

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

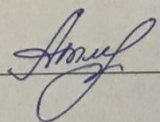
Научный доклад

по теме научно-квалификационной работы (диссертации)

**Физико-химические основы комплексной переработки черного  
титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес с  
извлечением титана и ванадия**

Направление подготовки: 22.06.01 Технологии материалов  
Направленность подготовки Металлургия черных, цветных и редких металлов  
Научная специальность 05.16.02 Металлургия черных, цветных и редких металлов  
Отрасль науки Технические науки

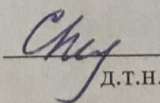
Аспирант



Атмаджиди Александра Ставровна

Научный руководитель:

Зав. лаб. № 1



д.т.н. Садыхов Гусейнгулу Бахлул оглы

Москва 2020 г.

Титаномагнетиты – это комплексное сырье с высоким содержанием ценных компонентов: железа (35-65%), ванадия (0,5-1,5%) и титана (2-14%). В России находятся крупные месторождения титаномагнетитов в основном с высоким содержанием титана (6-14%  $TiO_2$ ), за исключением Качканарского месторождения на Урале (2-4%  $TiO_2$ ).

Переработка титаномагнетитов с извлечением ванадия осуществляется гидро- и пирометаллургическими способами. Гидрометаллургический способ считается эффективным при содержании ванадия более 1%  $V_2O_5$  в титаномагнетитовом концентрате и при использовании титансодержащих железистых остатков в качестве железорудного сырья в черной металлургии. Извлечение ванадия из титаномагнетитов пирометаллургическими способами в промышленности осуществляется в основном по коксодоменной и бескоксовой (электроплавка) схемам. Коксодоменная схема применяется на предприятиях России (Нижне-Тагильский металлургический комбинат, до недавнего времени Чусовской металлургический завод) и Китая (Паньчжихуанский, Мааньшаньский и Чэндэнский металлургические комбинаты). При высоких содержаниях титана эффективной считается электроплавка титаномагнетитов в руднотермических печах после предварительного восстановления концентрата во вращающихся печах (например, «Highveld», ЮАР). Обе схемы включают выплавку из титаномагнетитового концентрата ванадиевого чугуна, содержащего 0,3-1,0% V и выше, продувку ванадиевого чугуна в конвертерах или специальных встряхивающихся ковшах кислородом или воздухом с получением ванадиевого шлака, содержащего 10-25%  $V_2O_5$ . Ванадиевый шлак направляется на гидрометаллургическое извлечение ванадия по схеме «окислительный обжиг – выщелачивание». В этих технологиях сквозное извлечение ванадия достаточно низкое и находится на уровне 50-65% (в зависимости от содержания ванадия в концентрате и применяемого способа), что связано со значительными потерями его (от 10 до 25%) на каждом

переделе производства. Помимо этого, при использовании высокотитанистых титаномагнетитов для достижения максимальной степени перевода ванадия в чугун применение большого количества флюсующих добавок приводит к существенному увеличению выхода отвального титансодержащего шлака (до 700-800 кг/т чугуна) и, следовательно, к увеличению энергетических затрат.

Учитывая актуальность проблемы, в 90-е годы прошлого века в ИМЕТ РАН на титаномагнетитовых концентратах десяти месторождений России проводились многосторонние исследования, и был разработан новый технологический процесс комплексной переработки титаномагнетитов с прямым получением железа и концентрированием ванадия совместно с титаном в шлаке (титанованадиевый шлак), который затем перерабатывается гидрометаллургическим способом с извлечением ванадия и титана. Разработанный процесс в сравнении с существующими позволяет значительно увеличить сквозное извлечение ванадия (в 1,5 раза), а также извлекать титан и исключает образование отвальных титансодержащих шлаков. Но из-за применения электроплавки в данном способе сохраняются большие энергетические затраты.

