

УДК 553.042

*Л.З. Быховский, Ф.П. Пахомов, М.А. Турлова*

**МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТИТАНОМАГNETИТОВЫХ И ИЛЬМЕНИТОВЫХ  
МАГМАТОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ**

Семинар № 8

**В** последние годы во всем мире и особенно в России, резко возрос интерес к месторождениям ильменит-титаномагнетитовых руд.

Титаномагнетитовые месторождения традиционно относятся к позднемагматическому классу магматогенных месторождений. Они приурочены к расслоенным массивам ультраосновных и основных пород на древних платформах и к габброидным массивам в складчатых областях. Выдержанные пластовые залежи прослеживаются на многие километры при мощности в несколько метров, часто встречаются жилло- и штокообразные рудные тела, контролируемые разрывными нарушениями.

Титаномагнетитовые руды - важный промышленный источник железа, ванадия и титана. С этим промышленным типом связано 6,5 % подтвержденных запасов железных руд, более 90 % запасов пентоксида ванадия и около 60 % запасов диоксида титана. В России эти цифры составляют соответственно 13, 92 и 48 %. Наряду с железом, ванадием и титаном эти руды отличаются повышенными содержаниями некоторых цветных, редких и благородных металлов. Как сырье для производства высококачественного глинозема представляют интерес высокоглиноземные анортозиты (28-37 %  $Al_2O_3$ ), часто являющиеся

вмещающими породами титаномагнетитового оруденения.

Роль титаномагнетитовых руд для получения железа и ванадия возрастает, во-первых, в связи с истощением запасов магнетитовых руд для открытого способа добычи; во-вторых, благодаря своим положительным горно-геологическим и минералого-технологическим особенностям - широкому распространению, крупным запасам, сравнительно простому геологическому строению; возможностям карьерной отработки, простой технологии обогащения, позволяющей получать железорудные концентраты с низкими содержаниями вредных примесей - серы и фосфора, высокой комплексности руд, использованию отходов (щебень и др.) и т.д.

Использование титаномагнетитовых руд как железнорудного сырья можно считать решенной промышленностью задачей: например, в Уральском регионе они являются ведущим типом руд. Важным условием их использования является обязательное обогащение руд с целью получения высокожелезистого ( $Fe_{\text{общ}} - 55-65 \%$ ) титаномагнетитового концентрата и снижения содержания в нем диоксида титана, т.к. для нормального хода доменной плавки содержание  $TiO_2$  в исходном сырье не должно превышать 4 %.

Для получения товарных титановых шлаков в промышленности используются лишь богатые по титану ( $\text{TiO}_2 > 30 \%$ ) руды канадских месторождений. Остальные руды, содержащие свободный ильменит, подвергаются обогащению для выделения ильменитового концентрата, который перерабатывается отдельно как собственно титановое высококачественное сырье. Это экономически целесообразно при содержании ильменита в руде более 5 %. Таковыми являются месторождения США, Финляндии и Норвегии.

Большинство титаномагнетитовых концентратов, получаемых из различных типов руд, содержат 0,5-1,5 % пентоксида ванадия (5-15 кг/т  $\text{V}_2\text{O}_5$ ), для России и во всем мире они являются основным источником получения ванадиевой продукции. Промышленная технология производства ванадиевой продукции освоена на металлургических заводах Урала и Тульской области.

На уровне укрупненных лабораторных исследований имеются успехи переработки титаномагнетитовых концентратов на титан. Ильменитовые концентраты должны содержать не менее 42 %  $\text{TiO}_2$ . Они являются наиболее качественным сырьем для получения пигментного диоксида титана по сернокислотной технологии, так как содержат низкие концентрации хрома, фосфора и других вредных примесей.

