

УДК 061.62+550.8:553.494*311(470.8)

Луговская И.Г., Якушина О.И., Печенкин И.Г.,
Прудников И.А. (ФГБУ «ВИМС»)

**ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ВИМСОМ
ТИТАНОВОГО СЫРЬЯ УРАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖ-
ДЕНИЙ**

*Статья посвящена значимости работ, касающихся комплексного подхода к освоению и переработке титаномагнетитов месторождений Урала, выполненных Всероссийским научно-исследовательским институтом минерального сырья. Раскрывается порядок ведения поисково-разведочных работ на месторождениях титанового сырья, методы изучения минерального состава руд и особенностей строения титаномагнетита, в частности, для производства титановых белил. Оценен поиск оптимального способа обогащения минерального сырья в свете развития методологии «комплексного метода» Н.М. Федоровского, при котором могли быть использованы все ценные (полезные) составляющие руды. Трудami сотрудников Института составлена геологическая карта месторождений титаномагнетитов на Урале, проведена их разведка и выполнен подсчет запасов для обеспечения потребностей в минеральном сырье Кусинского комбината. В результате осуществленных работ (1927–1937) создана сырьевая база для отечественной красильной промышленности и для дальнейшего развития титанового и связанного с ним железного и ванадиевого производств. **Ключевые слова:** титаномагнетиты, месторождения, поисково-разведочные работы, методология работ, комплексный метод, обогащение, титановые белила.*

Lugovskaya I.G., Yakushina O.I., Pechenkin I.G., Prudnikov I.A. (VIMS)

**DEVELOPMENT AND ADVANCEMENT OF A
COMPREHENSIVE PROCESSING TECHNOLOGY FOR
TITANOMAGNETITE ORE OF THE URALS DEPOSITS
BY VIMS**

The article is dedicated to the important role of a complex approach to the development and processing of the Urals titanomagnetite deposits in the framework of the scientific research cycle carried out by the All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources. It focuses on the sequence of titanomagnetite deposits prospecting and exploration, methods to study rocks and ores composition, features of titanomagnetite, in particular, for the production of titanium white. The article considers the methodology for finding the optimal way to enrich the minerals, in which all valuable components of the ore could be used. Researchers of the Institute have compiled a geological map of titanomagnetite deposits in the Urals, con-

*ducted their exploration and created reserves to meet the needs for mineral raw materials of the Kussinsky plant. As a result of the work carried out in 1927–1937, a raw material base was created for the domestic paint industry and for the further development of iron and vanadium production. **Keywords:** titanomagnetite, ore deposits, exploration, methodology, complex method, processing, titanium white.*

Россия является крупнейшим производителем металлургического титана и его сплавов (около 30 % мирового рынка). В то же время производство диоксида титана в нашей стране практически отсутствует. Между тем одним из критериев, определяющих высокий уровень развития промышленности страны, считается наличие современных производств, действующих с использованием высоких технологий.

Созданием высоких технологий для промышленности страны еще в 1920-е годы занимался Институт Прикладной Минералогии (ИПМ), правопреемником которого в настоящее время является ВИМС (Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского).

В 1925–1926 гг. ИПМ обратился к разработке проблемы экономики цветных металлов, экспорт которых в СССР непрерывно возрастал. Необходимо было обеспечить металлургические предприятия отечественным сырьем. Одной из существенных статей ввоза являлись металлы для производства красок (цинковые и свинцовые белила). На долю их потребления в то время приходилось более 30 % всего ввозимого металла. В этой связи была начата проработка возможности получения в Советском Союзе титановых белил и освоения минерально-сырьевой базы титана с целью импортозамещения ввозимого сырья.

В начале XX в. наиболее распространенными в красочной промышленности считались свинцовые белила. Однако их токсичность, вызывающая хронические заболевания рабочих, требовала сокращения подобных производств. В то же время цинковые белила и литопон (смесь сульфата бария с сульфидом цинка), способные заменить свинцовые белила, значительно уступали последним по своим техническим качествам.

Кроме экологических проблем, возникающих при производстве белой краски, необходимо было улучшать ее технические показатели, такие как стойкость к различным физико-химическим воздействиям и укрывистость, а также снижать стоимость производства.

Вопросы получения титановых белил и улучшения их свойств решались в лаборатории редких элементов Института Цветной Металлургии и Прикладной Минералогии при участии М.Э. Зборовского и И.И. Искольдского (рис. 1, 2).

В качестве эталонных были выбраны технологии США и Норвегии, где в начале XX столетия возникли



Рис. 1. Зборовский Моисей Эммануилович — сотрудник лаборатории редких элементов ИПМ



Рис. 2. Искольдский Илья Исаакович — аспирант

производства новой краски — титановых белил, совершенно безвредных и превышающих по своей кроющей способности все остальные [2].

Наиболее распространенным способом получения двуокиси титана для титановых белил является получение метатитановой кислоты (H_2TiO_3) путем растворения ильменита в концентрированной серной кислоте при нагревании и последующего гидролиза разбавленного раствора сернокислого титана $Ti(SO_4)_2$. В дальнейшем метатитановую кислоту прокаливают, она теряет воду и получается двуокись титана (TiO_2), которая входит в состав белой краски. Основной проблемой при получении титановых белил было их пожелтение при прокаливании, а также при нанесении на поверхность в смеси с льняным маслом.

В лаборатории ИПМ был поставлен ряд опытов с метатитановой кислотой, содержащей различное количество железа, производились измерения белизны двуокиси титана при различных температурах прокаливания, изучался готовый продукт.

В зарубежной практике двуокиси титана не применялась в чистом виде, использовались продукты разного состава. Так, в Норвегии выпускались смеси под разными марками: «Standard», «Cronos». В состав этих смесей кроме двуокиси титана входили, как правило, сульфат бария ($BaSO_4$) и окись цинка (ZnO).

Специалистами ИПМ были созданы смеси подобные норвежским, и все работы по изучению свойств белил были основаны на сравнении свойств вновь

Таблица 1
Состав смесей, созданных для определения процента белого цвета

Процентное соотношение		Состав
R (комбинация компонентов, предложенная лабораторией ИПМ)	N (комбинация аналогичная норвежским белилам)	
28,1	27,3	TiO_2
48,4	47,8	$BaSO_4$
25,7	24,9	ZnO
2,8	—	$BaCO_3$

создаваемых и норвежских смесей (табл. 1). Фотометрические исследования показали, что процент белого цвета для обеих смесей одинаков.

