

көрсетілді. LIX 984N органикалық реагентінің мысты бөліп алу кезіндегі микроорганизмдердің белсенділігіне әсерін зерттеу жүргізілді. Экстракция реагенті микроорганизмдер өсуіне және мысты бөліп алуға аз мөлшерде әсерін тигізетіні белгілі болды. Мысты жалпы бөліп алуда экстракция реагентін қоспағанда 83 %-дан экстракция реагентін 250 мг/дм³ қосқан кезде 81 %-ға дейінгі аралықта ауытқыды.

Түйін сөздер: үймелі шаймалау, мыс, хемолитотрофты бактериялар, күкіртқышқылды шаймалау, бактериялық шаймалау.

ABSTRACT

The article describes results of research on copper recovery from low-grade copper ore by heap bioleaching method. The objects of investigation are ores of the Benkala deposit. Results of chemical analysis by atomic-emission spectrometric method and chemical phase analysis present ores element composition and identify copper and iron forms existing in the ores. Ores were subjected to bioleaching by chemolithotrophic bacteria, which oxidizes sulfur and iron compounds. *Acidithiobacillus ferrooxidans* FT-24 and BF, *Acidithiobacillus thiooxidans* BS, *Acidithiobacillus ferrivorans* SU-8 and *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* ST-12 strains were used in the research. It was modeling the process of bacterial heap leaching of low-grade ore in percolation columns. Comparison of efficiency of sulfuric acid and bacterial leaching in percolation columns shows advantage of bioleaching. The copper yield was 47 % at using conventional sulfuric acid leaching, while utilizing bacterial leaching increased the copper recovery up to 86 % during 90 days of the experiment. The values of oxidation-reduction potential (ORP) at sulfuric acid and bacterial leaching of copper ore presented are in accordance with yield of copper. The values of ORP at standard sulfuric acid leaching are between 330-360 mV, at bacterial leaching more high and are 480-550 mV due to high content of ferric iron. During the extraction of copper, the effect of the organic reagent LIX 984N in concentrations 50 and 250 mg/L on the activity of microorganisms was studied. As a result, the extraction reagent has a little effect on the growth of microorganisms and the extraction of copper. Without adding the extraction reagent, the total copper recovery was about 83 %, while the addition of the extraction reagent with concentration 250 mg/L decreased it to 81 %. So using bioleaching technology allows deep processing of copper ore due to oxidation of copper sulfide minerals.

Keywords: heap leaching, copper, chemolithotrophic bacteria, sulphuric acid leaching, bacterial leaching, bioleaching

Поступила 22.05.2018

УДК 669.292
МРНТИ 53.37.15
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.15>

Комплексное использование
минерального сырья. № 3. 2018.

С. К. ДЖУМАНКУЛОВА^{1*}, Ж. А. АЛЫБАЕВ¹, В. И. ЖУЧКОВ², Л. Т. БОШКАЕВА¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан. *e-mail: karabaevna_kz@mail.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ С СОЛЯМИ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Received: 22 May 2018 / Peer reviewed: 20 July 2018 / Accepted: 14 August 2018

Резюме. В статье проведены работы по окислению ванадийсодержащих руд казахстанских месторождений Баласаускандык и Курумсак пирометаллургическим способом в присутствии солей щелочных металлов и изучено влияние различных факторов (температуры, вида и расхода реагентов) на степень перехода ванадия в растворимую форму. Такой окислительно-восстановительный обжиг в присутствии солей щелочных металлов может способствовать к переводу ванадия в растворимую форму, что обеспечит более полное извлечение ванадия в последующих стадиях. Приведены химические анализы исходных ванадийсодержащих руд, полуколичественные рентгенофазовые и спектральные анализы огарков полученных от обжига ванадийсодержащей руды. Обжиг и окисление ванадийсодержащих руд проводили по различным вариантам: 1 вариант – в присутствии кальцинированной соды, 2 вариант – в присутствии хлорида натрия, 3 вариант – в присутствии смеси кальцинированной соды и хлорида натрия в интервале температур 700-850 °С, с продолжительностью в течение 2 часов. В результате выявлено, что после полного

