

ются индикатором локализации пластических деформаций на разных иерархических уровнях, а выдвинутое предположение о «диапировой» природе массива Кондер нашло свое подтверждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов А.А., Таврин И.Ф. Генетическое единство платиноносных дунитов Урала и Алданского щита // ДАН СССР. 1978. Т. 243. № 4. С. 991-994.
2. Панин В.Е., Гриняев Ю.В. Физическая мезомеханика: новая парадигма на границе физики и механики деформируемого твердого тела // Физическая мезомеханика. 2003. Т. 6. № 4. С. 9-36.
3. Тимофеев И.А., Антонов В.А., Мирошниченко Ю.А., Антонов С.В. Влияние дислокаций на магнитные свойства железокремниевых сплавов // Вестник МЭИ. 2007. №5. С. 41-44.

АПАТИТ-ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЕ РУДЫ СУРОЯМСКОГО ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МАССИВА, ИХ ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ, ГЕНЕЗИС И ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Жилин И.В.*, Пучков В.Н.**

**Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия*

e-mail: utemoff@rambler.ru

***Институт геологии УНЦ РАН, Уфа, Россия*

e-mail: puchkv@anrb.ru

THE APATITE-TITANOMAGNETITE ORES OF THE SUROYAM ALKALINE-ULTRAMAFIC MASSIF, THEIR COMPOSITION, GENESIS AND INDUSTRIAL IMPORTANCE

Zhilin I.V.*, Puchkov V.N.**

**Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia*

e-mail: utemoff@rambler.ru

***Institute of Geology USC RAS, Ufa, Russia*

e-mail: puchkv@anrb.ru

The Suroyam alkaline-ultramafic layered massif, composed mostly of pyroxenites and subordinate wehrlites, dunites and syenites, hosts a unique though still insufficiently prospected deposit of titanomagnetite- and apatite-titanomagnetite-rich pyroxenites with important concentrations of many valuable components. The deposit contains in general (mass.%): Fe_{total} 14,13 - 24,0; $Fe_{magnetite}$ 8,91-18,0; TiO_2 – 1,17-2,0; V_2O_5 – 0,09-0,10; P_2O_5 up to 5,15, Cu – 0,1-0,2. Sulphides in the ores show considerable concentrations of Au, Pd and Pt; $Pd \gg Pt$. The ores demonstrate a sideronitic texture and have a magmatic origin (the Rb-Sr age of phlogopite-containing pyroxenites is $415 \pm 1,1$ Ma). The reserves of the deposit promise to be very high. The calculated prognostic resources of $P_1 + P_2$ category to the depth of 500 m are equal to 11 billion tons.

Суроямский щелочно-ультраосновной массив, расположенный в Нязепетровской зоне западного склона Среднего Урала, уникален по своему тектоническому положению, по петрографическому составу развитых в нем магматических пород и по их металлогенической специализации. В то же время наблюдаются черты сходства этого массива с Качканарским, Волковским, Амамбайско-Сахаринскими массивами в Тагило-Магнитогорской зоне.

Массив полиформационный и полихронный, в его составе принимают участие апоперидотитовые серпентиниты с повышенной железистостью и низким в сумме 4 г/т содержанием редких земель, верлиты, безрудные диопсидовые и рудные щелочные (с флогопитом) диопсид-геденбергитовые пироксениты, нефелиновые сиениты и др.

Таблица 1
Прогнозные ресурсы титаномагнетитовых и апатит-титаномагнетитовых руд [1]

Участок	Категория ресурсов по глубинам	Ресурсы, млрд. т	Содержание в мас. %				
			Fe общ.	Fe маг.	TiO ₂	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅
Титаномагнетитовые руды							
Главная залежь	P ₁ (0-300 м)	2,2	14,34	9,52	1,03	0,33	0,07
- // -	P ₂ (300-500 м)	2,4					
	Итого: P ₁ +P ₂ (0-500 м)	4,6					
Апатит-титаномагнетитовые руды							
Главная залежь	P ₁ , (0-300 м)	4,2	13,93	8,04	1,26	2,16	0,14
Восточный участок	P ₂ (0-300 м)	2,2					
	Итого: P ₁ +P ₂ (0-300 м)	6,4					
Всего по месторождению	P ₁ +P ₂ (0-500 м)	11,0					

Строение массива линейно-зональное, что выражается наличием в центральной приосевой части массива рудных пироксенитов, которые в краевых частях сменяются меланжированными (раздробленными) апогарцбургитовыми серпентинитами и верлитами разломных зон, ограничивающих массив.

Для Суроямского массива характерна также расслоенность, выражающаяся в полосовидном распределении в его разрезах железа, фосфора, меди, кобальта, стронция, бария и др.