Развивая данное направление, в последние годы в ИМЕТ РАН проводились исследования по разработке нового одностадийного восстановительного процесса обжига титаномагнетитов с прямым получением железа и комплексного титанованадиевого шлака, пригодного для селективного гидрометаллургического извлечения ванадия и титана. Основными преимуществами способа прямого получения железа применительно к титаномагнетитам являются возможность сохранения рентабельности производства при относительно небольших масштабах производства (около 300 тыс. т металла/год против рентабельной производительности домен около 3 млн т/год), отсутствие дорогостоящей электроплавки, получение гранулированного чугуна или иного стального продукта в виде готового товарного продукта. Таким образом отсутствует необходимость строительства на месте конвертерных цехов и цехов проката.

Такие гранулы легко хранить и транспортировать к месту дальнейшей переработки на существующие производства.

При переработке титаномагнетитов на существующих предприятиях титан не извлекается и направляется в отвал в виде шлаков. Такие шлаки частично перерабатываются на дешевые строительные материалы (например, на НТМК), но, в основном, складировются, пополняя миллионы тонн техногенных промышленных шлаковых отходов. Переработка этих шлаков разрабатываемым нами способом должна позволить получать из них искусственный рутил – сырье для производства пигментного диоксида титана. Пигментный  $TiO_2$  широко используют при производстве пластмасс, красок, а также во многих других отраслях. В России до 2014 г он практически не производился. После присоединения Крыма он производится на ООО «Титановые инвестиции» (бывший ЧАО «Крымский титан») из украинского ильменитового концентрата сульфатным способом (около 80 тыс. т/год). При этом внутренние потребности страны составляют 60-80 тыс. т/год. Таким образом существует проблема импортозамещения такого сырья, т.к. в европейской части нашей страны сырья для производства пигментного диоксида титана не имеется. Олекминский ГОК компании «Петропавловск-Черная металлургия» производит 180 тыс. т ильменитового концентрата на базе Куранахского месторождения (Амурская область), однако весь концентрат направляется на экспорт в Китай и из логистических соображений не может стать сырьем для ООО «Титановые инвестиции».

**Цель диссертационной работы** являлось исследование и разработка новых эффективных процессов извлечения титана, ванадия и железа из чернового титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– исследование вещественного состава и условий обогащения чернового титаномагнетитового концентрата с выделением ильменита в виде отдельного концентрата и удалением нерудных силикатных минералов;

– исследование высокотемпературного восстановительного обжига титаномагнетитового концентрата, распределение ванадия между металлической и шлаковой фазой;

– исследование фазового состава шлака и распределение титана, ванадия и других элементов между шлаковыми фазами;

– исследование процесса селективного извлечения ванадия из титансодержащего шлака по схеме «окислительный обжиг-выщелачивание»;

– термодинамический анализ реакций, протекающих при окислительном обжиге титанованадиевого шлака и изучение химизма процесса обжига;

– исследование и выбор способа получения богатого титанового концентрата из шлака после извлечения ванадия;

– разработка принципиальной технологической схемы переработки чернового титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес и оценка ее экономической эффективности.

В исследованиях был использован черновой титаномагнетитовый концентрат месторождения Гремяха-Вырмес, состав которого представлен в таблице 1. Согласно данным рентенофазового анализа (РФА) этот концентрат, в основном, представлен титаномагнетитом, ильменитом и большим количеством силикатных минералов, такими как оливин  $2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ , альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  и тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (рис. 2).

Таблица 1. Химический состав чернового титаномагнетитового концентрата, %

Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
55,05	78,71	9,14	5,98	0,62	3,80	2,00	1,10	0,15	0,08	0,05