сгорания углерода, содержащего в руде, содержание кварца SiO_2 в огарках достигает от 89 до 96 %, также в них обнаружены гематит Fe_2O_3 от 1 до 5,5 %, слюда $(\text{K,Ba})(\text{Al,Fe,Mg,V})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ содержащая ванадий от <1 до 2 %. Результаты полуколичественного рентгенофазового и спектрального анализов показали, что в продуктах обжига с добавкой смеси солей натрия при температуре 850 °С в полученных продуктах обнаружен ванадий. В результате обжига рассчитаны материальные балансы. После полного сгорания углерода в ванадийсодержащей руде происходит окисление ванадия с II, III и IV до V ванадия, что позволит значительно повысить степень выщелачивания ванадия при гидрометаллургической переработке кеков.

Ключевые слова: ванадийсодержащая руда, обжиг, кальцинированная сода, хлорид натрия, полуколичественный рентгенофазовый и спектральный анализы.

Введение. Потребление ванадия в мире постоянно растет из-за увеличения производства конструкционных, нержавеющей и специальных сталей. Кроме металлургической и химической промышленности, ванадий и его соединения широко применяются в атомно-водородной энергетике и электротехнике [1, 2]. В природе ванадий часто встречается в составе железных, титаномагнетитовых и фосфоритовых руд. Для производства ванадия в основном перерабатываются только железо- и титансодержащие руды [3]. Из этих руд ванадий извлекают карбонизирующим обжигом или содовой плавкой, на долю которого приходится около 70 % всего производимого ванадия в мире [4].

В Казахстане одним из крупнейших месторождений ванадия (с запасами более 2 млн. т) является ванадиеносный бассейн Большого Каратау, в состав которого входят месторождения Баласаускандык, Джабаглы и Курумсак [5-6]. Исследованиями В.А. Соколова, Н.А. Козлова, Н.Г. Сергиева, а также Е.А. Анкиновичей, В.Н. Холодова и др. выявлено, что дисперсные руды в этих месторождениях характеризуются высоким содержанием ванадия (в 8-10 раз выше, чем в железных и титаномагнетитовых рудах, из которого извлекается в мировой практике), поэтому руды Большого Каратау являются наиболее «технологичными» [7-12].

Одним из перспективных способов является использование ванадийсодержащей руды в качестве флюса при производстве желтого фосфора электротермическим способом [13-14], а также при производстве высокоуглеродистого феррохрома в виде флюса [15], что было доказано промышленными испытаниями в Новоджамбулском фосфорном заводе (НДФЗ), «Тулачермет» (Россия). Результаты испытаний были использованы для составления технико-экономического обоснования (ТЭО), согласно заданию Госплана СССР [16]. Но, несмотря на эти опытно-промышленные испытания и ТЭО,

руды этих месторождений до сих пор не перерабатываются в промышленном масштабе пирометаллургическим способом.

Цель работы – проведение окислительного обжига ванадийсодержащей руды с солями щелочных металлов.

В связи с этим для выбора эффективной технологии переработки ванадийсодержащих руд нами был проведен обзор литературных данных по имеющимся способам их переработки, некоторые исследования отражены в работах [17-20].

В результате литературного анализа выявлено, что известные способы переработки ванадийсодержащих руд с применением кислотного выщелачивания без обжига или с обжигом при низких температурах (до 700 °С) не обеспечат полного извлечения ванадия из руд месторождений Баласаускандык и Курумсак, поскольку в них ванадий одновременно может находиться и в структуре сульфидов и гидроксидов в виде катиона, и в структуре слюд в виде изоморфной примеси, а также в новообразованных минералах и соединениях в форме анионных комплексов [21]. В данном случае окислительно-восстановительный обжиг в присутствии солей щелочных металлов может способствовать к переводу ванадия в растворимую форму, чтобы обеспечить более полное извлечение ванадия в последующих стадиях.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Исходный состав ванадийсодержащей руды исследовали химическим анализом в лаборатории Института геологических наук им. К.И. Сатпаева. Результат химического анализа проб исходной руды приведен в таблице 1.

