

УДК 553.31:622.7

Луговская И.Г., Аликберов В.М., Печенкин И.Г.,
Тигунов Л.П. (ФГУП «ВИМС»)ВКЛАД ВИМСА В ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРЧЕНСКИХ
ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

*Рассмотрена история исследования месторождений Керченского железорудного бассейна. Приводятся данные о вкладе специалистов ВИМСа в изучение этой проблемы. Показана роль геологов, минералогов и технологов института, доказавших комплексность руд, показавших их минералого-геохимические особенности. Большой вклад ими внесен в разработку технологических схем промышленного освоения объектов с получением продукции различного назначения. **Ключевые слова:** железные руды, оолиты, восстановление железа, гидрогетит, ванадий.*

Lugovskaya I.G., Alikberov V.M., Pechenkin I.G., Tiginov L.P.
(VIMS)CONTRIBUTION OF VIMS TO THE INVESTIGATION OF
KERCHIAN IRON ORES

*The history of the Kerchian iron-ore basin is considered. The data on the contribution of the VIMS's specialists to the investigation of this problem are presented. The role of the geologists, mineralogists, technologists of the institute who proved the complexity of the ores and showed their mineralogical-geochemical peculiarities is shown. The technological schemes of the industrial exploitation of the objects with obtainment of the products of various applications were also developed with their significant contribution. **Key words:** iron ores, oolites, iron revivification, hydrogoethite, vanadium.*

Область распространения железорудных отложений киммерийского возраста, формировавшихся в пределах единого морского бассейна — Киммерийского моря, выделяется как Азово-Черноморская железорудная провинция.

Керченский п-ов, где сосредоточены промышленные месторождения, большинством исследователей рассматривается как Керченский железорудный бассейн с двумя типами промышленных месторождений.

Объекты, локализованные в мульдах, сосредоточены в Камыш-Бурунской, Эльтиген-Ортельской и Яныш-Такыльской (Кыз-Аульской) структурах; наиболее значимые запасы железных руд сосредоточены в Яныш-Такыльской (Кыз-Аульской) мульде. Месторождения образовались в результате хемогенного осадконакопления в полуизолированных лагунах-мульдах, которые представляют собой корытообразные синклинальные структуры с углами падения крыльев, не превышающими 10–12°. В центральных частях мульды мощность рудного пласта достигает 25 м, а по краям уменьшается до 0,5 м. Глубина залегания руд незначи-

тельна. Основная часть промышленных руд залегает на глубинах 5–15 м, местами рудный пласт выходит на поверхность и только в центральных частях мульды глубина залегания киммерийского горизонта достигает 50–90 м. Развитые в мульдах Керченского п-ова железные руды киммерийского возраста характеризуются большими площадями развития рудного пласта (до нескольких десятков км²), довольно высокой концентрацией железа (37–40 %) и марганца (0,9 %), высоким содержанием оолитов и относительно небольшим содержанием обломочного материала. Запасы промышленных железных руд в отдельных мульдах оцениваются в сотни миллионов тонн.

Месторождения вдавленных синклиналей Керченского п-ова характеризуются небольшими площадями развития (до нескольких км²) рудных отложений при относительно значительной их мощности (в отдельных случаях до 90 м), крутыми углами падения, сложным строением рудных залежей (переслаиванием пластов железной руды с сопочными брекчиями), преобладанием рудного обломочного материала над оолитами. Средние содержания железа 35–38 %.

В Керченском железорудном бассейне разведаны Камыш-Бурунское, Эльтиген-Ортельское, Кыз-Аульское, Катерлезское месторождения, а также Чегене-Салынский, Заморск-Песочный, Семь Колодезей, Акмонайский и Киятский участки (месторождения) железных руд, приуроченные к мульдам; Новоселовское и Баксинское месторождения железных руд, локализованы во вдавленных синклиналях (рис. 1).

Руды Керченского железорудного бассейна представляют собой бурые оолитовые железняки нескольких вещественно-текстурных типов (коричневые, табачные и др.) киммерийского возраста (неоген). В геотектоническом отношении бассейн является сегментом Крымской части альпийской складчатой системы. По металлогеническим предпосылкам и по уже установленным рудным объектам здесь имеются месторождения железных руд от мелких, до крупных по запасам.

Промышленное значение имеют табачные и коричневые, в меньшей мере икряные руды. Основную массу железных руд бассейна составляют табачные руды (до 70 %), коричневые и икряные — около 30 %. Образцы керченской руды из литогенного фонда ВИМСа размещены на рис. 2–3.

Табачные руды по текстурно-структурным, вещественным и иным показателям подразделяются на две основные разновидности: оолитовая и безоолитовая [14]. Оолитовые руды состоят из гидроферрихлорита, составляющего как оолиты (неустойчив и легко окисляется), так и цемент (более устойчив к выветриванию), что объясняется различиями в их химическом составе. Окисленные оолиты слагаются гетитом, гидрогетитом