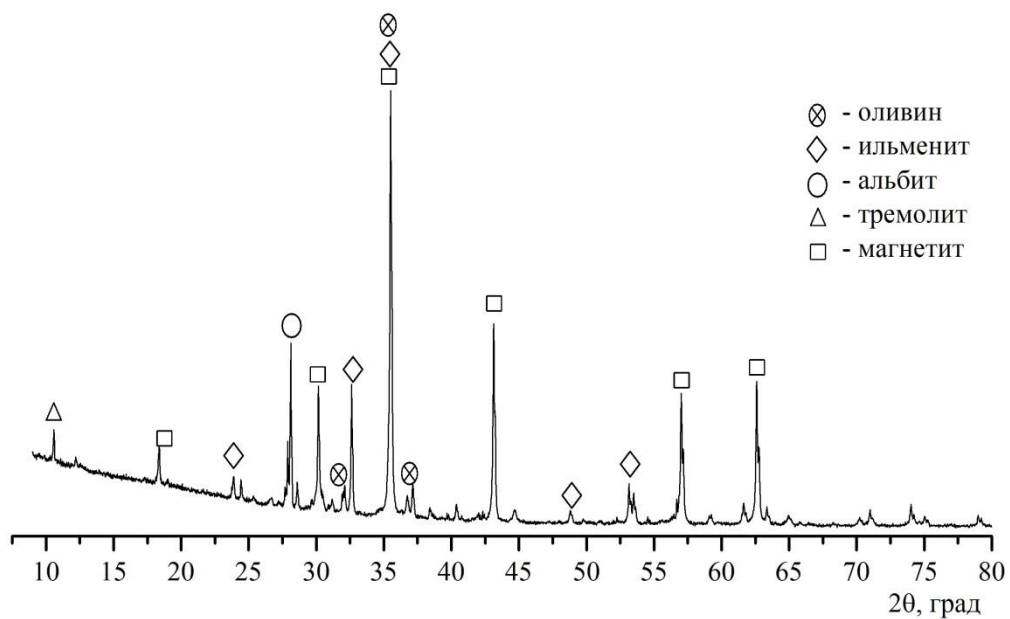


Рис. 2. Дифрактограмма исходного черного титаномагнетитового концентрата

Микроскопический анализ показал, что ильменит и силикаты находятся как в виде свободных зерен, так и в виде сростков с титаномагнетитом. Также было установлено, что наибольшее количество сростков присутствует во фракциях крупностью  $-0,16+0,1$  мм и крупнее (рисунок 3а), а во фракциях крупностью  $-0,1$  мм количество таких сростков минимально (рисунок 3б).

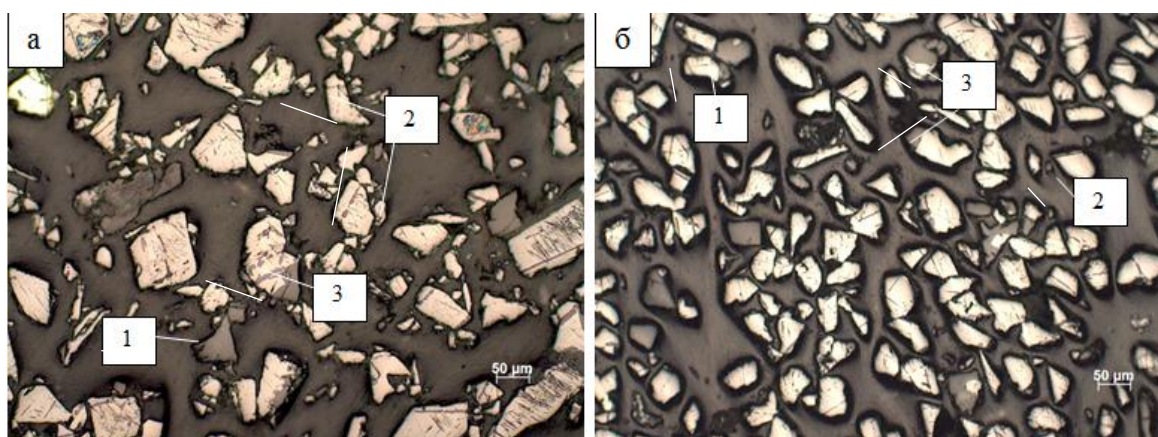


Рис. 3. Микрофотографии черного титаномагнетитового концентрата  
 а – фракция  $-0,16+0,1$  мм; б – фракция  $-0,1$  мм  
 1 – свободные зерна силикатов, 2 – зерна титаномагнетита, 3 – сростки

Таким образом, для наиболее полного механического разделения и

последующего удаления силикатов и ильменита путем мокрой магнитной сепарации необходимо измельчать исходный черновой титаномагнетитовый концентрат до крупности -0,1 мм.