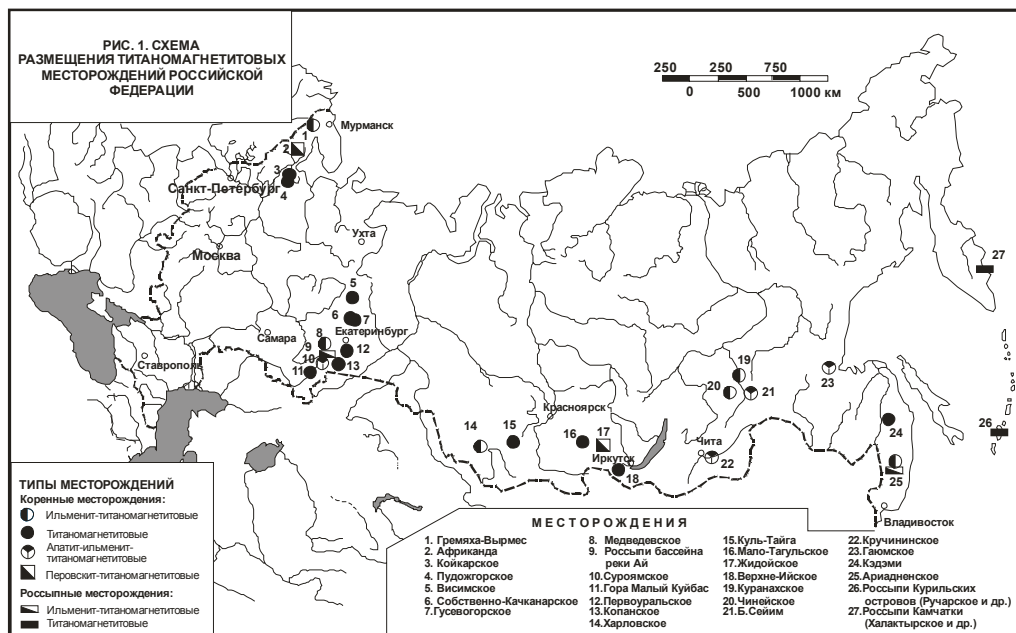
Из руд Волковского и Первоуральского месторождений на Урале наряду с титаномагнетитовым концентратом, получают высококачественный медный концентрат. Содержания меди, кобальта, никеля в количестве сотых-десятых долей процента известны и в других титаномагнетитовых месторождениях.

Практически постоянными элементами-примесями всех титаномагнетитовых руд являются редкие элементы - скандий, галлий, германий и др., а также благородные металлы. Скандий присутствует в титаномагнетите в количестве 10-120 г/т, в ильменитах - 40-100 г/т, а в пироксенитах Гусевогорского месторождения до 140-240 г/т; эти содержания в ильменитах и пироксенитах расцениваются как промышленные. В значительных количествах в титаномагнетитах присутствует галлий - от 20 до 45 г/т; отмечается присутствие палладия и платины от 0,1 до 0,3г/т, родия - от 0,01 до 0,15г/т, иридия - до 0,01г/т, золота до 0,3г/т. Золото отмечается как в самородном виде, так и присутствует в пирите, халькопирите и других минералах.

Из отходов обогащения титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения разработана технология извлечения скандия, ильменита и благородных металлов.

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

Россия наряду с Канадой, ЮАР, КНР и другими странами, обладает огромными запасами титаномагнетитовых ванадийсодержащих руд - около 50 % мировых запасов железных руд этого типа. Всего на территории России выявлено и в различной степени оценено более 40 месторождений (рисунок). Главными минералами этих месторождений являются титаномагнетит, ильменит, иногда перовскит и магнетит. Соотношение главных рудообразующих минералов меняется от существенно титаномагнетитовых с ильменитом, магнетитом до существенно ильменитовых с магнетитом, титаномагнетитом. В ряде место-



рождений промышленное значение имеет апатит.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации в титаномагнетитовых месторождениях учитываются запасы железных руд, титана и ванадия (таблица). На начало 2006 г. запасы по трем компонентам (железные руды, титан и ванадий) учтены только в Чинейском месторождении. В 2006 г. ТКЗ Амурской области утвердила запасы железных руд и ванадия месторождения Куранах. В ближайшее время ожидается постановка на Государственный баланс запасов железных руд и титана месторождения Юго-Восточная Гре- мяха.

**Куранахское месторождение** расположено на севере Амурской области, в 20 км южнее БАМа. По результатам поисково-оценочных работ по состоянию на 01.01.2004 г. подсчитано 23 млн. т руды со средним содержанием  $TiO_2$  9,6 % (при бортовом содержании  $TiO_2$  5 %),  $Fe_{общ}$  – 39 %. Месторождение может от-

рабатываться открытым способом. Руды легкообогащаемые, ильменитовые концентраты высокого качества, пригодны для переработки по сульфатной технологии. Выполненные в ВИМСе, Уральском институте металлов (УИМ) и Научно-исследовательском институте минеральных пигментных материалов в г. Челябинске технологические исследования и технико-экономические расчеты показали высокую рентабельность будущего ГОКа, значительно больший экономический эффект может быть достигнут при строительстве завода по производству диоксида титана в зоне БАМ.