Выполнение цикла работ, целью которого было изучение вопроса о приготовлении титановых белил на основе метатитановой кислоты и их качестве, позволило сделать следующие выводы.

Был изучен процесс изменения свойств H_2TiO_3 при повышении температуры и установлено, что при низких температурах идет дегидратация. При более высокой температуре происходит его переход из аморфной модификации в кристаллическую фазу и, следовательно, меняется показатель поглощения и рассеяния света.

Оценено влияние соединений железа на желтизну продукта. Отмечено, что при температурах свыше $760^\circ C$ увеличивается скорость реакции окисления сульфата железа $FeSO_4$, содержащегося в виде примеси. Определена норма для содержания железа в белом веществе, которая не должна превышать 0,001—0,002 %. Разработан метод приготовления препарата

С. С. С. Р.
В. С. Н. Х.

Копия
8 сентября 1928 г. № 25419.

Ленинградский
Государственный
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЕСТ.
Завод
„Красный Путиловец“.
Отдел снабжения.

На В/№ 800549.
Институту Прикладной Минералогии
и Металлургии.
г. Москва, Б. Ордынка, 32..

Сообщаем, что полученный от Вас образец титановых белил при испытании дал следующие результаты:

1. Кроющая способность их лучше, чем цинковых и свинцовых белил.
2. Цвет немного темнее цинковых белил.
3. В работе дают интенсивность труда удовлетворительную.
4. Высыхание цинковых белил в течение 10 часов, титановых—14 часов, т.-е. на 4 часа больше.
5. Схватываются сильнее, чем цинковые и свинцовые белила.

В отношении выгорания и стойкости дать заключение в виду короткого времени наблюдения не представляется возможным.

Титановые белила можно признать могущими заменить цинковые и свинцовые, за исключением их стойкости при эксплуатации вагонов, что можно сказать лишь после годичного испытания.

Директор Завода—подпись.
Технич. Директор—подпись.
Зав. Мат. Хоз. Отделом—подпись.

Рис. 3. Заключение о заводских испытаниях образцов титановых белил, разработанных в Институте Прикладной Минералогии

титановых белил, имеющего в своем составе: $BaSO_4$, ZnO , TiO_2 и $BaCO_3$.

Показано, что укрывистость краски зависит не только от ее физико-химических свойств, но и от количества льняного масла. Оптимальное количество льняного масла — 28 % от веса всего продукта.

В результате выполненных исследований были даны рекомендации для производств, собирающихся выпускать титановые белила: не допускать присутствия железа свыше нормы; удалять свободную кислоту прокаливанием при температуре 950 °С; не допускать перекала свыше часа при температуре 950 °С; применять воду, свободную от железных и кальциевых соединений.

Титановые белила, полученные в лаборатории ИПМ, были испытаны в 1928 г. на заводе «Красный Путиловец» в Ленинграде и тресте «Лакокраска» в Москве и получили положительные отзывы специалистов (рис. 3).

Первые благоприятные результаты, полученные в результате испытаний, послужили основой разработки сырьевой базы титана. Имея хорошо организованный разведочный отдел, ИПМ направил на Уральские месторождения титаномагнетитов свои партии, а также привлек к работе сотрудников Уральского отделения института и начал интенсивные поиски сырья. Если бы в составе института не было подразделений для проведения разведочных работ, проблема титаномагнетитов до сих пор оставалась бы нерешенной. Опытные разведчики во главе с инженером П.Н. Марковым (рис. 4) доказали наличие на Урале промышленных месторождений титанового сырья. В 1927 г. были проведены геологоразведочные работы на ильмениты Ильменских и Вишневых гор [3].

В 1935 г. в издании «Путеводитель по Ильменскому Заповеднику» Б.А. Березин писал: «Институт прикладной минералогии и петрографии искал ильменит в районе Савельева лога, Фирсовой и Лохматой гор с сентября 1925 г. и продолжал поиски весь 1926 г. и частично 1927 г.». Работы Института «вскрыли ряд жил и дали удивительную картину новых процессов минералообразования, не наблюдавшуюся ранее, картину превращения ильменита в сфен в условиях пегматитового жильного процесса в среде, пересыщенной известью».

Участие Института прикладной минералогии в изучении Ильмен продолжалось, и в 1928 г. была составлена геологическая карта заповедника и выполнен подсчет запасов титановых руд в Савельевом логу, на Скитской и Лохматой горах.

Полученные в ходе разведки интересные научные данные об ильмените тем не менее не способствовали выявлению крупных объектов, поэтому в 1928 г. начинается интенсивное комплексное изучение титаномагнетитов. Первые разведочные работы были поставлены на Кусинском месторождении с целью обеспечить запасами руд постройку завода титановых белил треста «Лакокраска». Минералого-петрографические исследования руды этого месторождения, проведенные

ИПМ, показали, что титаномагнетиты в основном состоят из смеси ильменита ($TiO_2 \cdot FeO$) и магнетита ($FeO \cdot Fe_2O_3$). Титаномагнетиты содержат ценные примеси: V_2O_5 от 0,4 до 0,9 % и Cr_2O_3 от 0,43 до 1,25 %. Обычные вредные для железных руд примеси — сера и фосфор — здесь почти отсутствуют [8].

В документах Златоустовского заводского архива Кусинское месторождение числилось еще с 1802 г. Несколько раз в начале XIX и XX вв. предпринимались попытки его эксплуатировать, но значительное содержание титана в рудах мешало этому из-за тугоплавкости руды.

Для района горы Магнитка экспедицией была выполнена геологическая съемка в пределах лесных кварталов 62, 61, 51, 50 и 48 Таганайской дачи [4]. Естественные границы района работ: с СЗ — долина р. Куса, с ЮВ — горы Максимилиановская и Протопоп, с СВ — гряда г. Магнитка (4 вершины Магнитных), а на ЮЗ работы продолжались до склона г. Максимилиановская (рис. 5).

Исследования показали, что центральная часть района, приуроченная к вершинам и склонам гряды Магнитка, сложена изверженными и затем метаморфизованными породами, практически амфиболитами, местами со значительным количеством полевых шпатов, переходящими в породы диоритового типа (рис. 6). Первичными породами для описываемого комплекса, скорее всего, были габбро и пироксениты. В описываемой серии метаморфизованных пород отмечены: роговообманковые сланцы; амфиболиты, главной частью которых являются амфиболы; гранатовые и дистеновые амфиболиты (редко); эпидитовые амфиболиты; амфиболиты со значительным количеством полевых шпатов.

