

УДК 666.295.05

МИНЕРАЛЬНО–СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВАНАДИЯ**С. А. Гринь, И. В. Питак, П. В. Кузнецов**Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: gryngi@ukr.net, ipitak@rambler.ru

Рассмотрено концентрирование ванадия в разные эпохи образования минералов на Земле. Рассмотрены перспективы расширения сырьевой базы ванадия, как в мире, так и в странах СНГ, современное состояние основных производителей ванадиевого сырья и его экспорт–импорт. Показаны основные производители ванадия в начальный период промышленной добычи. Установлен состав и дана характеристика типам промышленных месторождений ванадия в странах СНГ и в мире. Исследовано образование ванадиевых руд в разные эпохи рудообразования на Земле; показаны типы промышленных месторождений ванадия в странах СНГ и в мире; дана характеристика основных производителей ванадиевого сырья в начальный период промышленной добычи. Рассмотрены все проблемы минеральной сырьевой базы ванадия – экономические соображения, возможности, отношение к качеству выпускаемых продуктов промышленности, снижение экологической опасности производства ванадиевой продукции.

Ключевые слова: добыча, соединения, ванадий, развитие, характеристика.

МИНЕРАЛЬНО–СИРОВИННА БАЗА ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ОТРИМАННЯ ВАНАДІЮ**С. А. Гринь, І. В. Питак, П. В. Кузнецов**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, г. Харків, 61002, Україна. E-mail: gryngi@ukr.net, ipitak@rambler.ru

Розглянуто концентрування ванадію в різні епохи утворення мінералів на Землі. Розглянуто перспективи розширення сировинної бази ванадію як у світі, так і в країнах СНД, сучасний стан основних виробників ванадієвого сировини і його экспорт–імпорт. Показані основні виробники ванадію в початковий період промислового видобутку. Встановлено склад і дана характеристика типів промислових родовищ ванадію в країнах СНД і в світі. Досліджено утворення ванадієвих руд в різні епохи рудоутворення на Землі; показані типи промислових родовищ ванадію в країнах СНД і в світі; наведена характеристика основних виробників ванадієвої сировини в початковий період промислового видобутку. Розглянуто всі проблеми мінеральної сировинної бази ванадію – економічні міркування, можливості, відношення до якості продуктів, що випускаються промисловістю, зниження екологічної небезпеки виробництва ванадієвої продукції.

Ключові слова: видобуток, сполуки, ванадій, розвиток, характеристика.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Ресурсы природы и их упорядоченное потребление – ключевой вопрос обеспечения устойчивого развития общества и государства. Недостаток природных ресурсов при растущем населении земли привел к необходимости их рационального использования. Минеральные ресурсы образуются исключительно медленно и используются в большинстве случаев однократно. Это важнейшие ресурсы в жизни человеческого общества. В связи с изменением промышленного производства, колебаниями уровня жизни населения, увеличением объема услуг, значительным ростом в потреблении стали увеличивается спрос на улучшение ее качества. Как известно, сталь обладает повышенной упругостью и прочностью с добавками ванадия [1].

Ванадий в основную химическую промышленность пришел не сразу. Его служба человечеству началась в производстве цветного стекла, красок и керамики. Изделия из фарфора и продукцию гончарных мастеров с помощью соединений ванадия покрывали золотистой глазурью, а стекло окрашивали слоями ванадия в голубой или зеленый цвет. В красильном деле ванадий появился вскоре после опубликования в 1842 г. сообщения выдающегося русского химика Н.Н. Зинина о получении им анилина из нитробензола. Реакции Зинина открыли новые возможности для развития производства синтетиче-

ских красителей. Соединения ванадия нашли применения в этой отрасли химии и принесли ей значительную пользу. Ведь достаточно всего одной весовой части V_2O_5 , чтобы перевести 200 тыс. весовых частей бесцветной соли анилина в красящее вещество – черный анилин [2]. Столь же эффективным оказалось применение соединений ванадия в индиговом крашении. Так ванадий пришел в ситцепечатание, в производство цветных хлопчатобумажных и шелковых тканей.