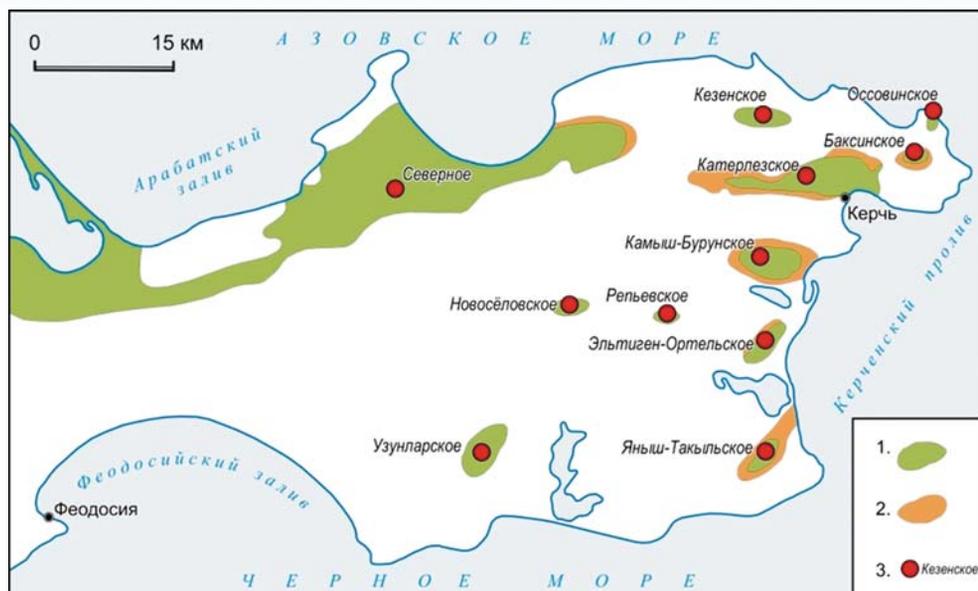


Рис. 1. Керченский железорудный бассейн. Площадь распространения: 1 — табачных руд, 2 — коричневых руд, 3 — месторождения

и ферримонтмориллонитом; в ряде случаев остаточный гидроферрихлорит в гидроферрихлоритовом цементе в переходных зонах лимонитизирован, а в окислительной зоне он преобразован в охристый гидрогетит и ферримонтмориллонит. Местами цемент руд представлен зелеными глинами, сидерит-гидроферрихлоритовыми



Рис. 2. Табачная лептохлоритовая руда с вивианитом ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Месторождение Керченское, 2-й Черноморский карьер, Крым, А.И. Гинзбург



Рис. 3. Оксикерченит (друза в лимоните). Месторождение Камыш-Бурунское, Керченский п-ов, Крым, И.В. Швей, 1960 г.

или манганосидерит-родохрозитовыми агрегатами. Местами в гидроферрихлоритовой массе отмечается тонкая мелкозернистая вкрапленность Mg-Ca карбонатов.

Безоолитовые табачные руды представлены гидроферрихлоритовой афанитовой массой, в которой лишь местами отмечаются редкие оолиты (менее 10%). Оолиты также сложены гидроферрихлоритом. В ряде случаев в основе афанитовой массы отмечается существенное количество мелких зерен кварца. Почти всегда в этих рудах наблюдаются пропластки и отдельные стяжения вивианита и марганцево-железистых карбонатов.

По минеральному составу табачные руды представ-

лены: гидроферрихлоритом, ферримонтмориллонитом, гетитом, гидрогетитом; широко распространены в рудах манганосидерит-родохрозитовые карбонаты, менее — вивианит и γ -керченит; псиломелан, вернадит, пиролюзит, а также пирит. Повсеместно встречаются обломочные полевые шпаты и кварц, которые распределены неравномерно. Отмечаются глауконит и арагонит.

Фосфор в рудах ($\text{P}_2\text{O}_5 = 0,6\text{--}1,2\%$) представлен как первичным тонкозернистым апатитом, так и вторичным — вивианитом и керченитом. Сера ($\text{SO}_3 = 0,08\text{--}0,64\%$) входит в состав пирита и мало распространенного гипса.

Коричневые руды представляют по сути гипергенно-измененные табачные руды и слагаются преимущественно охристым гидрогетитом и ферримонтмориллонитом. Второстепенную роль играют гидрооксиды марганца (псиломелан, пиролюзит и др.), гипс, барит, карбонаты (арAGONит, кальцит и др.), фосфаты (преимущественно оксикерченит и др.), пирит. Терригенную (кластогенную) группу представляют кварц, полевые шпаты, глауконит и др. Коричневые руды слагаются оолитами и псевдооолитами, размещенными в цементе, причем та и другая группы составляющих имеют свои особенности.

Икрыные руды по ряду критериев, в т.ч. по минеральному и химическому составу подразделяется на разновидности: черная и черно-бурая; желто-бурая; сцементированная. Химический состав этих разновидностей имеет определенные черты сходства и отличия.

Особенностью икрыных руд является то, что они комплексные марганцево-железные и в целом содержат $\text{Mn} = 1,12\text{--}18,54\%$, причем присутствуют Mn^{+2} и Mn^{+4} ; наиболее типичное содержание Mn в рудах $3,58\text{--}7,54\%$. Как правило, содержание марганца в оолитах и псевдооолитах существенно ниже, чем в цементе.

Сведения о керченской руде известны с давних времен. В литературных источниках о них впервые упоминается в 1765 г. в трудах вице-губернатора Таврической области К.И. Габлица (рис. 4).

Практические предложения об использовании керченской руды для выплавки чугуна впервые были высказаны российскими инженерами Н.И. Воскобойниковым и А.В. Гурьевым в 1832 г. Завершение строительства доменной печи возле г. Керчь и первая выплавка керченского чугуна на древесном угле состоялась лишь в 1846 г. Практически сразу в процессе переработки руды возникли большие проблемы: древесный уголь в связи со сложностями его заготовки и высокой стоимости в данном районе пришлось заменить донецким антрацитом, что вызвало ухудшение работы печи. Определенные сложности создавали и физико-химические свойства руды. Влажность, рыхлость, высокое содержание глинистой составляющей вызывало ее превращение в порошок в результате высыхания, что создавало значительное сопротивление газам, образование сводов и обвалов в печи [6]. Неудачной была конструкция печи — воздух в печь вдувался через одну фурму, что усиливало отрицательные свойства руды. Суточная производительность печи не превышала 1 т чугуна, поэтому, когда во время

Крымской войны (1853 г.) Керченский завод был разрушен, его решили не восстанавливать.