Под микроскопом во многих образцах этих пород были найдены гранат и эпидот, местами хлорит и пирит, а также магнетит, ильменит и реже сфен. Было отмечено, что эти минералы, особенно магнетит и ильменит, взаимно прорастая друг в друга, встречаются наиболее часто в породах близ контактов с рудными штоками; в некоторых случаях видно, как порода по мере приближения к штоку постепенно обогащается рудными минералами, вплоть до перехода от породы к руде.

Полоса амфиболитов вытянута в СВ направлении, слагая гряду Магнитки. На СЗ, как показали геологоразведочные работы, амфиболито-диоритовые породы сменяются известняками. Контакт между ними проходит в СВ направлении, что совпадает с простиранием



Рис. 4. Марков Пётр Николаевич — инженер, возглавивший в конце 1920-х годов геологоразведочные работы ИПМ на титановое сырье на Урале

амфиболитов. С юга и востока породы амфиболитового типа ограничены выходами гранитов и гранито-гнейсов. В этой полосе амфиболитовых пород, зажатой между известняками и гранито-гнейсами, и находится месторождение титаномагнетитов.

Рудные тела титаномагнетитов представляли собой по форме жилообразные штоки, вероятнее всего, магматическо-сегрегационного происхождения, что подтверждается такими признаками, как:

- имеющиеся во многих местах постепенные переходы руды в породу;
- включения в руде минералов, являющихся порообразующими в окружающих породах;

— форма рудных тел, которая меняется в мощности по простиранию и падению.

В пределах гряды Магнитка обнаружено несколько штоков титаномагнетита, мощностью от 0,5 до 12 м. Протяжение амфиболитовой полосы, заключающей в себе прерывающиеся рудные штоки, прослежено на 2 км в СВ направлении.

Были подсчитаны запасы по 5 наиболее мощным штокам. Руда не была однородной: местами она сос-