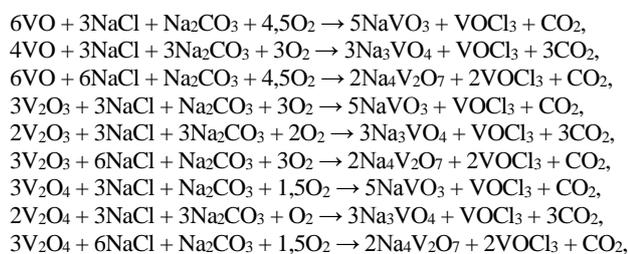
Для проведения обжига применяли шихту из порошкообразной ванадийсодержащей руды в присутствии: кальцинированной соды, соотношение 1:1 (вариант 1), хлорида натрия - 1:1 (вариант 2), смеси кальцинированной соды и хлорида натрия – 9:1 (вариант 3).

Таблица 1 – Химический анализ проб исходной руды, мас.%

Элементы	Fe	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Ba	О ₂ и проч.	Итого
руды из месторождения Баласаускандык														
Образец 1	2,37	0,52	6,85	35,24	0,38	0,37	3,10	0,57	0,33	0,64	0,24	–	49,39	100
Образец 2	1,61	0,43	7,28	33,70	0,19	0,34	3,76	0,46	0,48	0,71	0,17	–	50,87	100
Образец 3	1,76	0,54	6,48	33,63	0,42	0,53	3,23	0,30	0,48	0,77	0,17	–	51,69	100
руды из месторождения Курумсак														
Образец 1	7,07	–	6,93	37,74	1,14	3,49	2,32	0,15	–	0,97	–	8,15	32,04	100
Образец 2	4,47	–	5,56	37,53	0,42	2,73	2,31	0,55	–	1,04	–	7,61	37,78	100
Образец 3	4,28	–	6,90	34,42	0,61	3,53	2,60	0,36	–	1,37	–	7,93	38,00	100

Указанные соли натрия и их смесь брали с 20 % - ным избытком от стехиометрического.

В процессе обжига (700-850 °С) могут проходить следующие реакции (термодинамические расчеты были рассчитаны по программе HSC 7.1):



Обжиг проводили в муфельной печи (СНОЛ-1,4.2.5, 1,2/12,5 – И1) с продувкой газа

-окислителя (воздуха) через фильтрующий слой порошковой шихты.

Во время обжига важное значение имеет постоянное перемешивание шихты для предотвращения спекания. Расход воздуха составляло около 107 л (0,107 куб.м) на 100 г руды. Температура обжига составляла 700-850 °С, продолжительность продувки – 2 часа. Состав полученных огарков исследовали полуколичественным рентгенофазовым и спектральными анализами в лаборатории Института геологических наук им. К.И. Сатпаева на дифрактометре ДРОН-2; ДРОН-4. Результаты анализов огарков (дифрактограммы), полученных от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Баласаускандык приведены на рисунках 1-3.