Лицензия на освоение месторождения выдана ООО «Олекминский рудник» (дочернее предприятие ОАО «Покровский рудник»).

В настоящее время здесь завершаются разведочные работы, в ВИМСе проводятся дополнительные укрупненно-лабораторные технологические исследования, во ВНИИпромтехнологии составляется проект ГОКа, а немецкой

*Месторождения титаномагнетитовых руд магматической формации, учитываемые Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2006 г. по железным рудам, титану и ванадию*

Месторождение	Fe	Ti	V
Пудожгорское	+		+
Собственно-Качканарское	+		
Гусевогорское	+		+
Первоуральское	+		+
Висимское	+		
Волковское	+		
Гора Малый Куйбас	+		
Чинейское	+	+	+
Медведевское		+	
Куранахское		+	
Копанское		+	+
Кручининское		+	
Подлысанская группа		+	

фирмой Sachtleben Chemie GmbH, которая является одним из мировых лидеров в данной области, – проект завода по производству 150 тыс. т диоксида титана (при добыче 2,2 млн т руды в год).

Не меньшие промышленные перспективы имеют богатые руды расположенного рядом крупного месторождения апатит-ильменит-титаномагнетитовых руд – **Большой Сейим** с прогнозными ресурсами более 22 млн. т  $TiO_2$ . Месторождение требует доизучения и укрупненных технологических испытаний. Оно расположено в относительно благоприятных географических условиях: в 25 км от трассы БАМ в Тындинском районе Амурской области. Среднее содержание титана около 11 %  $TiO_2$ .

**Чинейское месторождение** в Читинской области расположено в Куларском районе в 65 км от ст. Новая Чара на БАМе. К месторождению построена железная дорога и была проведена его опытная отработка. В результате разведочных работ выявлено 34 рудных тела, из них 11 основных, заключающих 90,6 % запасов для открытого способа добы-

чи. Руды содержат 33,2 % титаномагнетита и 0,83 % ильменита.

Содержание в руде: Fe – 34,64 %,  $TiO_2$  – 6,76 %,  $V_2O_5$  – 0,55 %. В титаномагнетите сосредоточено 65,8 %  $TiO_2$  (отн.), в ильмените – 24,7 %, в нерудных минералах – 9,5 %. В результате мокрой магнитной сепарации можно получать титаномагнетитовые (Fe-Ti-V) и ильменитовый концентраты, щебень, пески. Извлечение Fe – 79,3 %,  $TiO_2$  – 68,1%,  $V_2O_5$  – 83 %. Возможность получения из чинейских руд кондиционной титановой продукции пока не установлена: руды требуют крупнообъемных технологических и металлургических исследований.

На стадии геолого-поисковых работ изучено **Харловское** месторождение – одно из крупнейших месторождений ильменит-титаномагнетитовых руд в Южной Сибири. Месторождение расположено в северо-западной части Горного Алтая, недалеко от Белорецкого и Инского железорудных месторождений, которые могли бы явиться сырьевой базой для проектирования и строительства нового самостоятельного горно-обога-

тительного предприятия по добыче и переработке железных руд для снабжения Западно-Сибирского металлургического комбината.

Содержание  $TiO_2$  в харловских рудах составляет в среднем около 7,0 %, т.е. это обычные средние по качеству титановые руды. Железо в них содержится в количестве 15,0-23,0  $Fe_{общ}$  (или в среднем около 18,5 %  $Fe_{общ}$ ). Таким образом, по содержанию железа и особенно титана руды Харловского месторождения богаче руд эксплуатируемого Качканарского месторождения.

Еще одним полезным минералом харловских руд может быть плагиоклаз – по составу битовнит-анортит. В очищенном плагиоклазовом концентрате содержалось 32 %  $Al_2O_3$ , что на 4% больше, чем в наиболее высококачественных небокситовых рудах глинозема – урритах Кия-Шалтырс-кого месторождения.