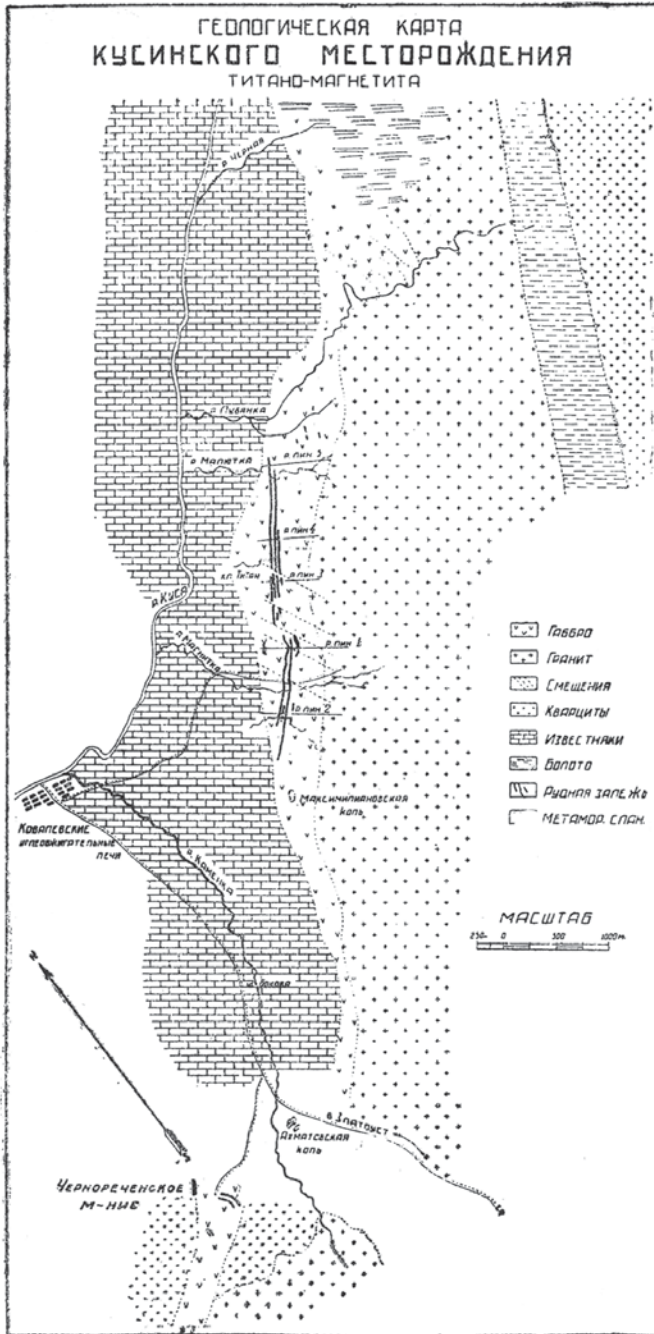


Рис. 5. Геологическая карта Кусинского месторождения

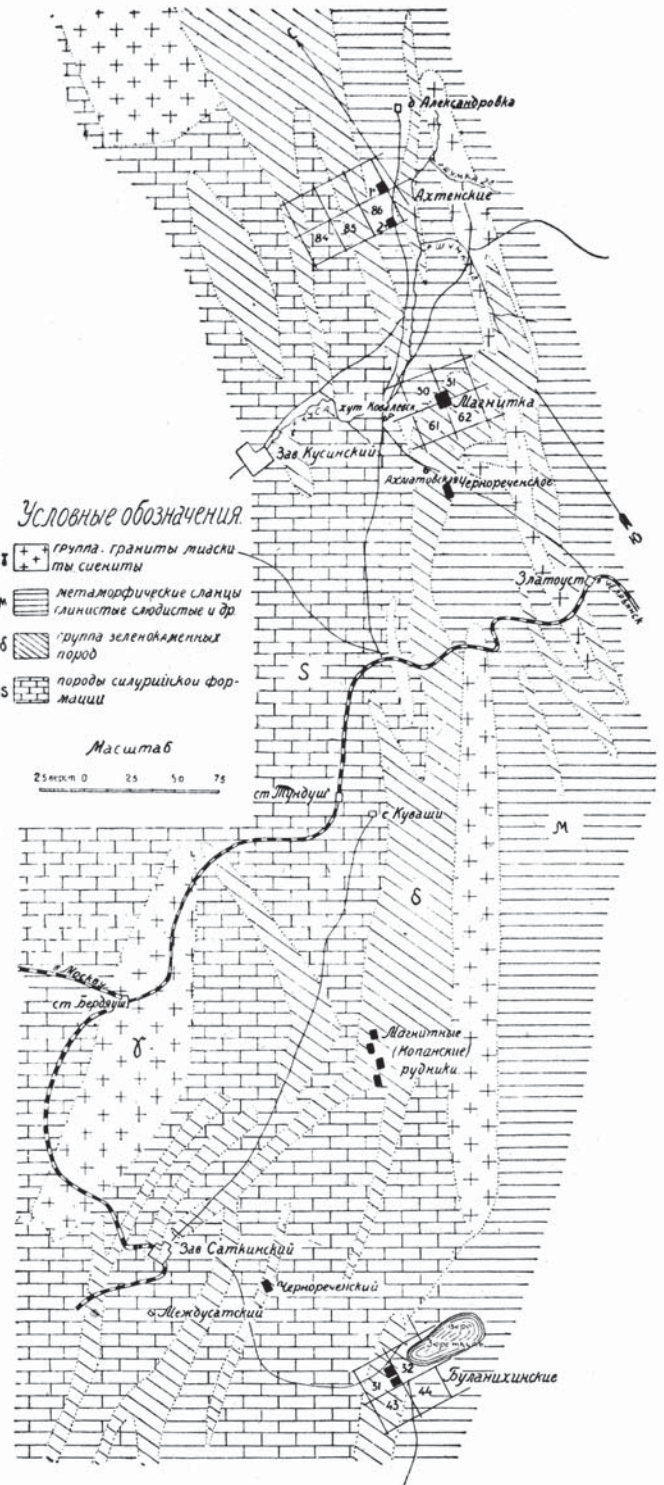


Рис. 6. Геологическая карта северной части Златоустовского округа (по И.В. Мушкетову)



Рис. 7. Пилипенко Павел Прокопьевич — сотрудник ГТО ИПМ — занимался микроструктурными исследованиями титаномагнетитов

тояла из довольно чистого титаномагнетита, но иногда в ней встречались включения роговой обманки, хлорита, эпидота и кое-где пирита. В некоторых участках было отмечено лишь обильное вкрапленные рудных минералов в пустую породу. Такие участки при подсчете не учитывались. При содержании в рудах от 6 до 16 % окиси титана в среднем было принято 10 % TiO_2 , что позволило оценить запасы всех категорий месторождения горы Магнитка в 450 000 т. Дальней-

шие работы на месторождении требовали выяснения распространения руды на глубину, уточнения формы рудных тел и их выдержанности по падению.

В 1928 г. трестом «Лакокраска» указывались цифры необходимого количества TiO_2 в 10 000 т ежегодно для создания титано-белильной промышленности в СССР. При таких требованиях одно только Кусинское месторождение уже являлось солидной базой для производства. Из других месторождений титаномагнетитов в описанной полосе зеленокаменных пород в первую очередь планировалось разведать Копанское и Буланихинское, расположенные к востоку от Саткинского завода; эти месторождения также представляют собой ряд штоков среди амфиболитовых пород.

Микроструктурными исследованиями, выполненными в ИПМ П.П. Пилипенко (рис. 7) [5], было установлено, что титаномагнетиты представляют собой тесное взаимное прорастание мелких зерен ильменита и магнетита. Их разделение магнитным способом на титановую руду (ильменит) и железную (магнетит) будет возможно только после достаточно тонкого их измельчения, что необходимо учитывать. К эксплуатации месторождений должны быть привлечены две отрасли промышленности — красочная и черных металлов.

В результате геологоразведочных работ, выполненных в 1927 и 1928 гг. ИПМ и в 1929–1931 гг. его Уральским отделением [6], на месторождениях титаномагнетитов, начиная на севере с Юбрышкина камня до месторождений Ю. Урала близ оз. Зюраткуль (Копанские и Буланихинские месторождения), а также с учетом

генезиса рудных тел, первоначальных условий их залегания и позднейших изменений, месторождения, заслуживающие внимания промышленности, были сгруппированы по форме в следующие типы:

— шлиры штокообразной формы сегрегационного магматического происхождения, находящиеся среди вмещающих пород, которые содержат вкрапленности рудных минералов, местами с постепенными переходами руды в породу;

— инъекции жилообразной формы магматического происхождения; рудные тела часто разорваны смещениями — сбросами, сдвигами, надвигами и др.;

— месторождения двух вышеуказанных типов, но измененные позднейшим давлением и представляющие собой жилообразные пластины с неправильными оборванными очертаниями среди вмещающих пород.

Поисково-разведочные работы состояли из нескольких стадий.

На стадии поисковых работ, включающих магнитометрическую съемку, обнаруживалось присутствие руды и выяснялись общие границы ее распространения.

Разведка шурфовкой и канавами с использованием топографической съемки, а также детальной магнитометрии для увязки отдельных выходов, позволяла выявить форму рудных тел, подсчитать запасы определенных категорий, рационально спроектировать буровые разведочные работы на разных глубинах.

Буровые работы устанавливали объем и форму отдельных залежей, однако общая увязка разорванных и сдвинутых частей больших штокообразных и жилообразных тел, определение их геометрической формы, объемы и взаимоотношения между собой, развитие на глубину и изменение качества руды с глубиной потребовали глубокого бурения. Лишь в результате выполнения перечисленных работ было возможно подсчитать запасы железа, титана и ванадия на глубоких горизонтах месторождения.

Как отмечал П.Н. Марков [6], анализируя данные инженеров И.И. Малышева и П.Г. Пантелеева из

Таблица 2

Сводка запасов титаномагнетитов по месторождениям Урала, утвержденных секцией подсчета запасов 3-го Всесоюзного совещания по черным металлам 25/II-1932 г. Союзгеологоразведки

Месторождение	Запасы по категориям в тоннах				
	A ₂	B	C ₁	C ₂	A ₂ +B+C ₁ +C ₂
Кусинское	4 931 000	1 566 000	14 000 000	40 000 000	60 597 000
Копанское	—	1 500 000	4 500 000	10 000 000	16 000 000
Чернореченское	—	—	200 000	500 000	700 000
Черно-Уральское	—	1 500 000	4 500 000	4 000 000	10 000 000
Билимбаевское (Галашкинское)	—	100 000	1 000 000	2 000 000	3 100 000
г. Качканар	—	1 000 000	—	30 000 000	31 000 000
г. Юбрышка	—	—	—	10 000 000	10 000 000
Баяновский рудник	—	—	—	520 000	520 000
Прочие	—	—	—	50 000 00	50 000 000
Итого	4 931 000	5 766 000	24 200 000	147 020 000	181 917 000



Рис. 8. В термической лаборатории (конец 1920-х гг.). Брицке Эдгар Викторович (сидит в центре, Шманенков Иван Васильевич (стоит справа)



Рис. 9. Тагиров Кирилл Хасанович

Уральского отделения ИПМ, подсчитанные по кат. А и В запасы могут быть положены в основу при проектировании горных предприятий (табл. 2). Перспективные запасы группы С могли служить базой для дальнейшего развития в СССР титанового и связанных с ними железного и ванадиевого производств.