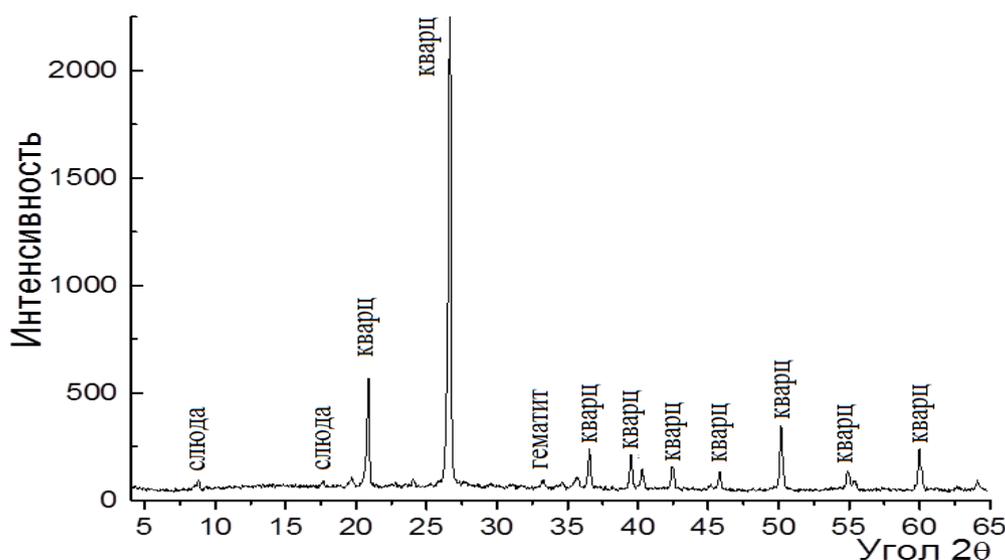


Рисунок 1 – Дифрактограмма образца 1 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Баласаускандык в присутствии Na₂CO₃)

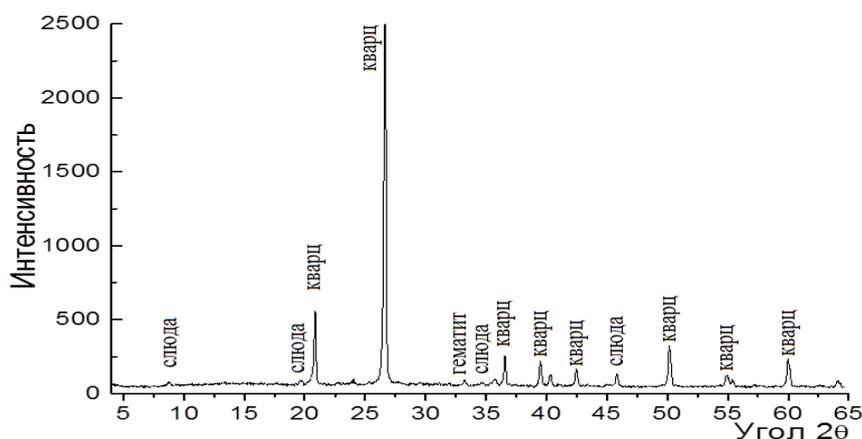


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца 2 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Баласаускандык в присутствии NaCl)

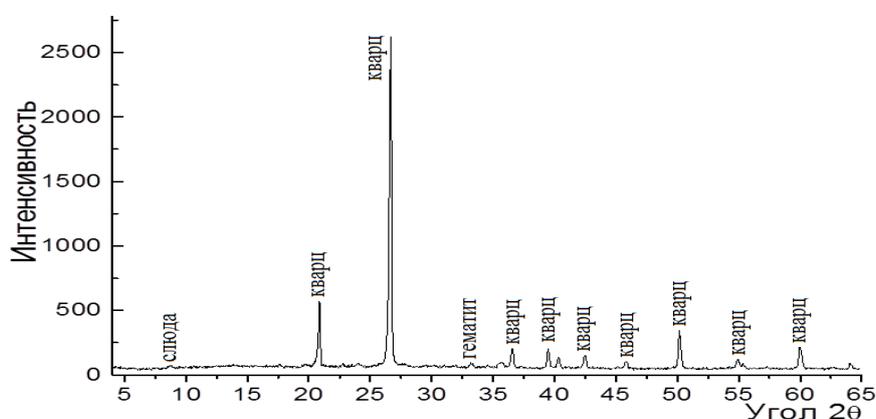


Рисунок 3 – Дифрактограмма образца 3 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Баласаускандык в присутствии Na₂CO₃ и NaCl)

В результатах полуколичественного рентгенофазового анализа руд месторождения Баласаускандык обнаружены кварц SiO₂ от 93,5 до 96 %, гематит Fe₂O₃ от 4 до 5,5 %, слюда (K,Ba)(Al,Fe,Mg,V)₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂, содержащая ванадий, от <1 до 1,5% (рисунки 1-3).

Результаты анализов огарков (дифрактограммы), полученных от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Курумсаг приведены на рисунках 4-6

По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа руд месторождения Курумсаг, выявлены кварц SiO₂ от 89 до 94 %, гематит Fe₂O₃ от 1 до 4 %, слюда (K,Ba)(Al,Fe,Mg,V)₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂, содержащая ванадий, от 1 до 2 % и барит BaSO₄ от 4 до 6 % (рисунки 4-6).

