

6. Симонов В.А., Куренков С.А., Тикунов Ю.В. и др. Новые данные о возрасте офиолитов Полярного Урала / Тектоника и геодинамика: Общие и региональные аспекты. Т. 2. М.: ГЕОС, 1998. С.181-183.

7. Шмелев В.Р. Базит-гипербазитовые комплексы севера Урала: геохимическая специализация и петрогенезис // Геология Урала и сопредельных территорий. Сб. науч. трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 124-135.

ИЛЬМЕНИТОВЫЕ И ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ В СВЯЗИ С УЛЬТРАБАЗИТОВЫМИ И БАЗИТОВЫМИ КОМПЛЕКСАМИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ И КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Пахомов Ф.П.

*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья, Москва, Россия
e-mail: pfpwork@gmail.com*

ILMENITE AND TITANOMAGNETITE DEPOSITES OF RUSSIA CONNECTED WITH ULTRABASIC AND BASIC MASSIVES: DISCOVERY POTENTIAL AND COMPLEX USE

Bykhovsky L.Z., Tiginov L.P., Pakhomov F.P.

*All-Russian Scientific Institute Mineral Resources, Moscow, Russia
e-mail: pfpwork@gmail.com*

More than forty deposits of titanomagnetite ores are explored, proved and substantially estimated in Russia. Ores of titanomagnetite deposits, as a rule complex iron-titan-vanadium, besides from ore concentrates, processing wastes and host rocks can get extraction Sc, Cu, Co, Ni, Au, Pt, Pd, apatite and alumina. Simple conditions of mining, technology of enrichment and extraction a lot of useful components makes these deposits more economic potential. In first time geologists and technologists get more interest in biggest deposits and mining projects like: Bolshoy Sejim, Chinejsky, Southeast Gremjaha, Harlovsky, Kool-taiga, Pudozhgorsky, Kojkarsky, deposits of Dzhugdzhursky group, etc.

Титаномagnetитовые руды в настоящее время являются одним из ведущих промышленных типов железорудных месторождений и основным видом минерального сырья для получения ванадия ильменит-титаномagnetитовый тип этих руд – важный источник получения титана. Они традиционно относятся к позднемагматическому классу магматогенных месторождений, пространственно и генетически связаны с ультрабазит-базитовыми комплексами.

Титаномagnetитовые месторождения разведаны во многих странах мира: в ЮАР, Канаде, Норвегии, КНР, Украине. В России известны в Карелии, на Кольском полуострове и Урале, в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке.

В структуре запасов, титана и ванадия титаномagnetитовые руды занимают значительную долю: за рубежом с этим промышленным типом связано 6,5% подтвержденных запасов железных руд, около 60% запасов TiO_2 и более 90% запасов V_2O_5 ; в России эти цифры составляют соответственно 13, 48 и 92%.

Руды титаномagnetитовых месторождений комплексные железо-титан-ванадиевые. Содержание и соотношение титана, ванадия и железа в них варьирует в широких пределах: они могут быть существенно титановыми или существенно железо-ванадиевыми. Промышленную ценность месторождений повышает наличие ванадия. Кроме того, в ряде месторождений выявлены извлекаемые количества Sc, Cu, Co, Ni, Au, Pt, Pd и др. В рудных и породообразующих минералах содержится скандий в ильменитах (60-80, до 500 г/т) и в пироксенах (до 240 г/т). Этот тип руд может стать основным источником большого количества сравнительно дешевого скандия. Кроме того, руды титаномagnetитовых месторождений содержащих апатит, могут обогащаться с

получением из них концентрата, содержащего 36-38% P_2O_5 . С учетом значительных объемов добычи руд при освоении титаномагнетитовых месторождений (10-50 млн. т в год), они могут стать одним из основных источников фосфатного сырья регионального значения. Из вмещающих пород некоторых месторождений (Куранахское, Джугдурская группа) пород, возможно попутное получение глиноземсодержащего сырья, отходы обогащения состоящие из «чистых» анортозитов содержат 24-26% Al_2O_3 и менее 3% SiO_2

Наиболее яркими примерами освоения и промышленного использования титаномагнетитовых руд за рубежом являются месторождения Бушвельдского массива (ЮАР), Лак-Тио (Канада), Паньжихуань (КНР) и др.