Главными породообразующими и аксессуарными минералами пироксенитов являются: клинопироксен, биотит-флогопит, титаномагнетит, апатит (два последних при высоких содержаниях становятся рудообразующими), оливин, сфен, циркон, рутил, анатаз и др. В незначительных количествах (до 1 %) присутствуют более поздние по отношению к титаномагнетиту рудные минералы: халькопирит, пирит, сфалерит, линнеит, пирротин, пентландит, валлериит.

Структура породы средне-крупнозернистая, текстура массивная. Форма выделений титаномагнетита, так же как и на Качканарском месторождении, ксеноморфная с образованием сидеронитовой структуры.

Титаномагнетит содержит ориентированные пластинчатые вроски практически полностью сфенизированного ильменита толщиной до 0,16 мм, которые составляют 3-5 % объема зерен. В мономинеральной фракции титаномагнетита содержится: железо валовое – 71,78 %, двуокись титана – 0,70 % и пятиокись ванадия – 0,21-0,38 %.

Апатит в пироксенитах распределен неравномерно в виде отдельных вкрапленников и гнезд, приуроченных к краевым частям массива. Форма зерен столбчатая с четкими кристаллографическими очертаниями, преобладающий размер 0,1-1,0 мм.

По данным химических и нейтронно-активационных анализов – это фтор-apatит с содержанием (в мас. %): фтора 1,88, хлора 0,19, скандия 0,5, стронция 0,47, бария 0,032, редких земель 0,47, бериллия 0,05. Из редких земель преобладают легкие лантаноиды – церий и неодим.

В целом по Суроямскому месторождению в рудных пироксенитах обнаружены следующие компоненты (мас. %): железо общее от 14,13 до 24,0; железо магнетитовое 8,91-18,0; двуокись титана 1,17-2,0; пятиокись ванадия 0,09-0,10; пятиокись фосфора до 5,15, медь 0,1-0,2. По данным интерпретации физических полей среди вкрапленных руд возможны участки с содержанием железа 28-30%.

С учетом геолого-экономических факторов выделяется два промышленных типа руд – титаномагнетитовый (приурочен к осевой центральной части массива) с бортовым содержанием железа более 7% и пятиокиси фосфора менее 1 %, и апатит-титаномагнетитовый с бортовым содержанием железа более 3% и пятиокиси фосфора более 1%, слагающими краевые его части.

Авторские прогнозные ресурсы железных руд, Суроямского массива до глубины 300 м составляют по категории P₁ 6,4 млрд. т и до глубины 500м P₁+P₂ 11,0 млрд. т. (табл. 1).

Различные типы руд в лабораторных условиях подвергнуты обогащению (мокрая магнитная сепарация с последующей флотацией), при этом были получены мономинеральные концентраты – титаномагнетитовый с выходом рудного минерала по типам руд 15,7% и 13,7%, содер-

жаниями железа 56,5-65,8 %, апатитовый концентрат (выход 2,3-4,3 %) с содержаниями пятиокси фосфора от 25,0 до 37,2 % и медный с содержанием меди 18,4 % при извлечении 34 %.

Суоямский титаномагнетитовый концентрат по данным 220 малообъемных технологических проб содержит в среднем 1,99 % двуокси титана, который при металлургическом процессе является вредной примесью и 0,36 % природно легирующего ванадия. С учетом скрытой зольности содержание титана в геологических разрезах не стабильное, с падением содержаний в титаномагнетитовом концентрате от 3,0 % до 1,3-1,5 % при движении от периферической к центральной части рудной залежи.

По данным фазового анализа (технологическая проба № 2) с титаномагнетитом связано 63,2 % железа. Значительное количество железа (34,6 %) связано с железосодержащими силикатами – пироксеном, биотитом, амфиболом, хлоритом. Двуокись титана связана с ильменитом 12,5 %, титаномагнетитом 18,1 % и силикатами (в т.ч. сфеном-лейкоксеном) – 69,4 %.

Таким образом, практически 70 % титана в руде связано с силикатами, которые в процессе обогащения уходят в хвосты магнитной сепарации.

Как показали технологические испытания (проба № 4), титаномагнетит начинает выделяться из сростков с нерудными минералами в классе крупности 0,87-0,42 мм, но основная масса его раскрывается из сростков в классе 0,1-0,074 мм.

Количество фосфора в титаномагнетитовом концентрате составляет сотые доли процента и в редких случаях превышает пределы допустимых содержаний (0,15-0,3%).

Коэффициент основности железных концентратов Суоямского месторождения равен 0,78, что согласно ГОСТ, характеризует руды как самофлюсующиеся высокого качества. Кремниевый модуль равен 3,4.