Из практики и литературных источников известно, что углерод начинает гореть при 650-700 °С и при 2 часовой выдержке при 850 °С углерод сгорает полностью [22].

Также, в интервале 450-850 °С во всех продуктах обжига появляется гематит, образование которого возможно в результате разложения сидерита (FeCO₃), магнетита (Fe₃O₄), лимонита (FeOOH·(Fe₂O₃·nH₂O)), или при окислении пирита (FeS₂), находящихся в качестве тонкодисперсной примеси в слюде или сланцах. В присутствии солей натрия в интервале температур 650-850 °С, также возможно разложение доломита и кальцита. При разложении карбоната натрия образуется оксид натрия, который вступает в реакцию с ванадием с образованием ванадата натрия.

Результаты полуколичественного рентгенофазового и спектрального анализов показали, что в продуктах обжига с добавкой смеси солей натрия при температуре 850 °С в полученных продуктах обнаружен ванадий. В результате обжига рассчитаны материальные балансы (таблицы 2, 3).

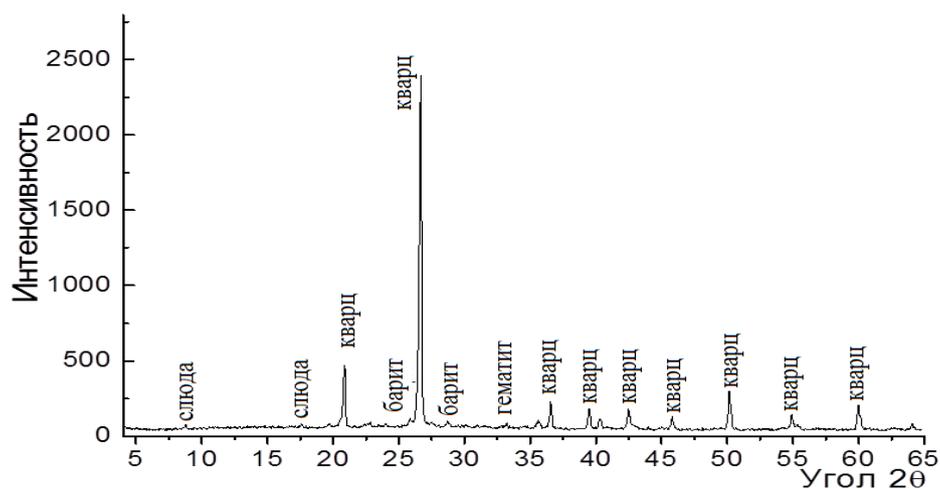


Рисунок 4 – Дифрактограмма образца 4 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Курумсаг в присутствии Na_2CO_3)

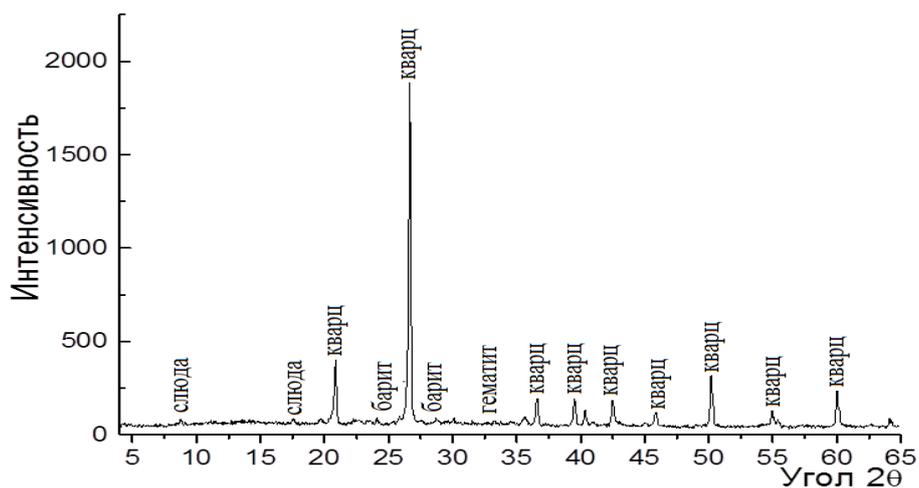


Рисунок 5 – Дифрактограмма образца 5 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Курумсаг в присутствии NaCl)