Для получения товарных титановых шлаков используются лишь богатые по титану руды (сод. $TiO_2 > 30\%$) канадских месторождений. Остальные, за исключением ильменит-титаномагнетитовых, перерабатываются только на железо и ванадий. Руды, содержащие свободный ильменит, могут подвергаться специальному обогащению для его выделения: (месторождения США, Финляндии, Норвегии, Украины, России).

При содержании в титаномагнетитовых рудах (концентратах) TiO_2 выше 4,0% возникают трудности в процессе доменной выплавки чугуна. Руды и концентраты с более высокими содержаниями TiO_2 могут использоваться в доменном процессе в шихте с обычными железными рудами. Для самостоятельного использования богатые по железу руды, особенно содержащие ильменит, должны подвергаться предварительному обогащению с целью получения ильменитового концентрата и снижения содержания TiO_2 в титаномагнетитовом продукте.

Россия, наряду с Канадой, ЮАР, КНР и др. странами, обладает огромными запасами титаномагнетитовых руд – около 50% их мировых запасов. Всего на территории России выявлено, разведано и в различной степени оценено более 40 месторождений титаномагнетитов, важной особенностью титаномагнетитов является возможность отработки этих месторождений открытым способом. Главными минералами этих месторождений являются титаномагнетит, ильменит, реже перовскит, магнетит и апатит. Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ на 01.01.2008 г. учтены запасы железных руд 7 титаномагнетитовых месторождений (Гусевское, Собственно Качканарское, Первоуральское, Висимское, Гора Малый Куйбасс, Чинейское, Куранахское), и запасы титаномагнетита в 2 месторождениях комплексных апатит-нефелиновых руд (Юкспорское, Кукисвумчорское). Запасы титана учтены в 5 месторождениях, в т.ч. 3 представленные ильменит-титаномагнетитовыми рудами (Медведевское, Чинейское, Копанское), 1 – титаномагнетитовыми (Подлысанская группа) и 1 – апатит-ильменит-титаномагнетитовыми (Кручининское). Запасы титана учтены также в двух аллювиальных титаномагнетит-ильменитовых россыпях – бассейна р. Ай на Урале и Ариадненское на Дальнем Востоке.

Многие титан-ванадий-железорудные месторождения наряду с титаномагнетитом содержат ильменит. Соотношения этих двух минералов в руде могут варьировать в очень широких пределах. Так же в большом диапазоне – от 1-2 до 16% – может колебаться и содержание TiO_2 в титаномагнетите. В связи с существенным влиянием на качество титаномагнетитовых руд содержания в них свободного ильменита и возможностью выделения его в самостоятельный концентрат целесообразно классифицировать их по величине соотношений ильменитовой и титаномагнетитовой составляющих:

1. *Существенно ильменитовые руды* с подчиненным количеством титаномагнетита. Месторождения этих руд содержат 7-14% TiO_2 и 15-30% $Fe_{общ}$. К ним относятся Юго-Восточная Гремяха в Мурманской области, Медведевское в Челябинской, Кручининское в Читинской, Большой Сейим, Куранахское в Амурской, Ариадненское в Приморском крае.

2. *Ильменит-титаномагнетитовые руды*, в которых ильменит содержится в подчиненном количестве, а титан в основном (~ на 75%) связан с титаномагнетитом. Для руд этой группы месторождений характерны более низкие содержания титана и близкие – железа: $TiO_2 = 5-7\%$, $Fe_{общ} = 15-36\%$. Наиболее яркими представителями являются месторождения Копанское на Урале, Харловское на Алтае, Чинейское в Читинской обл. и др.