К вопросу переработки керченских руд вернулись в 1890-е годы, когда керченские железорудные месторождения сделались объектом внимания геологов и металлургов. Была проведена разведка ряда мульд, появилась первая научная геологическая характеристика месторождений, составленная Н.И. Андрусовым. В то же время попытка возобновить функционирование Керченского завода снова оказалась неудачной. Как и ранее, не учитывались особенности руды: высокое содержание фосфора и серы, рыхлость, влажность и пр. Построенный в 1899 г. завод имел только один работающий цех, производящий чугун. Керченский чугун, отличающийся высоким содержанием фосфора и серы, не имел нормального сбыта. Положение могло бы поправить наличие на заводе томасовского (получение фосфористых шлаков, применяемых в качестве фосфорных удобрений) и прокатного цехов, но в то время этого сделано не было, и завод во время начавшегося в 1900 г. кризиса прекратил работу.

К началу XX столетия относятся и первые массовые разработки месторождений. Добываемая руда поступала не только на Керченский завод, но также в Таганрог и Мариуполь. Работы велись двумя бельгийскими коммерческими обществами, организованными в этих городах. Мариупольское общество «Русский провиданс» эксплуатировало рудники Камыш-Бурунские и Кыз-Аульские, а Таганрогское — Эльтиген-Ортельские месторождения.

Таганрогское общество приобрело Керченский завод в 1912 г. и закончило строительство томасовского и рельсового цехов. В 1913 г. завод возобновил работу, имея в своем активе две доменные печи, три конвертера и рельсобалочный стан. Тем не менее, технические показатели (использование мощности агрегатов, качество продукции) были в этот период эксплуатации завода неудовлетворительными. Производство спасала высокая конъюнктура на рынке черных металлов, которая обеспечивала прибыльную реализацию продукции. Такое положение дел вполне устраивало бельгийских, немецких и других владельцев завода и рудников.

С 1917 по 1929 гг. завод бездействовал. В годы гражданской войны в цехах были устроены мастерские для ремонта бронепоездов и орудий. Однако правительство молодой Советской республики не забывало о важности разработок Керченского месторождения. В 1920 г. в одном из решений ЦК партии было указано исключительное значение керченских руд не только для промышленности, но и для сельского хозяйства. В конце 1925 г. «Югосталь» приступила к реконструкции металлургического завода. Фактически старого предприятия не существовало, и Керченский завод стал первенцем металлургии на юге СССР.

Дальнейшее изучение Керченских рудных месторождений проводилось с 1926 по 1930 гг. сначала Геологическим Комитетом, а затем, по преемственности, Институтом черных металлов и Научно-исследовательским геологоразведочным институтом металлов ГГРУ. Работы выполнялись горными инженерами В.В. Белорусовым, Г.А. Кечек, Л.К. Красильниковым под общим

**ФИЗИЧЕСКОЕ
О П И С А Н И Е
ТАВРИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ,
ПО ЕЯ МѢСТОПОЛОЖЕНЮ,
И ПО ВСѢМЪ ТРЕМЪ ЦАРСТВАМЪ ПРИРОДЫ.**



Въ Санктпетербургѣ,
печатаемо въ Императорской типографіи
у Никана Вейтбрехта
1785 года.

Рис. 4. Монография К.И. Габлица «Физическое описание Таврической области», 1765 г.

руководством старшего инженера-геолога С.В. Константова. В результате была проведена геологическая съемка всех месторождений: Камыш-Бурунской, Эльтиген-Ортельской, Кыз-Аульской, Северной, Баксинской, Кезенской, восточной части Акманайской, Осовинской мульды и изолированных выходов руд у Айман-Кую, Кончек, Ново-Шепетеевки, Семи Колодезей, а также установлен новый выход руд у с. Чокул-немецкий.

Была изучена стратиграфия плиоценовых отложений, слагающих эти месторождения; установлен ряд новых горизонтов отдельных ярусов плиоцена. Впервые для Керченского п-ова обнаружены элементы акчагыльской фауны в верхне-плиоценовых осадках северо-западной части. Буровыми и шурфовыми работами разведаны главнейшие месторождения: Камыш-Бурунская, Эльтиген-Ортельская, Кыз-Аульская, большая часть Северной, Баксинская, Кезенская, восточная часть Акманайской мульды. Разведочными работами определены запасы (табл.1).

С целью качественного исследования руд были установлены зависимости между отдельными компонентами Fe и Mn, Fe и SiO₂ и т.д., изучено распределение составных элементов в рудах месторождений, позволя-

ющее разделить руду на сорта. Так, был выделен условно названный «промышленный» пласт с содержанием железа более 38 %, имеющий определенные вертикальные и горизонтальные ограничения. Лимит в 38 % железа являлся условным и в случае необходимости мог быть уменьшен или увеличен. Были выделены сорта руды с различным содержанием марганца. Например, в Кыз-Аульской мульде выделен сорт марганцовистой руды с содержанием более 2 % марганца (в среднем 4,8 %). Здесь также удалось обособить этот сорт, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении.

Подобные исследования позволяли разделить руду на сорта и по другим признакам. Исследования не только подтвердили уже имеющиеся сведения о крупных запасах руд, но и значительно превысили сделанные ранее подсчеты. Так, в известном труде К.И. Богдановича «Железные руды России» запасы керченской руды указывались в объеме 1,5 млрд. т, окончательные данные Геолкома внесли существенные изменения в сторону увеличения. Это поставило керченские руды по запасам на первое место в СССР и на одно из первых мест в мире. Внимание специалистов-металлургов обращается на Керченский завод с его миллиардными запасами железных руд, т.к. при детальном анализе материалов оказалось, что недостатки керченской руды окупались теми положительными качествами, которые делают ее гораздо более дешевой, выгодной и удобной для разработок.

Близость к металлургическим заводам юга, а главное, к берегу моря, неглубокое ее залегание, благоприятные физико-механические свойства — все это давало возможность обходиться без дорогих взрывных работ. Керченскому заводу камышбурунская руда обходилась в 18–20 раз дешевле, чем тонна криворожской руды. Это была самая дешевая руда в мире.