Мокрая магнитная сепарация проводилась на лабораторном сепараторе марки МБС 150·125 методом разделения потока материала на магнитную и немагнитную фракции при магнитной индукции 700-900 мТл. Полученные после сепарации фракции отфильтровывали, высушивали, взвешивали твердый остаток и определяли выход фракций.

В результате мокрой магнитной сепарации предварительно измельченного до -0,1 мм чернового титаномагнетитового концентрата были выделены магнитная и немагнитная фракции, выход которых составил 81,3 и 18,7 %, соответственно. В таблицах 2 и 3 представлены химические составы полученных фракций и распределение основных компонентов.

Таблица 2. Химические составы очищенного титаномагнетитового концентрата и немагнитной фракции

Компоненты	Содержание, %		
	Исходный концентрат	Магнитная (выход 81,3%)	Немагнитная (выход 18,7%)
Fe <sub>общ</sub>	54,05	59,40	26,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	77,21	84,86	38,43
TiO <sub>2</sub>	9,14	6,37	21,18
SiO <sub>2</sub>	5,98	1,43	25,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,80	3,30	5,90
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,62	0,74	0,08
MnO	0,15	0,10	0,36
MgO	2,00	1,36	4,88
SO <sub>3</sub>	1,10	0,82	1,90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,09	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,09	0,28
(K,Na) <sub>2</sub> O	0,35	0,15	1,20

Таблица 3. Распределение основных компонентов по фракциям

Фракция	Магнитная фракция	Немагнитная фракция	Итого
Выход фракции, %	81,3	18,7	100,0
Fe <sub>общ.</sub>	89,3	9,3	98,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	89,3	9,3	98,7
TiO <sub>2</sub>	56,7	43,3	103,0
SiO <sub>2</sub>	19,4	79,7	99,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70,6	29,0	99,6
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	97,0	2,4	99,4

В результате мокрой магнитной сепарации предварительно измельченного до -0,1 мм черного титаномагнетитового концентрата были выделены магнитная и немагнитная фракции, выход которых составил 81,3 и 18,7 %, соответственно. В таблицах 2 и 3 представлены химические составы полученных фракций и распределение основных компонентов.

Было установлено, что с помощью магнитной сепарации удалось до 80% SiO<sub>2</sub> перевести в немагнитную фракцию, и таким образом снизить содержание SiO<sub>2</sub> в концентрате с 5,98% до 1,43%. Содержание TiO<sub>2</sub> снизилось с 9,14% до 6,37% за счет того, что большая часть зерен ильменита ушла в немагнитную фракцию. Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> увеличилось с 77,21% до 84,86%, а содержание V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> возросло с 0,62% до 0,74%.

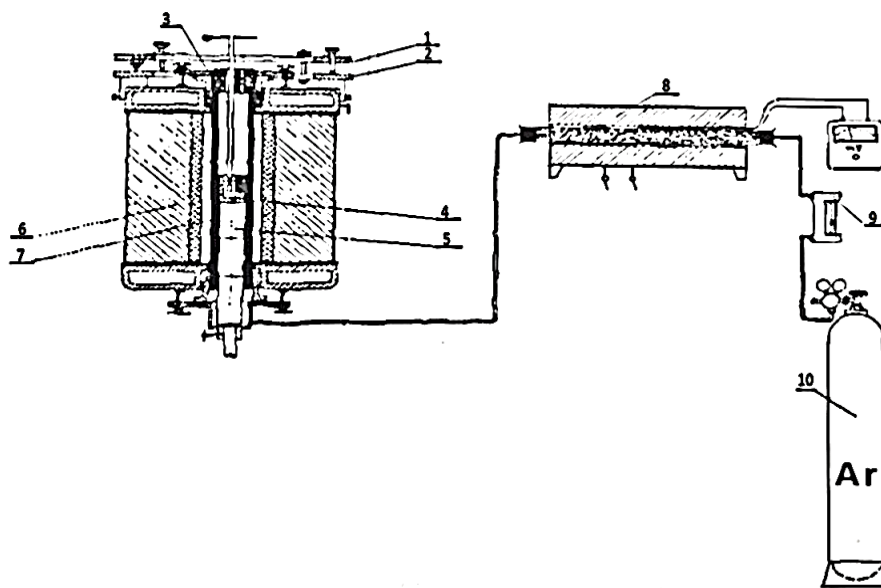
РФА магнитной фракции показал, что она представлена титаномагнетитом с небольшим количеством остаточного ильменита и силикатов; что также подтверждается данными микроскопического анализа. Шпинель, диагностируемая РФА, входит в состав титаномагнетита, как продукт распада твердого раствора.