В начале первой мировой войны сражающимся странам потребовались громадные количества серной кислоты, без которой невозможно получить нитроклетчатку – основу боевых порохов. Известно, что серная кислота получается окислением SO_2 в SO_3 с последующим присоединением воды. Стадия окисления проходит ускоренно в присутствии катализаторов. Катализаторы на основе ванадия используются с таким же успехом, как и платина, но для производства они обходятся дешевле, да и требуется их меньше [3]. Их по-прежнему можно встретить в цехах производства серной кислоты, не обходятся без них и такие важные процессы, как крекинг нефти, получение уксусной кислоты путем окисления спирта и многие другие.

Если химическая промышленность нуждается, прежде всего, в соединениях ванадия, то металлургии необходим сам металл и его сплавы. Ванадий –

один из главных металлургических элементов, который улучшает свойства стали, востребованность которой в последние годы особенно растет. Перспективы дальнейшего потребления ванадия в будущем могут гарантировать новые области его применения, поэтому актуальным становится задача исследования сырьевой базы ванадия.

Цель работы – исследовать образование ванадиевых руд в разные эпохи рудообразования на Земле; показать типы промышленных месторождений ванадия в странах СНГ и в мире; дать характеристику основных производителей ванадиевого сырья в начальный период промышленной добычи.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В земной коре ванадия больше, чем других легирующих элементов – хрома, никеля, цинка и даже меди. Однако минералы, богатые элементом № 23 Периодической системы Д.И. Менделеева, встречаются редко. Соединения ванадия рассеиваются в земной коре водой; они более растворимы, чем природные соединения других металлов, расположенных в правой половине менделеевской таблицы, и перемещаются в горных породах на значительные расстояния. Ванадий накапливается в некоторых рудах и других металлов – свинца, меди, цинка, урана, а так же в угле, нефти, сланцах, битуминозном песке. Ванадий обычно извлекается как ~~продукт~~ ~~продукт~~ ~~продукт~~ ванадийсодержащего сырья – ванадинита $Pb_5(VO_4)_3Cl$ – было открыто в Испании в 1902 г. В 1925 г. ванадинит обнаружили в Южной Африке. Он встречается так же в Чили, Аргентине, Мексике, Австралии, США [4]. Исключительны по своему значению месторождения ванадия в Перу. Они находятся в горах на высоте 4700 м над уровнем моря. Главное богатство перуанских месторождений – минерал патронит – простое соединение ванадия с серой V_2S_5 . При обжиге патронита получают концентраты с очень высоким содержанием пентаоксида ванадия – до 20–30 % [5]. Некоторые страны СНГ – Россия, Украина, Таджикистан, Казахстан – располагают собственными запасами этого ценного металла. Россия занимает лидирующее положение по добыче ванадия, его запасам сырьевой базы и в промышленном использовании.

В России ванадий впервые был найден в Ферганской долине у перевала Тюя–Муюн (в переводе с киргизского – Верблюжий горб). Из этих руд «Ферганское общество по добыче редких металлов» извлекало в небольших количествах соединения ванадия и продавало их за границу. Большую часть ценных компонентов руды извлекать не умели, и эти богатства стали использовать комплексно после образования СССР. Позднее ванадий обнаружили на Украине – в керченских железных рудах.

Образование ванадиевых руд происходит медленно. В эндогенных условиях месторождения ванадия возникали на ранней стадии геосинклинального этапа в связи с интрузиями пород габбро-пироксенитовой формации [6]. В этих формациях ванадий тесно связан с титаномагнетитовыми и ильменит-магнетитовыми рудами. Распределение

ванадийсодержащих интрузивных массивов в докембрийских толщах подчиняется следующим закономерностям:

1) на щитах платформ с северного полушария (Северо-Американской, Восточно-Европейской и Сибирской) распространены небольшие по размерам, но многочисленные массивы основных и ультраосновных пород, содержащие относительно небогатую ванадием титаномагнетическую руду;

2) в Южном полушарии интрузивы гипербазитов не столь многочисленны, но среди них встречаются очень крупные (например, Бушвельский массив);

3) главнейшие ванадиеносные интрузивные массивы, как правило, образуют рудоносные зоны, контролируемые глубинными разломами, и которые размещаются вдоль границ платформ и протерозойских геосинклиналей.