В уральских титаномагнетитах, помимо железа и титана, была обнаружена пятиокись ванадия (V_2O_5). Перед институтом стояла задача найти такой метод обогащения, при котором могли бы использоваться все ценные руды. Центральным и Уральским отделениями ИПМ были исследованы два направления: доменная плавка в специальных условиях и разделение в газовой фазе.

Первые опытные плавки (1927 г.) были проведены М.Э. Зборовским совместно с инженером П.С. Кусакиным. Был опробован метод непосредственной плавки титаномагнетит-содержащих руд на чугуна, с использованием шихты такого состава, чтобы полученные шлаки содержали достаточное количество окиси титана (30–40 %), т.е. были бы достаточно рентабельны для дальнейшей химической переработки.

Уменьшение содержания окиси титана в шлаках за счет введения в них окиси кальция, кремния, алюминия и марганца, при анализе на TiO_2 дал 58,7 %, имея точку плавления 1262 °С.

В качестве материала для плавки использовали титаномагнетит Кусинского месторождения, содержащий в своем составе 12,2 % TiO_2 , кроме него в состав шихты входили мел и древесный уголь. В результате плавки, проведенных в электрической лабораторной печи, были получены шлаки, обладающие значительной вязкостью и содержащие малое количество TiO_2 — 11,4–25,4 %. Вместе с тем синтетический шлак, выплавленный в электрической печи из чистых материалов — оксидов титана, кальция, кремния, магния, алюминия и марганца, при анализе на TiO_2 дал 58,7 %, имея точку плавления 1262 °С.

Дальнейшие опыты проводились в сконструированной специально для этих целей лабораторной доменной печи. В шихту вводилась каменная соль ($NaCl$) с целью получения шлаков с содержанием 5–10 % Na_2O за счет понижения содержания CaO . Для уменьшения уноса $NaCl$ вводили в металлургический кокс при коксовании. В результате введения каменной соли плавкость и вязкость шлаков заметно понизились, несмотря на повышение содержания окиси титана. Шлак, содержащий 5,14 % Na_2O и 43,32 % TiO_2 , по своей плавкости был аналогичен

Работы по оптимизации условий доменной плавки титаномагнетитов Урала с получением высокопроцентных титанистых шлаков (45–50 % TiO_2), из которых можно было бы извлекать окись титана достаточной чистоты, проводились в Термической лаборатории ИПМ [1]. В работах участвовали Э.В. Брицке, И.В. Шманенков, К.Х. Тагиров (рис. 8, 9, 10). Для эффективного извлечения оксида титана TiO_2 необходимо было получить шлаки, которые содержали бы не более 0,5 % FeO и минимальное количество SiO_2 . Требовалось также повысить легкоплавкость шлаков, что можно было сделать, заменив в шлаках часть CaO на Na_2O с помощью добавки каменной соли в качестве флюса. Подобное изменение состава шлаков могло способствовать их концентрированию за счет ввода сильного основания, каковым является Na_2O .



Рис. 10. Шманенков Иван Васильевич

обычным кислым шлаком (рис. 11). Результаты выполненного исследования привели к выводу о возможности плавки титаномагнетитов в доменной печи с получением чугуна, требуемого для передела качества и шлака, годного как сырье для извлечения TiO_2 . Заводские опыты должны были окончательно проверить данные лабораторного исследования.

Работы по комплексному освоению титаномагнетитов были выполнены при участии сотрудников химико-технологической лаборатория

Уральского отделения ИПМ В.С. Сырокомского, Е.В. Сноповой, Н.И. Роткова [7]. Ими было подчеркнуто, что ранее вопрос об использовании титаномагнетитов не поднимался, так как не было спроса на окись титана, а металлурги предпочитали не использовать титаномагнетиты по причине образования в доменной печи тугоплавких шлаков. В связи с этим необходимо было показать возможность отделения большей части ильменита от магнетита и хлоритовой породы, что давало возможность использовать магнетит, содержащийся в титановых рудах для целей металлургии.

Разработанный Уральским отделением ИПМ способ извлечения TiO_2 из ильменита, обработкой последней концентрированной серной кислотой, имел следующие недостатки: сложность разрушения молекулы ильменита, что требовало неоднократной обработки его серной кислотой; сложность очистки окиси титана от солей железа из-за абсорбции железа свежеосажденной метатитановой кислотой; получение побочного продукта в виде малоценного железного купороса.

Необходимо было найти условия, при которых можно было отделить железо, содержащееся в ильмените, и двуокись титана, легко освобождаемую от примесей. Одним из путей являлось предварительное восстановление окислов железа до металла, благодаря чему разрушалась молекула ильменита. Подобного результата можно было достигнуть, используя восстановительный обжиг при высоких температурах — 600–1100 °С.

При выполнении экспериментальных работ рассматривались такие показатели, как температура начала восстановления и скорость восстановления, являлся химический и петрографический состав руд, величина их измельчения, определялась температура начала восстановления сырой и обожженной при разных температурах руды. Для исследований использовали ильменит с горы Лохматая Миасского месторождения. По данным химического и петрогра-

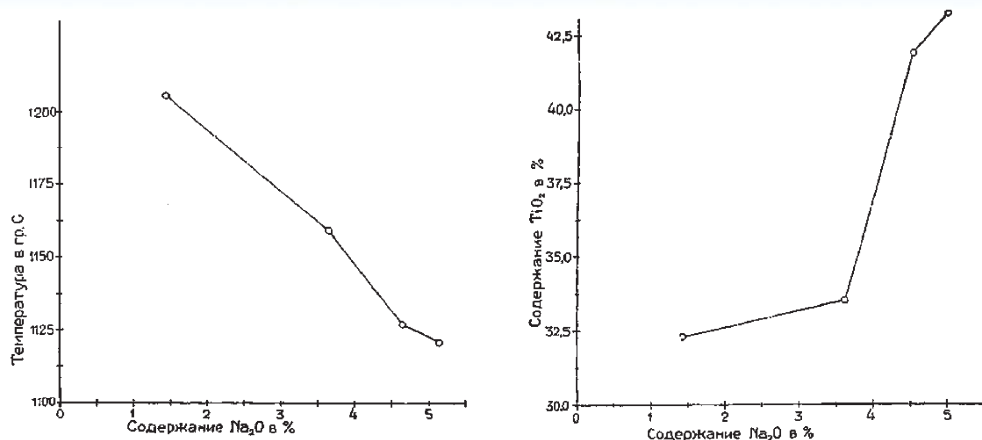


Рис. 11. Зависимости влияния окиси натрия (Na_2O) на увеличение содержания TiO_2 и на понижение плавкости шлаков, полученные в ходе работ по оптимизации процесса доменной плавки титаномагнетитовых руд