Немагнитная фракция также анализировалась с помощью РФА и микроскопического анализов, которые показали, что в ней присутствует около 40 % ильменита, остальное альбит, тремолит и оливин. Присутствие в немагнитной фракции значительного количества ильменита делает этот продукт обогащения потенциальным сырьем для получения диоксида титана гидрометаллургическими методами.



В результате сепарации получена магнитная фракция следующего состава 6,37%;  $\text{TiO}_2$ , 59,40%  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ , 1,43%  $\text{SiO}_2$ , 0,74%  $\text{V}_2\text{O}_5$ , который пригоден для дальнейшей переработки для извлечения ванадия, железа и титана. Немагнитная фракция может быть переочищена с целью извлечения ильменитового концентрата, например, флотационными методами.

Далее очищенный титаномагнетитовый концентрат подвергали восстановлению с различными добавками флюсов и восстановителя. В качестве твердого восстановителя использовался кокс. Концентрат, флюсующие добавки  $\text{CaCO}_3$  (2%) и восстановитель (0-15%), измельченные до крупности – 0,1 мм, смешивали в заданных пропорциях и прессовали брикеты по давлению 70-100 кПа/см<sup>2</sup>. Брикет, массой около 6 г помещали в графитовый тигель с графитовой крышкой для предотвращения доступа воздуха к образцу. На дно тигля помещалась угольная подложка (каменный уголь крупностью 1-2 мм). Восстановительный обжиг проводили в вертикальной трубчатой печи Таммана при температурах 1475-1550 °С с подачей аргона. Схематическое изображение печи Таммана показано на рисунке 1. Анализ на содержание ванадия в металле проводили путем растворения его в серной кислоте и химическим анализом полученного раствора.



- 1,2 – нижнее и верхнее опорные кольца,  
 3 – W-Mo- термопара, 4 – графитовый тигель,  
 5 – графитовая подставка, 6 – печь сопротивления,  
 7 – угольный нагреватель, 8 – печь для отчистки аргона,  
 9 – ротаметр, 10 – аргон

Рис. 4 – Схематическое изображение печи Таммана

Очищенный титаномагнетитовый концентрат с добавками кокса и карбоната кальция восстанавливался в интервалах температур 1500-1550 °С с выдержкой 5 мин.

Как видно из графика (рис. 5), наибольшее извлечение железа в металлическую фазу достигается при температуре 1550 °С с добавкой 16% кокса и составляет 98,9%. При добавках кокса 16-17% и температуре 1525 °С наблюдается подплавление шлака, а при повышении температуры до 1550 °С и добавках кокса 14-17% наблюдается хорошее разделение металлической и шлаковой фаз благодаря улучшению условий коагуляции металлического железа. Также было установлено, что в данной области температур с увеличением количества восстановителя от 18% до 22% резко падает извлечение железа в металлическую фазу с 80-85 до 45-50%, из-за перевосстановления шлака и образования тугоплавкой магний-алюминевой шпинели.