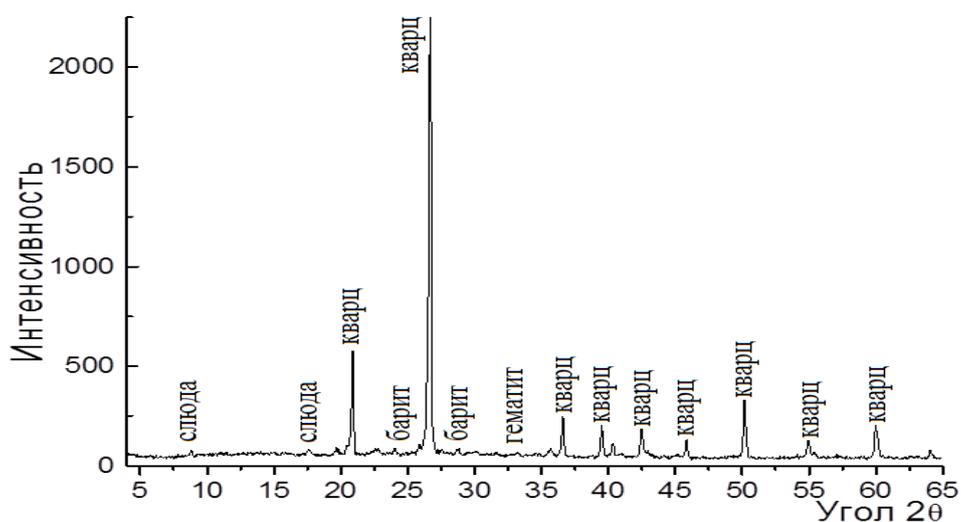


Рисунок 6 – Дифрактограмма образца 6 (огарок, полученный от обжига ванадийсодержащей руды месторождения Курумсаг в присутствии Na_2CO_3 и NaCl)

Таблица 2 – Материальный баланс обжига ванадийсодержащей руды месторождения Баласаускандык в присутствии смеси солей натрия

Поступило материалов	Всего, г	Получено продуктов	Всего, г
Руда м. Баласаускандык	100	Огарок	59,186
Na ₂ CO ₃	0,7	Газы	191,805
NaCl	0,07	Невязка	– 0,221
Воздух	150		
Итого	250,77	ИТОГО	250,991

Таблица 3 – Материальный баланс обжига ванадийсодержащей руды месторождения Курумсак в присутствии смеси солей натрия

Поступило материалов	Всего, г	Получено продуктов	Всего, г
Руда м. Курумсак	100	Огарок	55,434
Кальцинированная сода	0,7	Газы	195,392
NaCl	0,07	Невязка	– 0,056
Воздух	150		
ИТОГО	250,77	ИТОГО	250,826

Вывод. Таким образом, окислительный обжиг ванадийсодержащей руды в присутствии солей щелочных металлов таких, как кальцинированная сода (вариант 1), хлорид натрия (вариант 2), смесь кальцинированной соды и хлорида натрия (вариант 3) в интервале температур 700-850 °С, продолжительностью – 2 ч, способствует к переводу ванадия в растворимую форму. В результате выявлено, что после полного сгорания углерода, содержащего в руде, содержание кварца SiO₂ в огарках достигает от 89 до 96 %, также в них обнаружены гематит Fe₂O₃ от 1 до 5,5 %, слюда (K,Ba)(Al,Fe,Mg,V)₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ содержащая ванадий от <1 до 2. После полного сгорания углерода в ванадийсодержащей руде происходит окисление ванадия с II, III и IV до V ванадия, что позволит значительно повысить степень выщелачивания ванадия при гидromеталлургической переработке кеков. Во время обжига важное значение имеет постоянное перемешивание шихты для предотвращения спекания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Борисенко Л.Ф. Руды ванадия. – М.: Наука, 1983. – 152 с.