Руды некоторых месторождений этой группы (например, Чинейское) на отдельных участках представлены массивным ильменит-титаномагнетитовым агрегатом, содержащим 51-60% Fe, 8,9-9,1% TiO_2 , 0,8-1,0% V_2O_5 . Даже при столь высоком содержании железа руды целесообразно

подвергать обогащению для выделения ильменитового и титаномагнетитового концентратов.

3. *Титаномагнетитовые руды* с низким (менее 10%) содержанием ильменита. К этому типу можно отнести месторождения Уральского региона (Гусевогорское, Качканарское, Первоуральское, Волковское, Суоямское и др.), Пудожгорское и Койкарское в Карелии, Подлысанское и Малотагульское (Вост. Сибирь): для них характерны низкие содержания железа (15-30% Fe) и титана (1-6% TiO₂). Эти руды требуют обязательного предварительного обогащения, при котором выделяется малотитанистый титаномагнетитовый концентрат и возможно выделение небольшого количества ильменитового концентрата. В первом при содержании 55-63% Fe_{общ.} количество TiO₂ обычно не превышает 5%.

Прибрежно-морские и аллювиальные россыпные месторождения титаномагнетита и ильменита. Их минеральный состав обусловлен типом руд коренного источника. Прибрежно-морские россыпи широко распространены в Новой Зеландии, где интенсивно эксплуатируются и перерабатываются по технологии электроплавки, а в Японии и Китае – по доменной технологии. Известны они и в прибрежно-морских ареалах Курильской гряды и на Камчатке.

Характеризуя промышленную ценность титаномагнетитовых руд, следует отметить, что многие из них отличаются чистотой по сере и фосфору – вредным примесям в чугунах и сталях.

Изложенные данные позволяют сформулировать следующие выводы и предложения.

1. Использование титаномагнетитовых руд как железорудного сырья можно считать задачей, решенной промышленностью: например, в Уральском регионе они являются ведущим типом руд, обеспечивающим 86% добычи железных руд. Важным условием их использования является обязательное обогащение руд с целью получения низкотитанистого (до 2-3% TiO₂) титаномагнетитового концентрата. Для руд второго и третьего технологических типов (ильменитсодержащие титаномагнетитовые руды) желательна выделение кондиционного ильменитового концентрата.

2. Все технологические типы титаномагнетитовых руд и получаемых из них одноименных концентратов содержат 0,5-1,5 V₂O₅: во всем мире они являются основным минерально-сырьевым источником получения ванадиевой продукции.

3. В месторождениях титаномагнетитовых руд необходимо выделять богатые ильменитсодержащие типы, позволяющие при обогащении получать ильменитовые концентраты, содержащие не менее 42% TiO₂, кондиционные по красящим примесям (P, V, Nb, Cr, Mn, Cu, Ni). Ильменитовые концентраты этих месторождений являются наиболее качественным сырьем для получения пигментного диоксида титана по сернокислотной технологии. Требуется изучения возможность использования титаномагнетитовых концентратов и для получения титановой продукции: для переработки их на титановые шлаки, титановые пигменты и другую титановую продукцию.

4. Неуклонное возрастание роли титаномагнетитовых руд в добыче железорудного, титанового и ванадиевого сырья – реальность XXI века. Это обусловлено, во-первых истощением запасов магнетитовых руд для открытого способа добычи. Во-вторых, благодаря своим горно-геологическим и минералого-технологическим особенностям – широкому распространению, крупным запасам, сравнительно простому геологическому строению (I и II группа по сложности); возможностям открытого способа отработки, простой технологии обогащения, позволяющей получать железорудные концентраты с низкими содержаниями вредных примесей – серы и фосфора, высокой комплексности руд, использованию отходов (щебень и др.). Пристальное внимание следует уделить оценке возможностей использования анортозитов, содержащих более 24% Al₂O₃, как сырья для производства глинозема.

5. Освоение титаномагнетитовых месторождений, руды которых содержат апатит, позволило бы решить проблему обеспечения сельскохозяйственных предприятий Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока фосфорными удобрениями: резкое сокращение транспортного пути позволит снизить цену на продукты переработки апатита.

