

**Тошназаров Абдумалик Хамзаевич,**  
Докторант Навоийского отделения Академии Наук  
Республики Узбекистан, Узбекистан, г.Навои  
Toshnazarov Abdumalik Khamzaevich,  
Doctoral student of the Navoi branch of the Academy of Sciences  
of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, Navoi

**Аликулов Шухрат Шаропович,** Профессор  
Навоийского государственного горно-технологического  
университета, Узбекистан, г.Навои  
Alikulov Shukhrat Sharopovich,  
Professor of Navoi State University of Mining  
and Technology, Uzbekistan, Navoi

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВАНАДИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ  
RESEARCH OF PROPERTIES AND TECHNOLOGIES  
FOR OBTAINING VANADIUM FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS**

**Аннотация:** В статье рассмотрены исследования свойств ванадия, применение в промышленности и возможность гидрометаллургического извлечения ванадия из хвостов титаномагнетитов разного химического состава с применением различных реагентов - хлорида натрия, оксида кальция, карбоната натрия, сульфата натрия и их смесей в разных соотношениях.

**Abstract:** The article discusses studies of the properties of vanadium, its application in industry and the possibility of hydrometallurgical extraction of vanadium from titanomagnetite tailings of different chemical compositions using various reagents - sodium chloride, calcium oxide, sodium carbonate, sodium sulfate and their mixtures in different ratios.

**Ключевые слова:** ванадий, металл, кислоты, отложения, яды, сплавы, ванадиевые сплавы, вольфрам, цирконий, руда, минералы, процесс выплавки, царская водка

**Keywords:** vanadium, metal, acids, deposits, poisons, alloys, vanadium alloys, tungsten, zirconium, ore, minerals, smelting process, aqua regia

**Введение.** В целях создания устойчивой минерально-сырьевой базы сталелитейной промышленности на основе детального изучения местных полезных ископаемых, оценка технологических характеристик изученных видов минерального сырья и обоснование наличия в Республике импортозамещающих продуктов их разновидностей в производстве черных металлов является злободневной проблемой горной промышленности Республики Узбекистан. Она требует исследования генетических типов, вещественного состава, морфологии и степени обогатимости железных руд Узбекистана. Одним из таких месторождений является Тебинбулакское месторождение титаномагнетитовых руд.

Титаномагнетиты - это разновидность рудного сырья сложного состава, имеющая в своем составе оксиды железа, двуоксид титана и пятиоксид ванадия.

Технология переработки титаномагнетитовых руд отличается от технологии обогащения железных руд тем, что в процессе переработки необходимо отделить оксиды ванадия и титана от оксидов железа [2], при этом также исследовать свойства ванадия, его использование в промышленности. Во многих странах около 90% ванадия получают из титаномагнетитовых и ильменит-магнетитовых руд, остальное - из уран-ванадиевых (карнотитовых) [1], ванадиевых (роскоэлитовых) руд, фосфоритов, бокситов, глин зоны аргиллитизации, окисленных полиметаллических руд и нефти.



**Методология исследования.** Рассмотрим свойства ванадия. Ванадий относится к числу достаточно редких элементов.

Ванадий - блестящий, серебристый металл, в чистом виде мягкий, устойчив к коррозии благодаря образованию защитной оксидной пленки. Реагирует с концентрированными кислотами, но не с расплавами щелочей. Применяется главным образом в сплавах легированных сталей.

В чистом виде ванадий - ковкий металл светло-серого цвета. Он почти в полтора раза легче железа, плавится при температуре  $1900 \pm 25$  °С, а температура его кипения 3400°С. При комнатной температуре в сухом воздухе он довольно пассивен химически, но при высоких температурах легко соединяется с кислородом, азотом и другими элементами.

Чистый ванадий - химически стойкий металл. Он не подвержен воздействию воды, в том числе морской. Он также не реагирует с соляной и слабой серной кислотами, растворами щелочей. Растворяется в концентрированной серной кислоте, в плавиковой (фтористоводородной) и азотной кислотах, а также в «царской водке».

Ванадий в промышленном масштабе стали применять лишь с начала XX в. до настоящего времени его основным потребителем (до 90%) является черная металлургия. Ванадий используют в производстве быстрорежущих, инструментальных и конструкционных сталей и чугунов. Благодаря его легирующим, раскисляющим и карбидообразующим свойствам повышается качество и эксплуатационные характеристики материалов. Ванадий применяют для получения сплавов на не железной основе (медно-ванадиевые, титано-ванадиевые сплавы, ванадиевые бронзы и др.). Большой интерес представляют ванадиевые сплавы с добавками вольфрама, ниобия, циркония и некоторых элементов, сверхпроводящие сплавы ванадия с галлием, кремнием, титаном и т. д. Перспективно использование чистого ванадия и его сплавов в ядерной энергетике, в ракетно-и самолетостроении.

Соединения ванадия, обладающие ценными каталитическими, люминесцентными, полупроводниковыми и другими свойствами, находят все большее применение в химической, радиоэлектронной, лакокрасочной, керамической, текстильной промышленности, а также в других отраслях народного хозяйства.

Из ванадийсодержащих руд (или их концентратов) ванадий извлекают либо непосредственным выщелачиванием растворами кислот и щелочей, либо выщелачиванием продукта окислительного обжига (в смеси с поваренной солью) водой или разбавленными кислотами. Из растворов путем гидролиза выделяют оксид ванадия (V)  $V_2O_5$ , который используют для выплавки феррованадия, а также производства металлического ванадия.