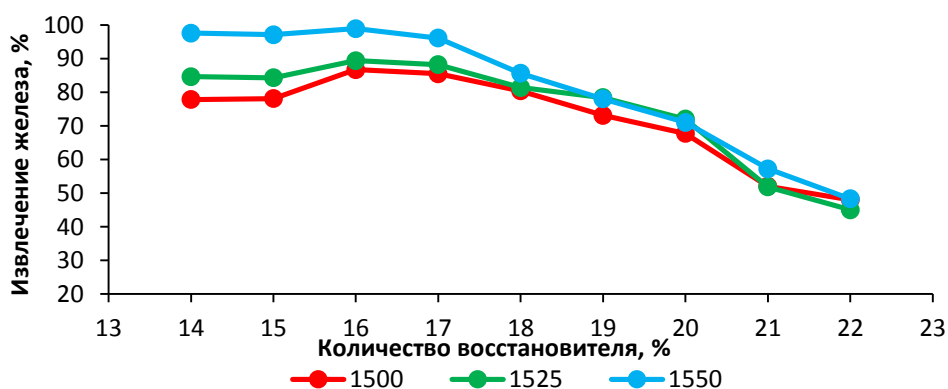


Рис. 5 Зависимость извлечения железа в металл от количества восстановителя при температурах 1500, 1525, 1550 °С и добавки 0,75 %

## CaCO<sub>3</sub>

Согласно данным РФА, в шлаке, полученном при температуре 1500 °С основной фазой является тугоплавкая магний-алюминиевая шпинель, которая при такой температуре не плавится, что приводит к затруднению коагуляции металла. Также образуется вюстит (FeO), это свидетельствует о том, что восстановление железа прошло не до конца, и его извлечение в металлическую фазу снижается. При 1550 °С в шлаке наряду с восстановлением железа происходит более интенсивное восстановление Ti<sup>4+</sup> до Ti<sup>3+</sup>, в результате чего образуется сложное соединение аносовит. Кроме того, при этой температуре происходит расплавление шлака, что приводит к практически полной коагуляции восстановленного железа. О высокой степени восстановления железа говорит отсутствие вюстита. Из микрофотографий шлаков видно, что полученный при этих условиях шлак состоит из призматических кристаллов аносовита, зерен шпинели, стекла и небольшого количества остаточных корольков Fe<sub>м</sub> (рис. 6а). Образование в данных условиях аносовита является благоприятным обстоятельством для дальнейшей переработки шлака с извлечением ванадия и получением искусственного рутила.

Полученный в оптимальных условиях шлак содержит 37,68 % TiO<sub>2</sub>, 8,00 % FeO, 2,12 % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, что делает его потенциальным сырьем для извлечения ванадия и титана. Гранулированный металлический продукт представляет собой металлическое железо со следующими примесями 0,28 % ванадия, 1,92 % углерода, 0,13 % серы, 0,017 % фосфора, 1,21 % кремния.

Как говорилось ранее, было установлено, что большая часть диоксида титана при магнитной сепарации перешла в немагнитную фракцию. Было предложено перерабатывать немагнитную фракцию методами автоклавного выщелачивания с целью извлечения диоксида титана. На рисунке 6 представлена схема переработки.