6. Месторождения титаномагнетитовых руд требуют дальнейшего углубленного изучения, геолого-экономической оценки и вовлечения в промышленное освоение, особенно в регионах с развитым металлургическим производством и дефицитом магнетитовых руд.

В первую очередь усилия геологов и технологов следует направить на изучение и оценку таких крупных титан-ванадий-железорудных месторождений: Большой Сейим, Чинейское, Харловское, Куль-Тайга, Пудожгорское, Койкарское, месторождений Джугджурской группы и др.

Комплексный характер этих руд, содержащих редкие, благородные и цветные металлы, повышает интерес недропользователей к этому виду сырья. Железо-титан-ванадиевые и ильменитовые концентраты, несомненно, представляют интерес как чрезвычайно выгодная экспортная продукция.

**МОДЕЛИ РАСТВОРИМОСТИ СЕРЫ В БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМАХ:
ПРИМЕНЕНИЕ К ПРОБЛЕМАМ ФОРМИРОВАНИЯ СУЛЬФИДНОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЙОКО-ДОВЫРЕНСКОГО РАССЛОЕННОГО МАССИВА**

Бычков К.А.*, Арискин А.А.*, Данюшевский Л.В.****

**Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия*

e-mail: kb@na.ru, ariskin@rambler.ru

***Тасманийский университет, Хобарт, Австралия*

e-mail: l.dan@utas.edu.au

**MODELS OF SULFUR SOLUBILITY IN BASALTIC MAGMAS:
APPLICATION TO PROBLEMS OF THE FORMATION
OF SULFIDE MINERALIZATION OF THE IOKO-DOVYREN LAYERED MASSIF**

Bychkov K.A.*, Ariskin A.A.*, Danyushevsky L.V.****

**Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia*

e-mail: kb@na.ru, ariskin@rambler.ru

***University of Tasmania (CODES), Hobart, Australia*

e-mail: l.dan@utas.edu.au

Details of calibration and applications of four models, describing sulfur solubility in basaltic magmas, have been considered [1, 3, 4, 9]. The latter model was found to demonstrate most accurate calculations of sulfur contents at sulfide saturation both for experimental and natural melts. Contrary to other developments it is able to reproduce positive correlation S vs FeO observed in MORB glasses with falling temperature. Application of this model to derivatives of a parental Dovyren magma allows one to forecast existence of two solubility minima at its liquid line of descent: the first one corresponds to onset of *Ol-Pl* crystallization at $T \sim 1190^\circ\text{C}$, whereas the second minimum is expected to appear at $T < 1125^\circ\text{C}$ in the field of reaction replacement of olivine with orthopyroxene and pigeonite.

За последние 20 лет было предложено с десяток моделей растворимости серы в синтетических и природных силикатных расплавах [1-10]. По методу калибровки уравнений насыщения их можно разделить на три группы: (1) модели, построенные для открытых в отношении летучести серы систем [3, 7, 8, 10], (2) уравнения, основанные на концепции сульфоемкости («sulfur capacity») силикатных расплавов [11], в которых влияние f_{S_2} учитывается не напрямую, а путем использования дополнительных калибровочных параметров [9], и (3) модели, разработанные для закрытых систем, в которых положение поверхности насыщения сульфидной фазой является функцией состава расплава (включая содержание S_2), температуры и давления $\pm f_{\text{O}_2}$ [1, 3-6]. Большинство этих разработок ориентированы на расчет содержания серы в расплаве при условии насыщении сульфидом («sulfur contents at sulfide saturation», SCSS) для определенного состава магмы или серии дериватов, полученных в результате магматического фракционирования. Некоторые могут применяться и к вулканическим газосодержащим системам [7, 8, 10], тогда как их использование в исследованиях процессов кристаллизации магм, особенно протекающих в условиях закрытых магматических камер (при отсутствии информации о f_{S_2}), проблематично.

Это справедливо и в отношении «сульфоемкостных моделей», которые комбинируют экспериментальные данные, полученные в безжелезистых и железосодержащих системах при за-