Ванадийсодержащие железные руды перерабатывают на сталь с получением ванадиевых шлаков. Шлаки подвергают обжигу в смеси с NaCl. Обожженный продукт выщелачивают водой, а затем слабыми сернокислыми растворами, после чего получают технический оксид ванадия (V).

Металлический ванадий получают либо непосредственным восстановлением оксида (V), либо в две стадии, т.е. сначала восстанавливают оксиды (V) до низшего оксида с использованием одного восстановителя, а затем низший оксид - до металла другим восстановителем.

Существует ряд методов получения металлического ванадия: кальциетермический, при котором ковкий ванадий получают методом восстановления оксидов ванадия кальцием; алюминотермический, когда основным восстановителем металла является алюминий; метод вакуумного углетермического восстановления оксидов ванадия (использование углерода наиболее перспективно); хлоридный, при котором хлорид ванадия ( $VCl_3$ ) восстанавливается жидким магнием.

Йодидный метод, заключающийся в диссоциации йодида ( $VI_2$ ) и обеспечивающий получение ванадия наиболее высокой чистоты, однако этот метод пока может быть использован лишь для получения небольших количеств высокочистого металла.



Каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому выбор того или иного метода определяется задачами в отношении качества конечного продукта, а также экономическими соображениями и возможностями осуществления самого процесса.

Черновой металл рафинируют электролизом в соляной ванне, переплавкой в индукционных, дуговых и электронно-лучевых печах, зонной плавкой в высоком вакууме (до чистоты 99,8-99,9%).

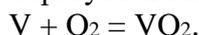
Ванадий металлический в кусках, получаемый алюминотермическим методом, по ТУ 48-4-520-90 должен содержать  $\geq 95,0 + 0,5\% V$ ,  $\leq 2,0\% Al$  и  $\leq 0,3\% Fe$ .

Рассмотрим также взаимодействие ванадия с неметаллами. Ванадий обладает высокой химической стойкостью в воде, водных растворах минеральных солей, разбавленной соляной кислоте и в растворах щелочей. На холоде на него действуют разбавленные азотная и серная кислоты. Плавиновая кислота, концентрированные азотная и серная кислоты, царская водка растворяют ванадий. Ванадий отличается высокой химической стойкостью, при нормальных условиях инертен.

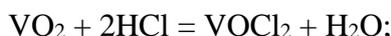
При температуре выше  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  взаимодействует с кислородом, образуя оксид ванадия (V):  $4V + 5O_2 = 2V_2O_5$ ,

Оксид ванадия (V)  $V_2O_5$  можно получить нагреванием метаванадата аммония на воздухе, гидролизом  $VOCl_3$ , нагреванием на воздухе или в кислороде порошкообразного ванадия, низших его оксидов и карбида.  $V_2O_5$  имеет две модификации: аморфную и кристаллическую. Водные растворы  $V_2O_5$  имеют кислую реакцию, реагируя со щелочами, дают соли.

При горении ванадия на воздухе образуется оксид ванадия (IV):



Оксид ванадия (IV)  $VO_2$  – вещество синего цвета, имеет кристаллическую решетку типа рутила. Амфотерное соединение, с преобладанием кислотных свойств. В воде не растворяется, реагирует с кислотами с образованием производных ванадила светло-синего цвета:



взаимодействует со щелочами, при этом образуются оксованадаты (IV) бурого цвета:  $4VO_2 + 2KOH = K_2[V_4O_9] + H_2O$ .

При температуре выше  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  реагирует с азотом с образованием нитрида:  $2V + N_2 = 2VN$ .

При нагревании до  $200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$  реагирует с галогенами. С фтором образует фторид ванадия (V): с йодом - йодид ванадия (II):  $2V + 5F_2 = 2VF_5$ ,

с хлором - хлорид ванадия (IV):  $V + 2Cl_2 = VCl_4$ ,

с бромом - бромид ванадия (III):  $2V + 3Br_2 = 2VBr_3$ ,

с йодом - йодид ванадия (II):  $V + I_2 = VI_2$ .

С углеродом при  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  образует карбид:  $V + C = VC$ .

При спекании с бором и кремнием при высоких температурах образует борид и силицид:  $V + 2B = VB_2$ ,  $3V + Si = V_3Si$ .

Реагирует с серой и фосфором при нагревании:  $2V + 3S = V_2S_3$ , возможно образование  $VS$  и  $VS_2$ ,  $V + P = VP$ , возможно образование  $VP_2$ .

Технологическая переработка руд V довольно сложна.

**Заключение:** Проведенные исследования показали возможность гидрометаллургического извлечения ванадия из хвостов титаномагнетитов разного химического состава с применением различных реагентов - хлорида натрия, оксида кальция, карбоната натрия, сульфата натрия и их смесей в разных соотношениях. Наиболее эффективными реагентами для обжига данного вида ванадиевого сырья являются добавки хлорида и карбоната натрия.



### Список литературы:

1. Ахмедова Н.М. и др. Экологические последствия добычи урана методом подземного выщелачивания и оценка влияния радионуклидов на окружающую среду. Научный журнал “ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)” № 11 (80)/2020 Том 7, Серия: Технические науки, декабрь 2020 г.
2. Хасанов А.С., Вохидов Б.Р., Мамараймов Г.Ф. Разработка технологии получения пятиоксида ванадия из минерального и техногенного сырья // UNIVERSUM: Технические науки - Москва, 2020. - №1(78)
3. Лютоев, В.П. Титаномагнетитовые руды: минеральный состав и Мёссбауэровская спектроскопия // Минералогия. – 2017. – Т. 3. – № 2.