2 Левинтов Б.Л., Аносова М.О., Вавилова В.В., Бобир А.В., Намазбаев С.К. Создание и перспективы использования новых нанокристаллических материалов на основе Fe-P-Me сплавов // Комплексное использование минерального сырья. – Алматы, 2011, № 1. С. 62-68.

3 Вышегородский Д. Экономический анализ: Особенности развития Российского производства ванадия. Уральский рынок металлов. – 2004. – №11. – С. 114-120.

4 Лебедева М.И., Анкудинова И.А., Свириева М.А. Химия элементов (часть 3): учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 133 с.

5 Концепция создания и развития металлургического комплекса в Кызылординской области. – 2014, – С. 20–23.

6 Нурабаев Б.К., Надырбаев А.А., Тулегенов М.К., Тансыкбаева Ж.Б. Месторождения хрома, никеля, кобальта, ванадия Казахстана // Справочник. Второе издание. – Алматы, 2015. – С. 237-252.

7 Холодов В.Н. Ванадий, его геохимия, минералогия и генетические типы месторождений в осадочных породах. – М.: Наука, 1968. – 294 с.

8 Анкинович С.Г. Нижний палеозой ванадиеносного бассейна Северного Тянь-Шаня и западной окраины Центрального Казахстана. Алма-Ата. 1961. – 272 с.

9 Анкинович С.Г., Анкинович Е.А. Углеродисто-кремнисто-ванадиевый тип // В кн. Металлогения Казахстана. Алма-Ата: Изд. АН Каз. ССР. – 1978. – С. 101–131.

10 Анкинович Е.А., Зазубина И.С., Орлова О.С. Специализированные исследования в пределах Баласаускандык-Курумсакского рудного поля // Отчет КазПТИ. 1986. – 87 с.

11 Анкинович С.Г., Анкинович Е.А., Альжанов Т.М., Калинин С.К. Металлоносность углеродисто-кремнистой ванадиеносной формации Южного Казахстана // Сб. Металлогения и рудообразование. Алма-Ата: Наука. – 1979. – С. 132–141.

12 Анкинович Е.А., Анкинович С.Г., Зазубина И.С., Дьяк В.Н. Особенности распределения элементов в углеродисто-кремнистой ванадиеносной формации Северо-Западного Каратау // Сб. Вопросы металлогении, структурных особенностей и вещественного состава месторождений Казахстана. Алма-Ата. – 1985. – С. 27–45.

13 Опытнo-промышленные испытания по выплавке высокоуглеродистого феррохрома с использованием в качестве флюса ванадийсодержащих кварцитов // Комплексное использование минерального сырья. Алматы, – 1995, – № 3. – С. 25–28.

14 Кунаев А.М., Сухарников Ю.И., Алыбаев Ж.А. и др. Результаты переработки опытнo-промышленной партии ванадиевых кварцитов в сырьевой шихте Новоджамбулского фосфорного завода // Сб.: Развитие фосфорной промышленности в XII пятилетке. Чимкент. – 1986. – С. 63–64.

15 Опытнo-промышленные испытания по совместной переработке ванадийсодержащих кварцитов и фосфоритов Каратау в процессах производства агломерата и желтого фосфора на Новоджамбулском фосфорном заводе. Акт испытание Всесоюзного объединение «Союзфосфор». 19.12.1985 г.

16 Технико-экономическое обоснование о целесообразности использования ванадийсодержащих кварцитов в производстве желтого фосфора (выполнено во исполнение поручения Госплана СССР от 05.01.1984 г. №29-11). ЛенНИИгипрохим №93045 от 02.01.1987 г.

17 Пат. 2148669 RU. Способ переработки ванадийсодержащего сырья / Козицын А.А., Плеханов К.А., Мосягин С.А., Шевелева Л.Д., Лебедь А.Б., Ходыко И.И., ОАО «Уралэлектромедь»; опубл. 10.05.2000.

18 Пат. 2374345 RU. Способ переработки ванадийсодержащего сырья / Козлов В.А., Батракова Л.Х., Кузнецов А.Ю., Бриджен Н.Д., Сактаганов М.А., ТОО «Научно-производственное объединение «Ванадий-катализатор», ТОО «Фирма «Балауса»; опубл. 27.11.2009.