фического анализом более 95 % всего минерала состояло из твердого раствора рутила и железного блеска в титанистом железняке [7]. Было установлено, что температура начала восстановления сырой руды выше температуры начала восстановления руд, обожженных ниже 700 °С, и ниже температуры начала восстановления руд, обожженных при 700 °С и выше. Обжиг руд проводили в среде кислорода при температурах 500–1100 °С. Скорость окисления руды резко увеличивалась при 700 °С, а максимальная скорость окисления наблюдалась между 800–900 °С. Опыты по восстановлению проводили с водородом во избежание побочных реакций, которые имели место при использовании в качестве восстановителя окиси углерода. В результате экспериментов было установлено, что скорость восстановления растет с повышением температуры и при температуре 900 °С достигает 100 %.

Выполненная работа показала, что восстановление окислов железа как сырой, так и обожженных руд проходило легко в газовой фазе, и давало возможность подобрать условия для оптимизации процесса восстановления железа, находящегося в ильмените.

Благодаря поддержке Президиумом ВСНХ СССР усилий Института в области комплексного освоения титаномагнетитов были проведены опытные исследования, первоначально на доменной печи производительностью в 60 т, которые дали богатый ванадием чугун и титановые шлаки с содержанием примерно 42 % окиси титана (было выплавлено 151 т ванадистого чугуна и 34 т шлака с окисью титана). Затем проведены успешные опыты на заводе в г. Нижний Тагил (рис. 12).

Для коксования использовалась установка Мушкетовского завода (г. Донецк), бессемерование титаномагнетитовых чугунов проводили на Заводе им. Петровского (г. Днепропетровск). Испытания велись по следующей схеме рациональной переработки титаномагнетитов (рис. 13): плавление в доменной печи на минеральном топливе с целью получения обогащен-

Выписка из протокола постановления президиума ВСНХ СССР.

№ 797 г. Москва, 23 ноября 1931 г.

2. Объединению „Востоксталь“ снабдить не позднее 1/III-1932 года Нижне-Тагильский завод титано-магнетитовой рудой в количестве 9 000 т для проведения опытов по плавке титано-магнетитов на соленом коксе в целях извлечения ванадия в связи с чем: объединению „Востоккокс“ к тому же сроку снабдить Нижне-Тагильский завод соленым коксом в количестве 6 000 т.

Рис. 12. Выписка из протокола постановления президиума ВСНХ СССР о проведении опытной плавки титаномагнетитов на заводе объединения «Востоксталь» в г. Нижний-Тагил

ных титанистых шлаков и хромованадиевого чугуна. При этом более 95 % титана уходило в доменный шлак, 90 % ванадия и хрома переходило в чугун. При переделе чугуна в сталь бессемеровским способом получали качественную хромованадиевую сталь и обогащенные ванадием шлаки для его последующего извлечения.

При переделе чугуна в мартеновских печах непосредственно получали хромованадиевые стали. Для плавки предлагалось использовать малосернистый кузнецкий кокс (Кемеровская коксовая установка). Для коксования смеси каменного угля с каменной солью должны были строиться коксовые печи из силикатного кирпича с высоким содержанием кремнезема. В доменной печи при плавке на соленом коксе хлор,

присутствующий в каменной соли, удалялся в виде хлоридов металлов и не влиял на качество колошниковых газов. Улавливать его из газов предлагалось при мокрой газоочистке или электрофильтрами.

Высокопроцентный титанистый шлак, побочный продукт доменного производства, должен был поступать на химический завод для получения окиси титана по технологии, разработанной ИПМ, кроме этого он мог быть употреблен в цементной промышленности для производства быстро схватывающих титанистых цементов, в стекольной промышленности.

Высококачественный хромованадиевый чугун планировали направлять в передел в бессемеровский и мартеновские цеха. При бессемеровании, наряду с получением высококачественной стали, содержащей до 0,1 % ванадия и 0,2 % хрома, получали обогащенные ванадием шлаки (V_2O_5 7–10 %).

Схема химико-технологического комбината, планируемого к постройке, включала: коксохимический завод для производства соленого кокса; металлур-