Одновременно с исследованиями, которые были выполнены Геолкомом, в геохимической лаборатории Института прикладной минералогии и металлургии (ИПМ) проводилось изучение химических и минералогических свойств керченских руд, а также возможностей их более эффективной переработки. Сотрудники института, всегда придерживающиеся комплексного подхода в изучении минерального сырья, обратили

Таблица 1

Запасы Керченских железорудных месторождений по материалам работ Геолкома при уд. весе 2,0

№ п/п	Район	Среднее содержание Fe, %	Средняя мощность, м	Площадь, км ²	Объем руды, млн. м ³	Все руды, млн. т
Категория А₂						
1	Эльтиген-Ортельский	36,3	9,4	8,0	75,3	150,6
2	Камыш-Бурунский	34,3	7,7	27,7	213,0	426,0
3	Кыз-Аульский	33,1	10,0	10,6	106,3	212,6
4	Отвод Керченского металлургичес. завода	36,9	7,5	1,4	10,7	21,4
5	Насырский	35,2	6,8	1,1	7,0	14,0
6	Чегене-салинский	36,7	6,2	19,6	120,9	241,8
7	Багерово-Скассиев фонтан	28,0	1,2	11,9	14,8	29,6
Всего категория А₂				80,3	548,0	1096,0
Категория В						
1	Кыз-Аульский	32,3	10,1	4,7	47,5	95,0
2	Насырский	ок. 32	3,2	1,6	5,0	10,0
3	Багерово-Скассиев фонтан	—	2,0	4,5	9,0	18,0
4	Катерлезский	34,2	7,6	17,2	131,8	263,6
5	Баксинский	—	—	3,5	28,6	57,2
6	Киятский	31,9	0,9	23,4	22,0	44,0
7	Акманайский	34,4	2,8	4,4	12,2	24,4
8	Китеньский	34,4	2,3	1,0	2,4	4,8
9	Красно-кутский	31,4	2,8	0,5	1,5	3,0
10	Кезенский	31,0	1,2	10,9	13,1	26,2
Всего категория В				71,7	273,1	546,2
Категория С						1084,0
Всего А₂+В+С						2726,2



Рис. 5. Сотрудники ИПМ:
А — Вениамин Аркадьевич Зильберминц (1931 г.); **Б** — Екатерина Владимировна Рожкова в лаборатории (1930-е гг.)

внимание на такие попутные элементы, как ванадий, фосфор, мышьяк и др.

В серии статей, посвященных этим вопросам авторами В.А. Зильберминцем и Е.В. Рожковой [2, 3] (рис. 5) отмечается, что данные о содержании этих элементов обрывочны, а в большинстве случаев отсутствуют. Только для руд Яныш-Такыльской мульды имелись определения мышьяка (содержания составляли 0,048–0,097 %), что касалось ванадия, то присутствие его в керченских рудах было установлено лишь при проведении работ Геолкомом. Марганец и фосфор определялись повсеместно и постоянно; определялось также содержание серы, составлявшее от 0,07 до 0,022 %; титан, углерод, хром и др. элементы до этого времени не определялись никогда. С целью изучения характера распространения попутных элементов в железных рудах был осуществлен отбор образцов из наиболее крупных мульд и рудничных разносов восточной части Керченского п-ова.

Забываясь о связи между минеральными особенностями руды и распространением интересовавших их элементов, а также возможностями прослеживания тех или иных свойств по простиранию, исследователи ИПМ собрали образцы, отвечающие отдельным вполне дифференцированным прослоям, выделяющимся в рудничных или береговых обнажениях. Предполагалось, что подобный материал, собранный из достаточно большого количества слоев в отдельных разрезах, даст известное приближение к представлению о некоторой средней пробе всего разреза и позволит судить о приуроченности того или другого элемента к определенному минералу, входящему в состав достаточно сложной керченской руды. Для определения ванадия, мышьяка, фосфора, марганца специалистами геохимической лаборатории института был предложен ряд новых методов, позволяющих более корректно определить малые количества элементов в горных породах. Ванадий, мышьяк и фосфор предложено было определять колориметрическим методом, а для быстрого и массового определения марганца К.Ф. Терентьевой был разработан аммоний-персульфатный метод [8–10]. Средние содержания ванадия, мышьяка, фосфора, марганца для отдельных мульд и разрезов приводятся в табл. 2.

При составлении карты по данным о средних содержаниях ванадия и мышьяка выяснилось, что макси-

мальным содержанием ванадия характеризуются руды двух центральных мульд п-ова (Камыш-Бурунская и Керченская). Наиболее богатой по содержанию мышьяка оказалась руда Камыш-Бурунской мульды (0,15 % As_2O_3).

Колебания содержаний марганца в рудах были довольно значительными (табл. 2). Наиболее богаты марганцем руды Яныш-Такыльской и Эльтигенской мульд. Распространению фосфора в этих рудах уделялось много внимания и ранее. Авторы исследований выполнили работы по сопоставлению в распространении P_2O_5 в восточной части Керченского п-ова с распространением его в западной части. Оказалось, что содержание P_2O_5 колеблется в пределах 1,01–2,58 %. Наибольшие количества приходятся на руды Камыш-Бурунской и Яныш-Такыльской мульд.

