцентрации этих россыпей следует также построить структурно-литологические модели.

Основные ресурсы титана Украины сегодня сосредоточены в больших ильменитовых и ильменит-рутил-циркононовых рассыпных месторождениях. Кроме того, в пределах Украины расположено крупнейшее в Европе Стремгородское коренное месторождение, являющееся комплексным (титан, фосфор, ванадий, скандий, сырье для производства строительных материалов). Оработка титановых объектов с позиций комплексности позволит обеспечить их рациональное освоение и значительно повысить рентабельность их дальнейшей разработки. В ближайшем будущем главной задачей является подготовка к освоению коренных месторождений, которые заменят выбывающие мощности активно обрабатываемых россыпей.

1. Галецький Л.С., Ремезова О.О. Титанові руди України // Геолог України. – 2007. – № 3. – С. 51–61. 2. Личак И.П. Петрология Коростенского плутона. – К.: Наук. думка, 1983. – 248 с. 3. Кононов Ю.В. Металлоносность габброидных пород Украинского щита. – К.: Наук. думка, 1985. – 156 с. 4. Тарасенко В.С., Металиди С.В. Условия образования титановых руд в габброидах Чеповичского габбро–анортозитового массива (Коростенский плутон) // Геол. Журнал. – 1983. – Т. 43. – Вып. 3. – С. 16–26. 5. Кривдік С.Г., Дубина О.В., Гуравський Т.В. Деякі мінералогічні та петрологічні особливості рудноносних (фосфор, титан) габброїдів анортозит-ралаківігранітних плутонів Українського щита // Мінералогічний журнал. – 2008. – 30, № 4. – С. 41–57. 6. Справочник по рудам чорних металлов. – М., 1985. 7. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. – К.: Наук. думка, 1975. 8. Металлогения Украины и Молдавии. – К., 1974. 9. Атлас "Геология та корисні копалини України". – К., 2001. 10. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. – Т. 1. Металлические полезные ископаемые // Гурский Д.С., Есипчук К.Е., Калинин В.И. и др. – Киев-Львов: Центр Европы, 2005. – 785 с. 11. Ремезова Е.А. Гео-

лого-геохимическая модель Федоровского коренного месторождения титана // Мат. Междунар. конф. Ті-2009 в СНГ. Одесса, 17–20 мая 2009 г. – К., 2009. – С. 163–169. 12. Галецький Л., Ремезова О. Моделі формування розшарованих титаноносних інтрузивів Українського щита // Стан і перспективи сучасної геологічної освіти і науки. Тези доповідей наук. конф., присвяченої 65-річчю геологічного факультету Львівського національного університету ім. Івана Франка. – Львів, ЛНУ, 2010. – С. 42–43. 13. Галецький Л., Комський М., Ремезова О. Особливості складу порід коростенського комплексу і походження корінних титанових руд // Вісник Київ. національн. ун-ту ім. Тараса Шевченка, сер. Геологія. – 2011. № 52. – С. 9–13. 14. Хрущов Д.П., Лобасов А.П., Ремезова Е.А., Кирпач Ю.В., Степанюк А.В., Сивальнева Т.В. Цифровые структурно-литологические модели как информационно-аналитическая основа для принятия решений по эксплуатации и охране минеральных ресурсов и геологической среды // V Міжнародна науково-практична конференція "Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення" 7–11 вересня 2009 р., Алушта, 2009. – Т. II. – К., 2009. – С. 60–65.

Надійшла до редколегії 20.11.11