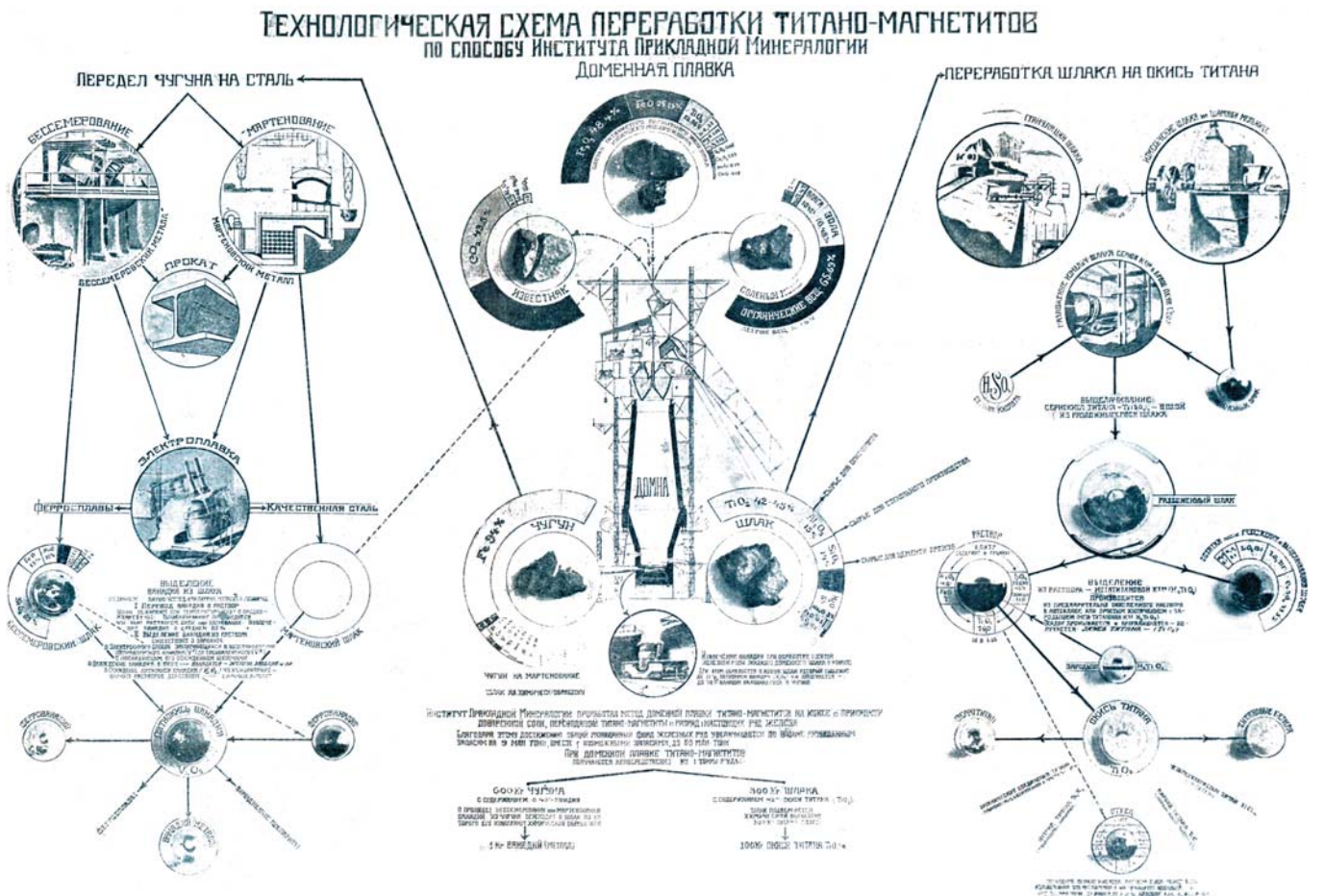


Рис. 13. Комплексная схема переработки титаномагнетитового сырья, предложенная ИПМ

Таблица 3
Цикл исследований в области комплексной переработки титаномагнетитов, выполненный ИПМ в период 1927-1937 гг.

Дата проведения работ, г.	Наименование проблемы	Основные исполнители
1927	Получение титановых белил на основе метатитановой кислоты. Оптимизация их качества	Зборовский М.Э., Искольдский И.И.
1928	Разведочные работы на месторождении титаномагнетитов горы Магнитка	Марков П.Н.
1928	Исследование строения титаномагнетитов горы Магнитка	Пилипенко П.П.
1928	Исследование процесса обогащения титаномагнетита. Разделение титаномагнетита после тонкого дробления магнитным способом на ильменит и магнетит	Андреев
1929 - 1930	Исследование процесса плавки Кусинских и Перво-уральских титаномагнетитов на соленом коксе	Брицке Э.В., Шманенков И.В., Тагиров К.Х.
1930-1931	Восстановление ильменита в газовой фазе	Сырокомский В.С., Снопов Е.В., Ротков Н. И.
1934	Минералогическое изучение шлаков титано-магнетитовых руд, полученных в результате плавки	Сыромятников Ф.В.
1932-1933	Выделение ванадия из бессемеровского шлака	Соболев М.Н.
1932-1933	Очистка доменного газа от хлористых соединений при плавке титано-магнетитов	Шманенков И.В., Черномордик Э.М., Казанцева М.Н., Кац Б.Н.
1937	Применение щелочесодержащих каменноугольных брикетов при плавке сырых титаномагнетитов	Тагиров К.Х. Орлов Н.

гический завод для производства ванадиевого чугуна, легированной ванадиевой стали; химический завод для производства окиси титана из доменных шлаков; завод титанистых цементов; химический завод для извлечения ванадия из шлаков. Полупродукт в виде пятиоксида ванадия или феррованадата мог перерабатываться на Челябинском заводе ферросплавов.

В результате выполненных работ стало возможным приступить к проектированию Кусинского комбината уже в 1932 г. В этом же году Н.М. Федоровский в своих трудах отмечает, что успехи ИПМ в этом направлении являются лучшим подтверждением и проверкой правильности основного метода работ Института — комплексного метода [5]. Работы велись с учетом всех особенностей схемы и стали мобилизацией научно-технических и хозяйственных кадров на решение проблемы титаномагнетитов как ванадиевого, титанового и высококачественного железного сырья (табл. 3).

В 1932 г. трестом «Златоустстрой» было начато строительство рудника Магнитка. В 1948 г. вступила в строй дробильно-обогащительная фабрика, выпускающая титановый концентрат. В 1953 г. заработала аглофабрика, производившая из железного концентрата ДОФ железо-ванадиевый агломерат. На комбинате получали высокопроцентный магнитный концентрат с содержанием V_2O_5 до 1,6 % и 60 % железа, высокопроцентный концентрат ильменита с 48–50 % TiO_2 . В качестве попутных продуктов на фабриках получали

сульфидный концентрат и нерудные материалы (щебень).

На Кусинском месторождении было добыто около 30 млн т руды. Наибольший объем добычи был достигнут в 1960 г. и составил 874000 т. Работы на руднике завершились в 1973 г. после закрытия последней шахты — «Центральная».

Кусинское месторождение являлось одним из лучших месторождений титаномагнетита в СССР как по запасам, так и по качеству руды. За счет Кусинских титаномагнетитов покрывалось около 40 % потребности страны в титановом сырье.

После прекращения работ на Кусинском месторождении титаносодержащие концентраты и губчатый титан импортируются из Украины, Австралии, Канады и других стран. В связи с

острым дефицитом титана и полной зависимостью от украинского импорта велась подготовка к разработке Чинейского, Ярегского месторождений и др. Однако технические и технологические трудности в добыче руды и серьезные проблемы в получении высококачественных ильменитовых концентратов из титаносодержащих руд сдерживают введение в эксплуатацию этих объектов.