Как показали исследования минерального состава образцы железных руд в большинстве случаев представляли собой материал с высоким содержанием оолитов. Фракционирование руды с последующим определением содержаний ванадия показало, что большая его часть связана с оолитами и крупным песком, последний также состоит главным образом из очень мелких оолитов. Содержание V_2O_5 во фракциях образца камыш-бурунской руды составляло %: оолиты — 0,16; крупный песок — 0,14; мелкий песок — 0,07; ил — 0,00. Общее содержание в образце — 0,12 %. Было очевидно, что ванадий повсеместно распространен в отложениях керченских рудных пластов. Содержание его составляет 0,08 — 0,026 % V_2O_5 . Общеизвестное распространение этого элемента в железных рудах как магматического, так и осадочного происхождения может иметь в отдельных случаях весьма разнообразное объяснение. Для обстановки Керченского п-ова, конечно нельзя не принять во внимание богатство руд фосфатами, с которыми ванадиевые соединения могут давать изоморфные смеси, хотя не исключается возможность и непо-

Таблица 2
Средние содержания попутных компонентов для отдельных мульд и разрезов месторождений Керченского п-ова

Название мульды или разреза	Среднее содержание, %			
	V_2O_5	As_2O_3	P_2O_5	Mn_2O_3
Яныш-Такыльская	0,07	0,05	2,06	7,96
Южная часть	0,06	0,05	1,94	5,80
Береговой разрез	0,09	0,07	2,55	1,59
Северная часть	0,06	0,04	1,70	16,5
Эльтигенская	0,07		2,06	
Рудник Ортаэли	0,07	0,06	1,43	5,0
Западная часть			2,17	4,5
Восточная часть			2,58	
Камыш-Бурунская		0,12		1,83
Рудник	0,11	0,15	2,45	0,78
Береговой разрез	0,11	0,15		2,80
Береговой разрез. Расчистка № 3		0,07		1,90
Керченская	0,23			
Брянский рудник	0,23	0,09	2,28	3,66
Баксинская	0,06	0,09	1,01	5,80
Оссовинская	0,06	0,09		
Береговой разрез	0,06	0,09	2,21	7,50
Тамань	0,07	0,09	—	—



Рис. 6. В лаборатории химико-технологического отдела (конец 1920-х гг.). Эдгар Викторович Бричке (сидит в центре), Иван Васильевич Шманенков (стоит справа)

средственной абсорбции соединений ванадия коллоидальными минералами железа (оолитами). Так или иначе, сингенетическое происхождение ванадия представляется в достаточной мере достоверным. Повсеместное распространение мышьяка вероятно также может быть связано с первоначальной обстановкой всего бассейна и, таким образом, источник мышьяка в минералах Таманского п-ова может быть и не связан с эпигенетическим процессом, как это утверждается в некоторых литературных источниках.

Одновременно с исследованиями вещественного состава керченских руд в ИПМ проводились работы по улучшению способов их технологической переработки. Академик Э.В. Бричке и И.В. Шманенков (рис. 6) начали обширную работу по прямому получению железа из руд, минуя доменный процесс [13]. Были изучены процессы восстановления керченских руд донецким каменным углем, торфом, взятым с Редкинского болота, древесным углем, а также процесс отплавки полученной губки. Исследовалось влияние температуры, концентрации восстановителя на степень восстановления железа. Определялись качество и состав полученных при этом газообразных продуктов. Опыты проводились при температурах 500, 600, 700, 800 и 900 °С. Для каждой температуры было приготовлено 4 состава шихты с целью изучения концентрации восстановителя: шихта из одного каменного угля, шихта из 25 % железной руды и 75 % каменного угля, шихта из 50 % железной руды и 50 % каменного угля. В качестве материалов для экспериментов были использованы: железная руда Керченского п-ова (с. Насыр) и каменный уголь Краснодарского рудника (Донбасс).

Эксперименты с каменным углем показали степень влияния количества восстановителя на протекание процесса. При избытке восстановителя (состав шихты: 75 % угля и 25 % железной руды) процесс можно эффективно проводить при достаточно низких температурах (500 °С), достигая степени восстановления железа на 80–90 %. Скорость реакции при этом была сопоставима

со скоростью реакции процесса, протекающего при 700–800 °С. Более низкие температуры процесса не допускали спекания восстановленной губки, что позволяло достаточно хорошо проводить процесс сепарации восстановленного железа от избытка восстановителя, а также частично и от пустой породы.

Сравнение восстановительной способности торфа, древесного угля и каменного угля осуществляли при температуре 900 °С и составе шихты: железная руда и восстановитель в количестве теоретически необходимом для восстановления оксидов железа до окисления углерода в СО и водорода в H₂O. По степени восстановления на первом месте оказался каменный уголь (94,0–97,0 %), затем торф (в среднем 55,0 %) и, наконец, древесный уголь (47,0–48,0 %). Очевидно,

что при восстановлении каменным углем влияет присутствие в нем летучих веществ, что создает соответствующую газовую фазу. Каменный уголь при выделении летучих веществ в интервале температур от 350 до 500 °С находится в пластичном (размятченном) состоянии, а это способствует более тесному контакту руды с восстановителем. Пониженную восстановительную способность торфа, несмотря на вхождение в его состав значительного большего количества летучих веществ, чем в каменном угле, авторы исследований объяснили тем, что летучие вещества торфа содержат много H₂O и СО₂. Эксперименты отплавки железа из полученной губки носили пробный характер. Основной целью являлось определение качества металла, получаемого при этом процессе. В результате простого отплавки получали корольки металла и шлаки. Металл типа белого чугуна характеризовался низким содержанием кремния (не более 0,5 %), но высоким содержанием фосфора (до 2,18 %), которое можно снизить при введении флюса (известняка). Таким образом, для получения стали из губчатого железа необходимо было вести нормальный процесс передела губки в мартеновских печах.