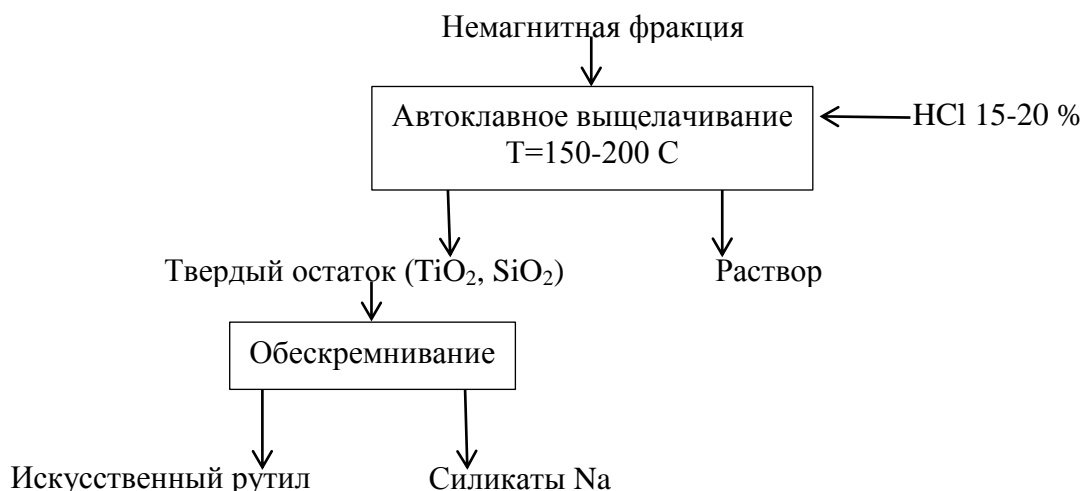


Рис.6. Схема переработки немагнитной фракции

Выводы по работе:

- Произведен аналитический обзор источников по переработке титаномагнетитового концентрата;
- Произведено обогащение черного титаномагнетитового концентрата. в полученной магнитной фракции, представляющей собой титаномагнетитовый концентрат, содержится, %: 6,37  $\text{TiO}_2$ ; 59,40 Feобщ; 1,43  $\text{SiO}_2$ ; 0,74  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Выход концентрата составляет ~81 %, при этом безвозвратные потери железа и ванадия составляют всего 9,3 и 2,4 % соответственно, что позволит при дальнейшей переработке наиболее полно извлекать эти ценные компоненты. Переход ~57 %  $\text{TiO}_2$  в магнитную фракцию позволит получать шлаки с содержанием порядка 40–43 %  $\text{TiO}_2$  и 3–4 %  $\text{V}_2\text{O}_5$ , что делает их перспективным сырьем для извлечения как ванадия, так и титана;
- Очищенный титаномагнетитовый концентрат с добавками кокса и карбоната кальция восстанавливался в интервалах температур 1500–1550 °C с выдержкой 5 мин. Были установлены оптимальные условия твердофазного восстановления обогащенного титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес. Полученный в оптимальных условиях шлак содержит 37,68 %  $\text{TiO}_2$ , 8,00 % FeO, 2,12 %  $\text{V}_2\text{O}_5$ , что делает его потенциальным сырьем для извлечения ванадия

и титана;

- Немагнитная фракция, которая содержит ~40 % ильменита и нерудные силикатные примеси нуждается в дополнительной переработке с целью извлечения диоксида титана. Установлены оптимальные условия получения искусственного рутила, содержащего более 90 % диоксида титана методом автоклавного выщелачивания в соляной кислоте (15-20 %).

Материалы диссертационной работы доложены на следующих конференциях:

«Физико-химические основы металлургических процессов (Москва, ИМЕТ РАН 2017 г.), «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство (Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2017 г.), XXII Международный научный симпозиум имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геоэкологии и освоения недр» (Томск, Томский политехнический университет, 2018), «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды» (Чебоксары, Чувашский государственный университет, 2018), «Дни науки СТИ НИТУ «МИСиС» (Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2018), «Химия и химическая технология в XXI веке» студентов и молодых ученых имени профессора Л. П. Кулева (Томск, Томский политехнический университет, 2018), «Ломоносов-2017» (Москва, Московский государственный университет, 2017), «Ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов» (Москва, ИМЕТ РАН, 2017, 2018, 2019, 2020 гг.)

Диссертация выполнялась в рамках тематического плана института, а также программ и договоров:

1. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор № 12549ГУ/2017). «Разработка эффективного способа переработки титаномагнетитовых концентратов с высоким содержанием диоксида титана».