В экзогенных условиях ванадий концентрировался в осадочных толщах углеродисто-кремнистых черных сланцев, образовавшихся на геосинклинальном этапе, а так же в осадочных рудах железа, боксита, угля и зонах окисления месторождений уран-ванадиевого и полиметаллического состава. Докембрийская эпоха – наиболее благоприятная для образования эндогенных месторождений ванадия. В это время сформировались крупнейшие в мире месторождения, связанные с Бушвельским комплексом. В титаномагнетитовых рудах содержание V_2O_5 составляет 0,4–2,5 %. Наиболее крупное месторождение Магнет Хейтс. На базе руд Бушвельдского комплекса созданы заводы по производству ванадиевых шлаков годовой производительностью 20 тыс. т в пересчете на металл. В Финляндии разведано несколько коренных месторождений (Отанмяки, Вуолийски и др.), в рудах которых среднее содержание металла достигает 2,4%. В России месторождения ванадийсодержащие титано-магнетитовые руды известны в Карелии и на Южном Урале [5].

В раннепалеозойскую эпоху промышленные эндогенные месторождения ванадия практически не образовывались. В это время возникли экзогенные месторождения ванадия, связанные с углеродисто-кремнистыми сланцами.

Позднепалеозойская эпоха в целом являлась малопродуктивной для ванадия. В это время образовывались сравнительно небольшие месторождения, связанные в основном с углями и углеродисто-кремнистыми сланцами.

Мезозойская и кайнозойская эпохи рудообразования являлись глобальными для формирования морских и континентальных оолитовых железных руд, являющихся концентратом ванадия. Наиболее крупные месторождения этого типа образовались в Западной Европе (Лотарингский бассейн) и на территории СНГ (Керченский железно-рудный бассейн – Украина).

Основные угнетенные запасы ванадия сосредоточены в низко-титанистых титано-магнетитовых рудах магматических месторождений. Они же составляют главную долю запасов стран СНГ (табл. 1).

Таблица 1 – Региональная структура минерально–сырьевой базы ванадия в СНГ

Государства СНГ	Ведущий ГТП	Доля в разведанных запасах (балансовых)	Доля в общей добычи СНГ	Основные месторождения
Россия	Титаномагнетитовые в ультрамафитах и мафитах	93,9	95	Гусевогорское, Первоуральское
	Бокситы	3,5	2,65	СУБР, Северо–Онежская и Чадобецкая группы месторождений
Казахстан	Нефть	2,2	2,35	Каражанбас, Северо–Бузачинское
	Бокситы	0,3	–	Краснооктябрьская группа месторождений
Украина	Ильменитовые и апатитильменитовые	0,1	–	Семигородское

Таблица 2 – Промыленно–генетические типы месторождений ванадия в России

Группа месторождений	Типы месторождений	Главные промышленные компоненты	Содержание V в руде, % масс.	Главные минералы–концентраты V (содерж. в них V, % мас.)	Месторождения
Магматические	Титаномагнетитовые в пироксенитах, перидотитах, оливинитах, горноблендитах и габбро (дунит–пироксенит–габбровая формация)	Fe	0,05–0,17	Титаномагнетит (0,13–0,84)	Гусевогорское, Качканарское, Первоуральское Волковское (Урал)
	Ильменит–титаномагнетитовые, в габбро (габбро–диорит–диабазовая формация)	Fe, Ti	0,1–0,4	Титаномагнетит (0,31–0,62) Ильменит (0,04–0,09)	Копанское, Медведевское (Урал)
	Ильменитовые, титаномагнетитовые, гематит–ильменитовые в габброидах (габбро–анортозитовая формация)	Ti, Fe	0,1–1,6	Титаномагнетит (0,3–1,0) Ильменит (0,08–0,15)	Большой Сейим (Амурская область)
	Титаномагнетитовые в габбро–норитах (формация расслоенных габброидов)	V, Fe	0,2–0,8	Титаномагнетит (менее 0,4–0,8)	Чинейское (Забайкалье)
Выветривания и россыпные	Россыпи с ильменитом и титаномагнетитом	Fe, Ti	0,1–0,34	Титаномагнетит (0,25–1,7) Ильменит (до 0,15)	Курильские о–ва, Татарский пролив, Кусинско–Саткин–ский район (Урал)
Осадочные	Бокситы	Al	0,01–0,3	Магнетит (до 0,4), гидрогениит и гематит (до 0,14), бемит (до 0,04), гиббсит (до 0,02)	Северо–Онежская группа и др.
	Нефть (высокосернистые сорта)	C	До 0,05	Зола нефти (0,6–58,4)	Урало–Волжская провинция
	Битумы	C	До 0,3	Зола (до 34)	Оренбургская область
Метаморфитзо–ванные	Ильменит–магнетитовые в габбро–амфиболитах	Fe, Ti	0,24	Магнетит (0,8–1,3) Ильменит до 0,13	Кусинское (Урал)