В 1930 г. для плавки керченской руды были начаты проектирование и постройка металлургического завода «Азовсталь» в Мариуполе и одновременно горнообогатительного комбината в Камыш-Буруне. Камыш-Бурунский комбинат (рис. 7) в составе рудника, обогатительной и агломерационной фабрик и порта для отгрузки агломерата строился для снабжения «Азовстали». Окончательно строительство Камыш-Бурунского комбината завершилось к началу 1941 г. Проектная мощность комбината 9,1 млн. т руды (5,6 млн. т концентрата). В последние годы перед консервацией месторождений и комбината добыча железной руды здесь составляла 5,6–7,5 млн. т. В 1989 г. добыча составила 1547 тыс. т, с учетом разубоживания — 1554 тыс. т и в 1990 г. — 1100 тыс. т. Руды добывались открытым способом. На обогатительной фабрике из них промывочно-гравитационным способом получали концентрат с

содержанием железа около 45 %, при извлечении приблизительно 63 % и выходе концентрата около 56 %. На агломерационной фабрике из концентрата выпускался офлюсованный агломерат — конечная продукция Керченского железорудного комбината. Потребителем офлюсованного агломерата были металлургические заводы «Азовсталь» и Косогорский. Повышенная фосфоритонность киммерийских железных руд позволяла получать фосфористые шлаки, используемые в качестве удобрений.

Многочисленные научно-исследовательские работы и опыт промышленного использования показали, что для получения высоких результатов при выплавке чугуна из керченской руды необходимо подвергать ее окискованию, причем наиболее эффективно спекание на агломерационных машинах. Для коричневой руды наиболее рациональная подготовка к доменной плавке включала мокрое магнитное обогащение и агломерацию концентрата. Потери железа при этом не превышали 25 %, а содержание железа в агломерате из коричневой руды составляло около 50 % [6].

Для табачной руды способы мокрого обогащения, как и эксперименты по восстановительному обжигу с обогащением на магнитных сепараторах оказались не эффективными, поэтому в течение всего периода добычи этих руд велся поиск рациональной схемы их обогащения. Для изыскания рациональной технологии обогащения табачных руд в первую очередь требовалось исследование их вещественного состава. Минералогией керченских руд в XX столетии занимались многие известные ученые (С.П. Попов, Г.Г. Уразов, М.И. Кантор, В.И. Лучицкий, Ф.В. Чухров, Ю.Ю. Юрк и др.).

Согласно сложившимся в 1950–1960-е годы представлениям, главным минералом табачных руд считался железистый хлорит (феррихлорит, гидроферрихлорит, гидрохлорит), который в зоне гипергенеза (в составе коричневых руд) преобразуется в гидрогетит и ферримонтмориллонит [14]. Однако в более поздних исследованиях (1980-е годы) утверждалось, что глав-

ными минералами железных руд Керченского месторождения являются гидрогетит, Fe-сметит, аморфизованное алюмокремниевое вещество, подобное аллофану, смешаннослойные силикаты преимущественно гидрослюдисто-сметитового состава, Mn-Fe-карбонаты и Fe-фосфаты [15].

Гидрогетит, слагающий цемент и оолиты керченских руд, практически повсеместно представлен тонкодисперсными разновидностями, ассоциирующимися с прочими, в том числе и железистыми минералами: Fe-сметитом, Fe-гидрослюдой, сидеритом, Fe-аллофаном. Гидрогетит характеризуется различной формой зерен и их агрегатов в разрезе рудных пластов. В виде сферических коллоидных частиц он присутствует в нижних слоях пачки табачных руд, ассоциируясь с железистым аллофаном, Fe-сметитом и сидеритом. В верхних слоях табачных и далее коричневых рудах гидрогетит лучше окристаллизован. Появляются его образования в виде звездочек, крестиков, лучевых сростков, рассеянных одиночно или группами в ассоциации со смектитом, слюдой, каолинитом и др. Однако уже без тех четких сорбционных связей, которые характерны для гидрогетита из нижних слоев табачной руды [15].

Для определения степени дисперсности гидрогетита и изоморфного замещения железа на алюминий ряд проб керченских руд из различных типов, концентрирующих гидроксиды железа, исследовались резонансным (мессбауэровским) методом, разработанным в ВИМСе [11]. Мессбауэровские спектры в соответствии с разработанной методикой записывались при различных режимах в области положительных и отрицательных температур на спектрометре ЯГРС-4. Были получены характерные для гидрогетита спектры с резко уширенными резонансными линиями, указывающими на высокую дисперсность минерала, содержащего повышенное, по сравнению с формулой моногидрата железа, количество воды. Наибольшей дисперсностью отличался гидрогетит из нижних слоев табачной руды.

Помимо гидроксидов железа основу керченских табачных руд составляет силикатная часть. В работах середины XX столетия она была представлена в виде смесей гидрогелей кремния, алюминия и железа, сорбиравших прочие ионы [7]. Более поздние исследования показали, что силикатная часть керченских руд представлена аморфными образованиями аллофановидного типа, Fe-сметитом и смешаннослойными силикатами в основном слюда-сметитового состава. В подчиненном количестве в рудах содержатся гидрослюды типа Fe-фенгита, железистый хлорит, каолинит и галлузит [15].

Таким образом, более поздние исследования минерального состава руд в некоторой степени отличались от прежних. Было показано,



Рис. 7. Камыш-Бурунский железорудный комбинат им. Серго Орджоникидзе

Таблица 3
Средний минеральный состав табачной и коричневой руд, % [15]

Минеральный состав	Табачная (по слоям)		Коричневая
	Нижний	Верхний	
Гидрогетит	50	54	55
Аллофаноидные образования	25	< 5	—
Слоистые силикаты	< 5	25	30
Карбонаты Fe и Mn	8	3	—
Кальцит	3	2	2
Фосфаты	5	5	6
Кварц	2	2	3
Прочие минералы	3	4	4

что главный рудный минерал керченских руд — гидрогетит — довольно равномерно распределен в различных типах руд в количестве 50–55 % (табл. 3). В нижних слоях табачных руд он находится в тесной ассоциации с алюмокремниевым аморфным соединением, содержание которого достигает 25–30 % и отличается наиболее низкой степенью окристаллизованности. В верхних слоях табачной руды аморфные аллофаноиды сменялись Fe-сметитом и смешаннослойными образованиями, количество которых сохранялось высоким (до 30 %) и в коричневой руде. Вертикально по разрезу в составе смектита и смешаннослойных силикатов обменный натрий сменялся на кальций и калий, а также увеличивалось количество таких слоистых силикатов, как Fe-хлорит, каолинит, гидрослюда, галлуазит. Карбонаты закисных железа и марганца в основном концентрировались в составе табачных руд.