Публикации по теме диссертации:

1. **Атмаджиди А. С.** Исследование процесса восстановления титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес // XIV Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (Москва, 17-20 октября 2017 г.) – Москва, ИМЕТ РАН, 2017. – С. 409-410.
2. Садыхов Г. Б., Гончаров К. В., **Атмаджиди А. С.**, Олюнина Т. В. Исследование процесса восстановления титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес // Международная научная конференция «Физико-химические основы металлургических процессов (Москва, 14-15 ноября 2017 г.) – Москва: ИМЕТ РАН, 2017. – С. 115.
3. Садыхов Г. Б., Гончаров К. В., **Атмаджиди А. С.**, Олюнина Т. В. Особенности восстановления титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес на угольной подложке // XIV Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство (Старый Оскол, 23-24 ноября 2017 г.) – Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2017. – С. 63-65.
4. Гончаров К. В., **Атмаджиди А. С.** Определение условий восстановления титаномагнетитового концентрата с получением гранулированного металла и титанованадиевого шлака // XXII Международный научный симпозиум имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геоэкологии и освоения недр» (Томск, 2-7 апреля 2018 г) – Томск, Томский политехнический университет, 2018. – Т.2. С. 443-445
5. Садыхов Г. Б., Олюнина Т.В., Гончаров К.В., **Атмаджиди А.С.** Особенности восстановления титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес // VII Всероссийская конференция с международным участием «Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды» (Чебоксары, 19-20 апреля 2018 г). –

Чебоксары, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. – С. 85-86.

6. **Атмаджиди А. С.** Получение кондиционного титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес // XV Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов -Дни науки СТИ НИТУ «МИСиС» (Старый Оскол, 25-26 апреля) – Старый Оскол, СТИ НИТУ «МИСиС, 2018. С.

7. Гончаров К. В., **Атмаджиди А. С.** Восстановление титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес твердым восстановителем // XIX Международная научно-практическая конференция «Химия и химическая технология в XXI веке» студентов и молодых ученых имени профессора Л. П. Кулева (Томск, 21-24 мая) – Томск, Томский политехнический университет, 2018. – С.406-407

8. **Атмаджиди А. С.** Переработка титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес с получением титансодержащего шлака и гранулированного металла // XIV Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (Москва, 17-20 октября 2017 г.) – Москва, ИМЕТ РАН, 2018. – С. 424-425

9. **Атмаджиди А.С.,** Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б. Особенности распределения ванадия между металлом и шлаком при восстановительном обжиге титаномагнетитового концентрата на угольной подложке // Сборник тезисов. Форум «Новые материалы», Том 3. С. 553-557

10. Гончаров К.В., **Атмаджиди А.С.,** Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б. Применение метода прямого получения железа для переработки титаномагнетитового концентрата. Сборник тезисов. Форум «Новые материалы», Том 3. С. 578-581

11. **Атмаджиди А.С.,** Гончаров К.В., Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б. Обогащение черного титаномагнетитового концентрата методом мокрой магнитной сепарации // Цветные металлы. № 9. 2018. С. 19-24

12. **Атмаджиди А.С.**, Гончаров К.В., Садыхов Г.Б., Олюнина Т.В. Комплексная переработка титаномагнетитовых концентратов месторождения Гремяха-Вырмес // Сборник тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Том 3. 2019. С. 107
13. Гончаров К.В., Садыхов Г.Б., Олюнина Т.В., **Атмаджиди А.С.**, Кашеков Д.Ю. Переработка шламов ванадиевого производства с извлечением ванадия // Сборник тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Том 3. 2019. С. 111
14. **Атмаджиди А.С.** Переработка титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес // Сборник тезисов XVI Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». С. 338-339. 2019
15. Гончаров К.В., Кашеков Д.Ю., **Атмаджиди А.С.**, Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б. Получение чистого пентаоксида ванадия при переработке шламов ванадиевого производства // Сборник трудов международной научной конференции «Физико-химические основы металлургических процессов» имени академика А.М. Самарина. (25-28 ноября 2019 г.). С. 118
16. Садыхов Г.Б., Гончаров К.В., **Атмаджиди А.С.**, Олюнина Т.В. Фундаментальные проблемы использования титаномагнетитов как комплексного железо-титан-ванадиевого сырья // Журнал «Металлы»
17. **Атмаджиди А. С.**, Гончаров, К.В., Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б. Переработка титаномагнетитового концентрата месторождения Гремяха-Вырмес с применением метода прямого получения железа // Сборник тезисов. Форум «Новые материалы», Том 2. С. 399-401