В странах СНГ первое место по разведанным запасам ванадиевых руд занимает Россия, в Украине же всего 0,1 % от всех запасов. Так как Россия – наш близкий сосед, то для улучшения качества сталей выплавляющих на Украине, целесообразно ориентироваться на промышленные месторождения ванадия в России. В России выявлено большое число месторождений ванадия, которые относятся к различным промышленно-генетическим типам (табл. 2) [7, 8]:

- магматические
- выветривания
- россыпные,
- осадочные,
- метаморфогенные.

Магматические месторождения. В месторождениях этого типа сосредоточены основные запасы промышленных ванадийсодержащих руд. Они пространственно связаны с основными и ультраосновными изверженными породами. Площади наиболее крупных массивов достигают нескольких сотен квадратных километров, а изредка – до тысяч квадратных километров. Рудные тела магматических месторождений представляют собой залежи вкрапленных руд, имеющих форму линз, а также жилы, пласто-, трубообразную формы; встречаются пластообразные обособления массивного магнетита. Среднее содержание ванадия в рудах невысокое – 0,1–1 %. Однако запасы ванадийсодержащих руд на некоторых месторождениях достигают нескольких миллионов тонн. Наиболее известные месторождения этого типа: Гусевогорское (Россия), Малакс (ЮАР), Тегавус (США), Родсенд (Норвегия), Лак-Тео (Канада), Баррамби (Австралия).

Месторождения выветривания формируются в зонах окисления полиметаллических руд. Они, как правило, небольшие по запасам. Ванадий концентрируется только в окисленных рудах, где его содержание достигает 5,5 %. Рудные тела имеют трубообразную форму, верхняя часть их сложена окисленными рудами, содержащими церуссит, смитсонит, малахит, англезит, азурит и ванадинит. Глубина зон окисления руд обычно не превышает нескольких сот метров. Месторождения этого типа широко распространены в Африке (Броккен-Хил в Замбии, Берг-Аунас в Намибии, Колорадо-Плато в США), встречаются также в Австралии, Аргентине, Мексике и России.

Россыпные месторождения известны в Австралии, Новой Зеландии, Индии, России и других странах. По генезису – это прибрежно-морские россыпи ванадийсодержащих титаномагнетитовых песков. Содержание металла в них невысокое – около 0,7 %. Крупные россыпи ванадийсодержащих песков известны на побережье Новой Зеландии (запасы около 800 тыс. т). Месторождения осадочные.

Значительные количества ванадия концентрируются в осадочных месторождениях железа, бокситов, а также в сланцах, углях и нефти. В оолитовых бурых железняках (Лотарингский, Керченский бассейны и др.) содержится 0,05–0,1 % металла, который извлекается. Повышенное содержание ванадия установлены в бокситах Италии. Месторождения ванадиеносных сланцев представлены чередованием пачек углисто-глинистых и кремнистых сланцев