Новый фактический материал, полученный при детальном исследовании минерального состава руд, послужил основой для возникновения иных генетических представлений о формировании месторождения. Ведущая роль в образовании и табачных, и коричневых руд отводилась седиментационному процессу. Табачные и коричневые руды Керченских месторождений являлись седиментационно-диагенетическими, образованными в различных pH-, Eh-, pCO₂-условиях, связанных с прибрежным положением в водоеме коричневых и центральным глубокопогруженным — табачных руд, а не первичными седиментационно-диагенетическими и вторичными гипергенными (коровыми), как считалось ранее.

В соответствии с новыми данными о минеральном составе и генетическими представлениями была предложена минералого-технологическая классификация керченских руд с выделением карбонат-аллофаноид-гидрогетитового и карбонат-сметит-гидрогетитового (табачная руда), а также смектит-гидрогетитового (коричневая руда) типов. Было предложено осуществить селективный отбор и переработку типов табачных руд, а при выборе способов переработки опираться на комплекс методов обогащения, включающий микробиологические методы для табачной руды карбонат-сметит-гидрогетитового типа и на химико-технологические методы при переработке руды карбонат-аллофаноид-гидрогетитового типа.

Хотелось бы еще раз вернуться к вопросу комплексного использования керченских руд, содержащих повышенные концентрации марганца, фосфора, ванадия, мышьяка. Марганец, содержащийся в керченских рудах, является ценной легирующей добавкой. Потенциал марганца здесь по данным различных источников составляет от 40 до 60 млн. т (при среднем источнике 0,9 %). Ценным попутным компонентом, входящим в состав керченских руд, безусловно, является ванадий, содержание которого, по данным различных источников, составляет от 0,02 до 0,08 %. Этот важнейший элемент впервые в СССР был получен именно из керченских руд еще в 1932 г. на Керченском металлургическом комбинате им. Войкова.

Керченские руды в специальной литературе были названы агрорудами, так как шлаки, полученные в результате выплавки стали, представляют собой ценнейшее минеральное удобрение, содержащее 18–22 % P₂O₅. Одна тонна такого шлака может успешно заменить восемьсот килограммов суперфосфата.

Оценен уровень концентрации в керченских рудах и некоторых редких элементов. В работах, выполненных сотрудником ВИМСа Бергманом И.А., указываются данные о содержаниях в рудах Эльтиген-Ортельского месторождения редкоземельных элементов и скандия. Содержание Σ РЗЭ в табачной оолитовой руде составляет — 597 г/т, в коричневой — 523 г/т, а в икряной — 685 г/т [1]. Содержание скандия в табачной оолитовой руде — 0,4 г/т.

В настоящее время месторождения Камыш-Бурунское и Эльтиген-Ортельское полностью выработаны, оставшиеся рудопроявления — Кыз-Аульское (Яньш-Такьльское), Катарлезское, Северное и Акманайское, имеющие промышленные запасы, признаны нецелесообразными к отработке. Опубликованы данные и о возможном увеличении Керченско-Таманского железорудного бассейна за счет присоединения северного, южного и западного побережья Азовского моря, предгорья Крыма и западного Кавказа, украинского побережья Черного моря [12]. Представляется, что возобновление исследований в области разработки этих месторождений должно опираться на внедрение инновационных методов обогащения, а также на комплексный подход, который предлагали сотрудники Института прикладной минералогии (ныне ВИМС), заложившие основы исследования вещественного состава керченских руд. Особое внимание должны привлечь отходы обогащения и металлургического передела руд, которые могут содержать повышенные концентрации редких и благородных металлов [4].

Исторический опыт становления горнодобывающих предприятий и металлургических заводов на Керченском п-ове в настоящее время представляет значительный интерес ввиду возобновления работ на Бакчарском месторождении, руды которого аналогичны керченским с выходом на их металлургический передел.

Авторы выражают благодарность сотрудникам библиотеки ВИМСа за помощь при поисках библиографических материалов, ведущему инженеру минералогического отдела Коростелевой Н.Э., ответственной за хранение