Таким образом, Харловское месторождение может быть перспективным комплексным алюминиево-железотитанованадиевым месторождением, которое в случае решения проблем переработки его руд может расширить сырьевую базу этих ком-понентов для заводов Сибири.

Среди других месторождений коренных руд предварительно оцененных и не учтенных Госбалансом интерес представляют месторождения Гремяха-Вырмес и Пудожгорское.

Месторождение **Гремяха-Вырмес** расположено в Кольском районе Мурманской области. Рудоносный массив Гремяха-Вырмес, к которому приурочено месторождение, сложен комплексом пород щелочно-габброид-ной формации протерозоя. Рудная минерализация в породах основного состава представлена апатитом, ильменитом, титаномагнетитом. По результатам поисково-

оценочных работ определены общие запасы титан-фосфорных руд – 1,7 млрд т со средним содержанием 2,84 %  $P_2O_5$  и 5,53 %  $TiO_2$ . Руды являются бедными. Они обогащаются получением апатитового (39 %  $P_2O_5$ ) и ильменитового (49 %  $TiO_2$ ) концентратов.

Более перспективными являются выявленные в его юго-восточной части титаномагнетит-ильменитовые руды, содержащие в среднем 10-20 %  $TiO_2$  – участок Южный. Суммарно подсчитанные запасы руды на участке Южный оцениваются по кат.  $C_1 + C_2$  в 330 млн т при среднем содержании  $TiO_2 = 10,7$  % и  $Fe_{общ.} = 23,17$  %. При этом в центральной части рудного тела выделяется 150 млн. т более богатых руд с содержаниями 12,5 %  $TiO_2$  и 25,94 %  $Fe_{общ.}$

Содержание  $TiO_2$  в ильменитовом концентрате составляет в среднем 47 %. По своему составу и физическим свойствам ильменит месторождения Гремяха-Вырмес (участок Южный) является практически неизменным минералом, он легко вскрывается серной кислотой и может стать хорошим минеральным сырьем для сернокислотной переработки его на пигментный диоксид титана.

Содержания  $TiO_2$  в титаномагнетитовом концентрате – 9 %,  $Fe_{(общ.)} \sim 58,4$  %.

Технико-экономические расчеты, выполненные в Гиредмете, показали рентабельность добычи обогащенных титановых руд Южного месторождения Гремяха-Вырмес и их переработку с использованием свободных мощностей Оленегорского и Мончегорского комбинатов.

В республике Карелия выявлены два однотипных месторождения титаномагнетитовых – Fe-Ti-V-руд с сульфидами и благородными металлами – **Пудожгорское** и **Койкарское**.

**Пудожгорское месторождение** расположено в Медвежьегорском районе республики Карелия на восточном берегу Онежского озера и приурочено к массиву габбро-диа-базов протерозойского возраста. Содержание титаномагнетита увеличивается вверх по разрезу и на расстоянии 20 м от подошвы достигает 45-70 %, выше – отмечается зона более бедных руд. Руда содержит 28 % Fe, 8 % TiO<sub>2</sub>, 37 % SiO<sub>2</sub>, 12 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 % CaO, 3,5 % MgO, 0,36 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,76 % S, 0,12 % P; Cu, Co, Au, Pt, Pd (сумма благородных металлов 0,8-1,0 %). Выделяются относительно богатые руды с содержаниями более 25 % Fe, 8,45 % TiO<sub>2</sub> и бедные, содержащие 20-25 % Fe, 6,4 % TiO<sub>2</sub>.

Ресурсы титаномагнетитовых руд оцениваются в 300 млн т для открытого способа добычи. Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом, борнитом, пирротинном. Их суммарное содержание не превышает 1 %.

Схема обогащения, разработанная в институте Механобр (1931-1966 гг.), обеспечивает получение высококачественного по содержанию Fe, TiO<sub>2</sub> и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> концентрата. Флотацией хвостов ММС выделяется сульфидный концентрат с Cu, Co, Au, Pt и Pd: выход медного концентрата составляет 0,9 % при содержании в нем Cu – 23,11 %.