суммарной мощностью в десятки метров. При мощности отдельных пачек 0,5–2 м ванадий концентрируется, главным образом, в углистых прослоях, где содержание его достигает 1–2 %, в то время как в кремнистых прослоях снижается до 0,2–0,3 %. Состав таких руд очень сложный: углистое вещество с участием карбонатов и ванадатов (ванадинит, узебекит, фольбортит), фосфаты, барит, роскоэлит и др. карнотитовые и роскоэлитовые месторождения в пестроцветных отложениях (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты) осадочного чехла распространены во многих странах, но наибольшее значение имеют в США, где в них наблюдаются повышенные концентрации ванадия (до 1,7 %), урана (0,18–0,34 % U_3O_8) и меди (около 0,5 %). Повышенной ванадиеносностью характеризуются высокосернистые нефти Урало-Волжской провинции, Венесуэлы, Ирана и других нефтегазоносных областей. Главное рудное тело прослежено по простиранию на 100 м при мощности от нескольких сантиметров до 9–12 м. Руда сложена черным аморфным патронитом в асфальтоподобном веществе, содержащем серу. Руды очень богатые и содержат ванадия до 15 %, Ni – 1,5 %, Mo – 0,5–1,5 %. Условия образования этого месторождения не совсем ясны.

Метаморфогенные месторождения. Месторождения этого типа не многочисленны. Они известны в Финляндии, Норвегии и США. В Финляндии – это месторождение Отанмяки. Здесь в амфиболитах развиты две зоны линзовидных рудных тел, сложенных ильменит-магнетитовыми рудами со средним содержанием ванадия 0,62%. В США находится месторождение Уильсон-Спрингс. Оно приурочено к зоне аргиллитизации на контакте нефелиновых сиенитов и кристаллических сланцев. Концентраторами ванадия служат глинистые минералы. Содержание ванадия в них в среднем составляет 0,6 %. Запасы металла на месторождении около 30 тыс. т.

Главными промышленными рудами, содержащими ванадий, являются руды магматических месторождений железа. В СССР подобные руды использовались начиная с 1934 г., хотя впервые ванадий был найден в России в Ферганской долине, в 1927 г. был обнаружен в Сулейман-Кае, около нынешнего г. Джамбула. В 1934 г. был введен в строй ванадиевый цех на Чусовском металлургическом заводе. Позже поставщиками ванадия стали так же месторождения центрального Казахстана, Киргизии, Красноярского края, Оренбургской области. В горе Качканар на Урале заключено 8 млрд. т. железной руды, разработка ее началась лишь в 60–е годы. Богатейшие источники ванадия:

- уральские титаномагниты вместе с керченской рудой (УкраинаОАО Чусовский металлургический завод, (Россия, г. Чусовой);
- ОАО Тулачермет, (Россия, г. Тула);
- АООТ Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат, (Казахстан, Усть-Каменогорск);
- ОАО Луч, опытный завод, (Россия, г. Подольск);
- АО Уралредмет, (Россия, Верхняя Пышма);
- ТПК Спецметаллмастер, (Россия, г. Москва);
- Худжанский комбинат редких металлов (Таджикистан, Чорух-Дайрон);
- ОАО Ависма, Титано-магниевый комбинат, (Россия, г. Березники);
- ГП Институт химии твердого тела уральского отделения РАН, (Россия, г. Екатеринбург);

– Исфаринский гидрометаллургический завод (Таджикистан, Исфара).

За рубежом железные руды для извлечения ванадия начали широко применяться только в послевоенные годы (ЮАР, Финляндия, Норвегия, Китай). По данным Геологической службы США (USGS) за 1965–80 гг. потребление ванадия за рубежом удвоилось, достигнув 37 тыс. т в пересчете на V_2O_5 . лидирующее положение среди производителей пентаоксида ванадия занимает южноафриканская корпорация «Highveld Steel and Vanadium Corp. Ltd №, на долю которой приходится около 40 % выпуска ванадиевой продукции промышленно развитыми капиталистическими и развивающимися странами. Общая добыча V_2O_5 . В этих странах в 1986 г. составила 31 тыс. т, в том числе в ЮАР – 26 тыс. т, США – более 3 тыс. т.

ВЫВОДЫ. Актуально рассмотрены вопросы в исследованиях:

– концентрирование ванадия в разные эпохи образования минералов на Земле;

– установлено состав и дана характеристика типам промышленных месторождений ванадия в СНГ и в мире;

– показаны основные производители ванадия в начальный период промышленной добычи.