В апатит-титаномагнетитовых рудах обнаружены повышенные содержания благородных металлов – золота 0,6 г/т; серебра 0,3 г/т; палладия до 0,71 г/т; платины 0,035 г/т; и редких элементов – германия 1,64 г/т; теллура 1,8 г/т.

Исследования показали, что платина, палладий и золото в клинопироксенитах Суояма связаны с обогащенной фракцией сульфидов.

В технико-экономических соображениях о возможном промышленном значении месторождения просчитывалось строительство ГОКа по переработке 42 млн. т. руды в год с получением 5,8 млн. т. железо-ванадиевого концентрата. Попутно после измельчения хвостов СМС флотацией может быть выделено 656 тыс. т. продукта для производства фосфатных удобрений. Стоимость ГОКа в ценах 1985 года составляет 800 млн. рублей, срок окупаемости капитальных вложений 9 лет, общий уровень рентабельности 10,1 %.

Происхождение магнетитовых вкрапленных руд качканарского типа трактуется по-разному. Одни геологи [3, 4, 5, 6, 8] считают, что это магматические (первичные) руды, другие [2, 9, 10] придерживаются контактово-метасоматической точки зрения.

Магматическое направление в теории образования магнетитовых вкрапленных руд получило дополнительное обоснование и существенное развитие в трудах сибирских геологов, в частности [4]. В этой работе дается наиболее обоснованное физико-химическое и термодинамическое доказательство магматических условий образования магнетитовых месторождений. При этом акцентируется внимание на том, что одной из главных причин появления и обособления ферритовых магм в процессе перерождения силикатных железосодержащих расплавов является обогащение последних щелочными компонентами и водой при относительном постоянстве PO_2 . В свете установленных закономерностей генетическая связь магматических магнетитовых месторождений со щелочными породами обуславливается в первую очередь ростом активности щелочей, предопределяющих возрастание окислительных свойств силикатных расплавов, что является причиной процессов ферритизации этих расплавов на магматической стадии.

В основу гипотезы ферритизации силикатных расплавов положен процесс окисления 2-х валентного железа силикатов до 3-х валентного ферритов и их дифференциацию на собственно щелочную силикатную и ферритовую составляющие.

Предлагаемая сибирскими геологами модель образования магматических магнетитовых месторождений во многом согласуется с нашими данными, полученными в ходе изучения Суоямского месторождения. К числу признаков, свидетельствующих о магматической природе су-

роямских вкрапленных руд относятся следующие:

- Высокая степень окисления железа в пироксене, достигающая 72.0%, связанная с щелочным уклоном родоначальной магмы.
- Наличие сидеронитовых и мирмекитовых структур, характерных и для Качканарского месторождения, магматическая природа которых была доказана [6].
- Наличие структур распада твердых растворов в ассоциациях магнетит-ильменит и пироксен-магнетит.
- Эвтектоидное соотношение количеств пироксена и магнетита в рудах равное 80:(15-20) со стабильным содержанием оливина (8-10%).
- Золото-платино-палладиевая специализация апатит-титаномагнетитовых руд, связанная с сульфидной фракцией пироксенитов (баронско-волковский тип).
- Довольно устойчивые содержания рудообразующих компонентов ($Fe_{\text{мар}}$, TiO_2 , V_2O_5 , и P_2O_5) в соседних подсчетных блоках и месторождению в целом.
- Расслоенность при зональном строении массива.

Несмотря на главенствующую роль в образовании Суроямского месторождения магматических процессов, большое значение в концентрации полезных компонентов (железо, медь, платиноиды, фосфор) играли и позднемагматические флюиды, генетически связанные с более молодой щелочной магмой, способствующие отгонке вышеуказанных компонентов в краевые части массива.

Палладий-платиновые отношения отражают глубину зарождения, минеральный состав и формационную принадлежность магматических пород. Гипербазиты глубинных уровней мантии характеризуются низким Pd/Pt отношением, в то время как менее глубинным свойственна существенно палладиевая металлогеническая специализация. [7]

Суроямское месторождение апатит-титаномагнетитовых руд, содержащих платиноиды, характеризуется высоким Pd/Pt отношением = 7:1. Проведенные термобарические расчеты по девяти образцам показали, что клинопироксениты Сурояма образовались при относительно низкой температуре 750-860°C, при давлении 1 кбар., что соответствует коровым условиям.

Высокий окислительный потенциал среды магмообразования на уровне современного очага в коровых условиях способствовал кристаллизации малотитанистого титаномагнетита по составу близкого к магнетиту скарновой формации.

Изохронный Rb-Sr возраст Суроямского массива по пироксениту и флогопиту, определенный по совокупности аналитических данных, составляет $415 \pm 1,1$ млн. лет (аналитики Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П.) и попадает в пределы точности определения границы силура и девона.