Пудожгорские титаномагнетитовые руды – одни из самых богатых ванадием в России. Высокое качество титаномагнетитовых концентратов из руд Пудожгорского месторождения объясняется также низким содержанием фосфора (0,023 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и хрома (0,029 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

На Кузнецком МК проведены опытные работы по получению высокованадистого шлака. В результате 10 плавков получен шлак, содержащий 18,11-32,0 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Восемь плавков дали содержа-

ние V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> от 27,5 до 32 %, что находится на уровне лучшего в мире шлака ЮАР (26-28 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Суммарные ресурсы Пудожгорского и Койкарского титаномагнетитовых месторождений оцениваются в 550-600 млн т руды, содержащей Fe, Ti, V, Co, Cu, Au, Pt, Pd что позволяет говорить о возможностях создания в республике Карелия крупной минерально-сырьевой базы титана в комплексных рудах.

Наряду с титаномагнетитовыми месторождениями, в России есть и другие, уникальные в геолого-генетическом отношении месторождения титансодержащих руд, из которых можно получать концентраты титаномагнетита попутно. К ним относятся руды хибинских апатитовых месторождений, из которых при обогащении попутно получают титаномагнетитовый (60 % Fe<sub>общ</sub>, 15 % TiO<sub>2</sub>, 0,55 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и сфеновый концентраты. Известны перовскит-титаномагнетитовые руды месторождения Африканда и Жидойского массива, из которых можно выделять перовскитовый и титаномагнетитовый (66,5 % Fe<sub>общ</sub>, 3-12 % TiO<sub>2</sub>, 0,07 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) концентраты.

Помимо месторождений титана в России и странах дальнего зарубежья, весьма крупные ильменитовые месторождения с титаномагнетитом известны в Украине – Стремигородское и Федоровское. Коренные руды первого содержат 14-15 % Fe, 6,5-7,5 % TiO<sub>2</sub>, 0,01-0,1 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; среднее содержание V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в ильмените – 0,17 %. Титаномагнетит Федоровского месторождения содержит 46,8-58,8 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9,4-23,7 % TiO<sub>2</sub> и 0,5-2,4 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. В ильмените с этого месторождения содержание TiO<sub>2</sub> – 48,42, Fe<sub>общ</sub> – 46 %; отмечаются повышенные содержания ванадия (0,08-0,73 %) и скандия (до 135 г/т).

Месторождения титаномагнетитовых руд требуют углубленного изучения, геолого-экономической оценки и вовлечения в промышленное использование, особенно в регионах с развитым металлургическим производством. Усилия геологов и технологов следует направить на изучение и оценку таких крупных комплексных Ti-V-Fe месторождений как Чинейское, Харловское, Куль-

Тайга, Гремяха-Вырмес, Большой Сейим, Куранахское, Пудожгорское, Суроямское и др. Именно месторождения подобных типов могут стать для России надежными источниками минерального сырья для получения железа, ванадия, титана, скандия и других редких элементов, благородных металлов, а также глинозема.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоненко Л. К., Архипов Г. И., Бергман И. А. и др. Железородная база России. М.: Изд. «Геоинформмарк», 1998.
2. Быховский Л. З., Тигунов Л. П., Зубков Л. Б. Титаномагнетитовые руды – новый взгляд на промышленное использование // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2003. - № 3. – с. 6-14.
3. Быховский Л. З., Тигунов Л. П., Зубков Л. Б. Титаномагнетитовые руды России: состояние и перспективы освоения / «Минеральное сырье». Серия геолого-экономическая, № 17, М.: Изд-во ВИМС, 2005, 104 с.
4. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Железные руды. М., 2006 г.
5. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Ванадий. М., 2006 г.
6. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Титан. М., 2006 г.
7. Дерябин Ю. А., Смирнов Л. А., Дерябин А. А. Перспективы переработки чинейских титаномагнетитов. Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издательство, 1999.
8. Смирнов Л. А., Тигунов Л. П. и др. Куранахское ильменит-титаномагнетитовое месторождение. Екатеринбург, 2004. **ИЛАС**

#### Коротко об авторах

Быховский Л. З. – доктор геолого-минералогических наук, зав. сектором редких металлов,  
Пахомов Ф. П. – младший научный сотрудник,  
Турлова М. А. – младший научный сотрудник,  
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского».

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 8 симпозиума «Неделя горняка-2007».  
Рецензент д-р техн. наук, проф. В. А. Харченко.