Решить эту проблему можно в результате проведения ревизионных геологических исследований в пределах известных массивов, к которым можно отнести и массивы Южно-Уральской группы (Кусинский, Копанский, Маткальский, Медведевский), характеризующиеся высокотитанистым оруденением. Работы по уточнению условий их формирования, геологического строения и вещественного состава руд возобновились в ВИМСе и могут создать предпосылки для переоценки запасов месторождений Южно-Уральской группы.

При написании статьи использованы отчеты геологического отдела ИПМ 1928 г. из рукописного фонда НТБ им. проф. В.В. Аршинова. Авторы выражают признательность за оказанную помощь при подборе материала для статьи сотрудникам ФГБУ «ВИМС»: И.Е. Любимовой, Г.В. Робустовой, Н.А. Серпер. Авторы также выражают признательность за консультации по вопросам геологии титанового сырья эксперту по геологии месторождений черных металлов, заведующей отделом черных, цветных металлов и нерудного сырья ФГБУ «ВИМС» Е.В. Зублюк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брицке, Э.В. Опыты получения обогащенных титановых шлаков при доменной плавке титаномагнетитовых руд / Э.В. Брицке, И.В. Шманенков, К.Х. Тагиров // Минеральное сырье. — 1930. — № 6. — С. 831–838.
2. Зборовский, М.Э. Получение титановых белил / М.Э. Зборовский, И.Н. Искольдский // Минеральное сырье. — 1928. — № 9–10. — С. 683–695.
3. Малышев, И.И. Титаномагнетитовые месторождения Урала. / И.И. Малышев, П.Г. Пантелеев, А.В. Пэк. — Л.: Изд-во АН СССР. — 1934. — 263 с.
4. Марков, П.Н. Месторождение титаномагнетитов горы Магнитки / П.Н. Марков // Минеральное сырье. — 1930. — № 5. — С. 626–646.
5. Пилипенко, П.П. Микроструктура железотитанистых руд некоторых русских месторождений / П.П. Пилипенко // Минеральное сырье. — 1930. — № 7–8. — С. 981–991.
6. Проблема титаномагнетита: Сб. статей / Под ред. Н.М. Федоровского (Тр. Института Прикладной Минералогии). — М.: ИПМ, 1932. — 88 с.
7. Сырокомский, В.С. Восстановление ильменита в газовой фазе / В.С. Сырокомский, Е.В. Снопина, Н.И. Ротков // Минеральное сырье. — 1931. — № 5–6. — С. 522–527.
8. Шманенков, И.В. Вопросы сырьевой базы черной металлургии / И.В. Шманенков // Минеральное сырье. — 1935. — № 12. — С. 5–7.

© Коллектив авторов, 2019

Луговская Ирина Германовна // lig_vims@mail.ru
Якушина Ольга Игоревна // yakfibio@gmail.com
Печенкин Игорь Гертурдович // vims-pechenkin@mail.ru
Прудников Илья Александрович // prydnikov@gmail.com

УДК 553.411: 553.491.8(470.325)

Резникова О.Г., Кузнецов В.С., Бойко П.С.
(Воронежский государственный университет)

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И СЛАНЦАХ КМА

*При исследовании технологических проб на благороднометалльное оруденение в железистых кварцитах и межрудных сланцах Лебединского и Стойленского месторождений КМА были выявлены две основные генерации самородного золота в устойчивой ассоциации с сульфидами, висмутидами, теллуридами и другими соединениями. Первая, связанная с метаморфическими процессами, накапливала высокопробное золото. Вторая генерация принадлежит гидротермальным сульфидно-кварцевым рудопоявлениям, ассоциирующим с палеопротерозойскими интрузиями. **Ключевые слова:** железистые кварциты, межрудные сланцы, благородные металлы, формы нахождения, золото.*

Reznikova O.G., Kuznetsov V.S., Boyko P.S. (Voronezh State University)

NOBLE-METAL MINERALIZATION IN FERRUGINOUS QUARTZITES AND SCHIST KMA

At a research of technological tests on precious mineralization in ferriferous quartzites and interore shale of Lebedinsky and Stoylensky deposit KMA were revealed two generation of native gold in steady association with sulfides, bismuth minerals, tellurium minerals and other connections. The first, associated with metamorphogenic processes, ac-

*cumulated high-grade gold. Gold of second generation is confined to the sulfide-quartz hydrothermal ore occurrences, associated with Paleoproterozoic intrusions. **Keywords:** ferriferous quartzites, interore shales, precious mineralization, forms of origin, gold.*

Введение

Железистые кварциты, широко распространенные на всех континентах Земли и слагающие крупные и уникальные месторождения, могут содержать благороднометалльную минерализацию, которая уже обеспечивает за рубежом около 25 % годовой добычи золота [1], в связи с чем изучение золоторудной минерализации в этих породах остается актуальной задачей. Выполненные специальные исследования железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (КМА) позволили существенно расширить сведения о минерализации золота.

В железорудных месторождениях КМА установлены собственные минеральные формы благородных металлов и сопутствующих им минеральных ассоциаций [10, 11]. Наиболее перспективные золотоносные участки были установлены на Стойло-Лебединском рудном поле, где повышенные содержания золота приурочены к зонам брекчирования, трещиноватости, сопровождающихся повышенной сульфидизацией на контактах железистых кварцитов и межрудных сланцев, а также представлены в виде секущих жил и прожилков [1].

Объекты исследования

При написании данной статьи в качестве объекта исследования благороднометалльной и сопутствующей ей минерализации были выбраны железистые кварциты и межрудные сланцы Лебединского и Стойленского месторождений. Эти месторождения являются крупнейшими на КМА, входят в состав Старооскольского рудного узла, расположенного в восточной части мегаблока КМА Воронежского кристаллического массива (ВКМ), на южном замыкании Тим-Ястребовской рифтогенной структуры [2] (рис. 1).

Месторождения сложены образованиями курской серии нижнего протерозоя. Коробковская свита курской серии на 60 % состоит из железистых кварцитов (слаборудных, силикатно-магнетитовых, магнетитовых и гематит-магнетитовых), которые формируют две железорудные подсвиты, разделенные нижней сланцевой подсвитой.

Привнос золота в рассматриваемые породы докембрия был, вероятно, связан в первом случае с процессами метаморфизма, широко представленными в данном сегменте, результатом которых стало формирование стратиформных залежей на контактах железистых кварцитов и межрудных сланцев, а во втором случае, с внедрением умеренно-кислых интрузий стойло-николаевского комплекса, сопровождавшихся гидротермальной деятельностью, проявившейся в виде образований сульфидно-кварцевых жил в изучаемых породах. Эти два типа оруденения часто пространственно совмещены.