После значительного перерыва во времени в девоне (K-Ar абсолютный возраст по четырем определениям в пределах 375-388 млн. лет) на этапе тектономагматической активизации на границе раннего и среднего девона произошло внедрение щелочной магмы, которое сопровождалось интенсивным метасоматозом вплоть до магматического замещения более древнего пироксенитового субстрата ранне-островодужного происхождения.

Щелочные породы Суроямского массива обогащены фосфором, барием, стронцием, а также легкими лантаноидами цериевой подгруппы и в то же время обеднены ниобием, танталом, частично цирконием. Подобные геохимические особенности обычно имеют высококальциевые базальтоиды, сформировавшиеся в геодинамической обстановке сжатия земной коры (субдукции, коллизии) [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилин И.В., Плохих Н.А. Суроямское месторождение комплексных ванадийсодержащих руд – важнейшая потенциальная сырьевая база для черной металлургии Челябинской области // Современное состояние и перспективы использования сырьевой базы Челябинской области. Сборник научных статей научно-практической конференции. Челябинск, 2000. С. 93-95.
2. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Ур. университет, 1997. 488 с.
3. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Заметка о щелочных породах // Избранные труды. Т. III. М.: АН СССР, 1952. С. 267-273.
4. Павлов А. Л. Генезис магматических магнетитовых месторождений. Новосибирск. Наука, Сиб. отд., 1983. 205 с.

5. *Полтавец Ю.А., Сазонов В.Н., Полтавец З.И., Нечкин Г.С.* Закономерности распределения благородных металлов в рудных парагенезисах Волковского габбрового массива (Средний Урал) // *Геохимия*. № 2. 2006. С. 167-190.

6. *Попов В.А.* О генезисе сидеронитовых структур руд Качканара // *Минералы и минеральное сырье Урала*. Сб. научн. трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С. 63-77.

7. *Удовкина Н.Г., Белоусов Г.Е.* Платиноиды в гранатовых перидотитах и эклогитах различного генезиса // *Вопросы петрологии и металлогении Урала*. Тезисы докладов Четвертой Уральской петрографической конференции. Т. II. Свердловск, 1981. С. 173-174.

8. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. Т. IV. М.: АН СССР, 1958. 588 с.

9. *Фоминых В.Г., Краева Ю.П.* Петрология и рудогенез качканарского массива. Свердловск.: УНЦ АН СССР, 1987. 179 с.

10. *Штейнберг Д.С., Фоминых В.Г.* О генезисе титаномагнетитов // *Минералогия и геохимия железорудных месторождений Урала*. Свердловск, 1974. С. 27-42.

11. *Watson E.B.* Two-liquid partition coefficients: experimental data and geochemical implications // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1976. V. 56. № 1. P. 119-134.

СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД ЧУСОВСКОЙ СЕРИИ ВЕРХИСЕТСКОГО МАССИВА С ПОРОДАМИ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

Зинькова Е.А.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

e-mail: zinkova@yandex.ru

SIMILARITIES AND DIFFERENCES BETWEEN CHEMISTRY OF THE ROCKS OF THE CHUSOVSK SERIES (VERKHISETSK MASSIF) AND THE ROCKS OF THE PLATINUM-BEARING BELT OF THE URALS

Zin'kova E.A.

Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia

e-mail: zinkova@yandex.ru

Verkhisetsky batholith – the Urals largest plutonic body. The south and the most eroded part of the massif consists of the most older rocks of the chusovsk gabbro-diorite series. These rocks present outcropped anatexic zones. Such a zones present among rocks of anortozite-plagiogranite series of Platinum-bearing belt of the Urals too. The adakite-like chemistry of both series permit to suggest their formation during the same geodynamics regime – the subduction of a young lithosphere. Recent adakite series are present nearby active zones of oceanic spreading, where young hot oceanic lithosphere is subducted (ridge subduction).

Базитовый магматизм часто сопровождает становление гранитоидных батолитовых интрузий активных континентальных окраин [9, 6, 11]. Классическими примерами таких интрузий являются батолиты западного побережья Северной и Южной Америки – батолиты Каскадных гор, Сьерра-Невады, Прибрежные батолиты Южной Америки. Повсеместно они сопровождаются небольшими базитовыми интрузиями, синплутоническими мафитовыми дайками и меланократовыми включениями, составляющими до 20% объема гранитоидов и имеющими важное значение в их генезисе.

Сходен с ними и Верхисетский массив, расположенный вблизи г. Екатеринбурга, – крупнейшее на Урале батолитообразное тело в пределах палеоокраинно-континентальной области. К настоящему времени выявлена его сложная и длительная история развития, где наиболее ранними образованиями являются диориты чусовской габбро-диоритовой серии, с U-Pb цирконовым возрастом 369 Ma [2]. Породы серии развиты в южной, наиболее эродированной части мас-