Ведущей страной по потреблению ванадия становится Китай, где растет использование ванадия на 1 тонну стали. В списке ведущих мировых производителей ванадия первая позиция принадлежит также Китаю, затем – ЮАР, третье место занимает Россия. Экономические соображения, возможности, отношение к качеству выпускаемых продуктов промыш-

ленности, снижение экологической опасности производства ванадиевой продукции заставляет тщательно рассматривать все проблемы минеральной – сырьевой базы ванадия.

Важной задачей в дальнейших исследованиях является рассмотрение перспектив расширения сырьевой базы ванадия, как в мире, так и в странах СНГ, современное состояние основных производителей ванадиевого сырья и его экспорт – импорт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков А.Ю. Основы металлургии ванадия. – М.: Металлургиздат, 1959. – 139 с.
2. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1991. – С. 124–151.
3. Коршунов Б.Г. Аналитическая химия ванадия. – М., 1981. – 143 с.
4. Данчев В.И., Шиловский П.П. Ванадий. Металлы в осадочных толщах. Т. 2. – М., 1965. – 179 с.
5. Борисенко Л.Ф. Ванадий (минералогия, геохимия и типы эндогенных месторождений). – М., 1973. – 152 с.
6. Горная энциклопедия / Под ред. Е.А. Козловского. – М., 1984–1991. – 226 с.
7. Холодов В.Н. Осадочный рудогенез металлогения ванадия. – М., 1973. – 112 с.
8. Соколова К.Н. Производство и потребление ванадия за рубежом // Черная металлургия. – Москва: МИСИС, 1981. – № 10 (894). – С. 3–15.

MINERAL RESOURCES BASE FOR COMMERCIAL PRODUCTION OF VANADIUM

S. Grin, I. Pitak, P. Kuznetsov

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

vul. Frunze 21, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: gryngi@ukr.net, ipitak@rambler.ru

The authors have examined the vanadium concentration process during the different periods of formation of minerals on the Earth. The article discusses the prospects for the development of vanadium raw materials around the world and in the CIS countries in particular, as well as the current state of main producers of vanadium raw materials and the problems of vanadium export and import. The major vanadium producers in the initial period of its commercial production are pointed out. The authors have considered the formation of vanadium ores during the different age periods of orogenetical process on the Earth, analyzed the types of commercial deposits of vanadium within the territory of the CIS countries and all over the world specified the composition and characteristics of types of commercial deposits of vanadium, and characterized the key producers of vanadium raw materials in the initial period of its commercial production. The urgent problems and main challenges of the development of mineral recourse of vanadium raw materials are discussed in the article, among them such issues as economic considerations, opportunities and prospects, quality requirements for the products manufactured within this industry, reduction of environmental hazards accompanying the manufacture of vanadium products.

Key words: mining, compound, vanadium production, development, vanadium raw materials.

REFERENCES

1. Polyakov, A.Yu. (1959), *Osnovy metallurgii vanaidiya* [Fundamentals of vanadium metallurgy], Metallurgisdat, Moscow, Russia.
2. Zelikman, A.N., Korshunov, B.G. (1991), *Metallurgiya redkikh metallov* [Metallurgy of rare metals], Metallurgiya, Moscow, Russia.
3. Korshunov, B.G. (1981), *Analiticheskaya khimiya vanadiya* [Analytical chemistry of vanadium], Metallurgiya, Moscow, Russia.
4. Danchev, V.I., Shilovsky, P.P. (1965), *Vanadii. Metally v osadochnykh tolshchakh* [Vanadium. Metals in sedimentation masses], vol. 2, Nauka, Moscow, Russia.
5. Borisenko L.F. (1973), *Vanadii (mineralogiya, geokhimiya i tipy endogennykh mestorozhdenii)* [Vanadium (mineralogy, geochemistry, and types of endogenous deposits)], Nedra, Moscow, Russia.
6. *Gornaya Entsiklopediya* [Mining Encyclopedia], ed. by E. Kozlowski (1991), Sovetskaya entsiklopediya, Moscow, Russia.
7. Holodov, V.N. (1973), [Sediment ore genesis of vanadium metallogeny], Nauka, Moscow, Russia.
8. Sokolova, K.N. (1981), “Vanadium production demand in foreign countries”, *Chernaya metallurgiya*, vol. 894, no. 10, pp. 3–15, MISIS, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 21.02.2013.