литотечного фонда ВИМСа, за подбор образцов керченских руд, ведущему инженеру минералогического отдела Кривошекову Н.Н. за выполнение фотографий образцов керченских руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергман И.А., Колесов Г.М. Редкоземельные элементы в моделях железисто-кремнистого рудогенеза раннего докембрия // Геохимия. — 2011. — № 4. — С. 394–410.
2. Зильберминц В.А., Рожкова Е.В. К вопросу об определении ванадия в железных рудах и некоторых горных породах // Журнал русского физико-химического общества. — 1927. — Т. 59. — С. 121–124.
3. Зильберминц В.А., Рожкова Е.В. Распространение ванадия, мышьяка и марганца в керченских железных рудах // Минеральное сырье и его переработка. — 1928. — № 5. — С. 323–332.
4. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Стегницкий Ю.Б. Природные и техногенные россыпи. Проблемы. Решения: III Междунар. науч.-практ. конф. (Симферополь-Судак, 2006) // Вестник ВГУ; сер. Геология. — 2006. — № 2. — С. 270–274.
5. Каплан С.В. Колориметрический метод определения фосфора в железных рудах и фосфоритах // Минеральное сырье и его переработка. — 1928. — № 5. — С. 339–341.
6. Керченские железорудные месторождения / Под ред. И.П. Бардина. — М., 1949.
7. Попов С.П. О карбонатах и силикатах в железных рудах Керченского п-ова. — Уч. зап. геол. ф-та Харьков. университета, 1955. — Т. 61. — Вып. 12. — С. 97–100.
8. Рожкова Е.В. Колориметрический метод определения ванадия в железных рудах и горных породах // Минеральное сырье и его переработка. — 1928. — № 5. — С. 341–344.
9. Рожкова Е.В., Копченева Е.В. Определение малых количеств мышьяка в горных породах // Минеральное сырье и его переработка. — 1928. — № 5. — С. 344–348.
10. Терентьева К.Ф. К определению марганца в железных рудах // Минеральное сырье и его переработка. — 1928. — № 5.
11. Качева Т.В. Методика количественного фазового анализа железосодержащих компонентов бокситов методом ЯГР / Новые данные по геологии бокситов: Сб. науч. тр. ВИМСа. — М., 1976. — вып. 4. — С. 121–129.
12. Холодов В.Н., Голубовская Е.В., Недумов Р.И. О происхождении и перспективах развития Киммерийского железорудного бассейна Украины и России // Литология и полезные ископаемые. — 2014. — № 5. — С. 383–405.
13. Шманенков И.В., Иофа М.А. Восстановление керченских руд твердым углеродом / Восстановление железных и марганцевых руд при умеренных температурах. Объединенное науч.-технич. изд-во НКТП СССР. — 1936. — С. 89–96.
14. Юрк Ю.Ю., Шнюков Е.Ф., Лебедев Ю.С., Кириченко О.Н. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. — Симферополь: Крымиздат, 1960.
15. Яхонтова Л.К., Андреева Н.Я., Ципурский С.И., Науменко П.И. Новые данные по минералогии и условиям формирования керченских железных руд // Минералогический журнал. — 1985. — Т. 7. — № 2. — С. 29–43.

© Коллектив авторов, 2015

Луговская Ирина Германовна // lig_vims@mail.ru
Аликберов Валерий Мурсалович // vims@df.ru
Печенкин Игорь Гертрудович // pechenkin@vims-geo.ru
Тигунов Леонид Петрович // vims@df.ru

УДК 553.41

Белов С.В., Зверев С.Н. (ООО «Озгео»), Аули Э. (Национальная компания по горно-геологическим работам, ОРЖМ, Алжир)

СТРУКТУРА И ОРУДЕНЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АМЕСМЕССА В АЛЖИРСКОЙ САХАРЕ

Описываются геологическое строение, структурные и минералого-геохимические особенности золотого оруденения месторождения Амесмесса, расположенного в Ин-Узальском районе щита Ахаггар (Алжирская Сахара).

*Рудный объект имеет протерозойский возраст и относится к золото-кварц-малосульфидной формации. Основной его структуры и типовой геологической обстановкой нахождения рудных жил являются разрывные парагенезисы, возникшие в ходе развития крупной сдвиговой зоны во время эбурнейского тектоно-магматического цикла. Данный объект относится к формации, типичной для металлогенических зон зеленокаменных поясов древних щитов, и имеет хорошие перспективы наращивания ресурсного потенциала. **Ключевые слова:** Ахаггар, Сахара, Ин-Узальский золоторудный район, месторождение Амесмесса, зеленокаменный пояс, геодинамика сдвиговых зон*

Belov S.V., Zverev S.N. (OZGEO), Aouli E. (The national company on mining-and-geological works, ORZhM, Algeria)

STRUCTURE AND ORE MINERALISATION OF THE AMESMESSA MINERAL DEPOSIT IN ALGERIAN SAHARA

*The geological structure, mineralogical and geochemical features of a Amesmessa gold mineral deposit located in In-Uzzal region of a shield Hoggar (the Algerian Sahara) are described. The ore object has Proterozoic age and belongs to gold quartz — low-sulfide formation. Basis of its structure and a standard geological situation of ore veins location are fault paragenesis that had arisen in process of development big fault zone during the Ebourneisky tectonic and magmatic cycle. This object belongs to a formation typical for the metallogeny of zones green of belts of ancient shields and has good prospects of accumulation of the ore resource potential. **Key words:** Ahaggar, Sahara, In-Uzzal gold district, Amesmessa mineral deposits, granite-greenstone belt, geodynamic of shift zones.*

Впервые признаки золотой минерализации в Алжирской Сахаре в юго-западной части докембрийского щита Ахаггар (Hoggar) были обнаружены французскими геологами в 1950-х годах [6]. Однако лишь в 1970–1990-х годах после совместных работ российских и алжирских геологов был выявлен и разведан ряд золоторудных объектов, в том числе наиболее значительное месторождение Амесмесса (Amesmessa) с запасами 61 т Au при среднем содержании золота 18 г/т. Координаты месторождения — 20°58'41" с.ш. и 2°29'2" в.д. Объект входит в состав Ин-Узальского золоторудного района. В нем, помимо месторождения Амесмесса, в 60 км к северу находится месторождение Тирек (Tirek) с запасами 14,8 т Au при среднем содержании золота 25 г/т и около 10 рудопроявлений, локализующихся вдоль субмеридионального Восточно-Инузальского регионального разлома.

Геологическое строение и особенности рудолокализации. Месторождение Амесмесса находится на юго-западной оконечности щита Ахаггар (рис. 1) в 350 км к юго-западу от г. Таманрассет. Оно приурочено к зоне тектонического сочленения архейского Западно-Ахаггарского горст-антиклинория, расположенного на западе щита, с протерозойскими гранит-зеленокаменными образованиями фарузского прогиба, находящимися восточнее. Главным элементом строения месторождения, определяющим его структуру, является меридиональная вбросо-сдвиговая зона Восточно-Инузальского разлома, которая делит площадь объекта на две части (рис. 2). В западной части месторождения развиты архейские ультраметаморфические образования Ину-