19 Пат. 2437946 RU. Способ переработки ванадийсодержащего сырья / Козлов В.А., Аймбетова И.О., Карпов А.А., Васин Е.А., Вдовин В.В. и др.; опубл. 27.12.2011.

20 Пат. 2266343 RU. Способ переработки конверторных ванадийсодержащих шлаков / Козлов В.А., Каменских А.А., Карпов А.А., Вдовин В.В., НПО «Ванадий-катализатор»; опубл. 20.12.2005.

21 Бекенова Г.К. Микро- и наноминералы дисперсных руд ванадиеносного бассейна Большого Каратау. Автореф. на соиск. д.г.-м.н. 2007. – 314 с.

22 Берёзкин В. И. Углерод: замкнутые наночастицы, макроструктуры, материалы. - СПб.: Издательство «АртЭго». 2013. – 450 с.

REFERENCES

1 Borisenko L.F. *Rudy vanadiya* (Vanadium ore). Moscow: Nauka. **1983**, 152. (in Russ).

2 Levintov B.L., Anosova M.O., Vavilova V.V., Bobir A.V., Namazbaev S.K. *Sozdanie i perspektivy ispol'zovaniya novykh nanokristallicheskih materialov na osnove Fe-P-Me splavov* (Creation and prospects of using new nanocrystalline materials based on Fe-P-Me alloys). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. Almaty, **2011**, 1. 62-68. (in Russ).

3 Vyshegorodskiy D. *Ekonomicheskij analiz: Osobennosti razvitiya Rossiyskogo proizvodstva vanadiya. Uralskiy rynek metallov* (Economic analysis: Peculiarities of the development of the Russian production of vanadium. The Urals Metal Market). **2004**, 11, 114-120. (in Russ).

4 Lebedeva M.I., Ankudimova I.A., Sviriyayeva M.A. *Khimiya elementov (chast 3): uchebnoye posobiye* (Chemistry of Elements (Part 3): A Tutorial). Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU». **2014**, 133. (in Russ).

5 *Kontseptsiya sozdaniya i razvitiya metallurgicheskogo kompleksa v Kyzylordinskoj oblasti* (The concept of creation and development of metallurgical complex in Kyzylorda region). **2014**, 20-23. (in Russ).

6 Nurabayev B.K., Nadyrbayev A.A., Tulegenov M.K., Tansykbayeva Zh.B. *Mestorozhdeniya khroma, nikelya, kobalta, vanadiya Kazakhstana. Spravochnik. Vtoroye izdaniye* (Deposits of chromium, nickel, cobalt, vanadium of Kazakhstan. Handbook. Second edition). Almaty, **2015**, 237-252. (in Russ).

7 Kholodov V.N. *Vanadiy, ego geokhimiya, mineralogiya i geneticheskiye tipy mestorozhdeniy v osadochnykh porodakh* (Vanadium, its geochemistry, mineralogy and genetic types of deposits in sedimentary rocks). Moscow: Nauka. **1968**, 294. (in Russ).

8 Ankinovich S.G. *Nizhniy paleozoy vanaდიеносного бассейна Северного Тянь-Шаня и западной окраины Центрального Казахстана* (The Lower Paleozoic of the Vanadienous Basin of the Northern Tien Shan and the Western Margin of Central Kazakhstan). Alma-Ata. **1961**, 272. (in Russ)

9 Ankinovich S.G., Ankinovich E.A. *Uglerodisto-kremnistо-vanadiyevyj tip. V kn. Metallogeniya Kazakhstana* (Carbon-silica-vanadium type. In the book. Metallogeny of Kazakhstan). Alma-Ata: Izd. AN Kaz. SSR. **1978**, 101-131. (in Russ)

10 Ankinovich E.A., Zazubina I.S., Orlova O.S. *Spetsializirovannyye issledovaniya v predelakh Balasauskandyk-Kurumsakskogo rudnogo polya* (Specialized studies within the Balasauskandyk-Kurumsak ore field). Otchet KazPTI. **1986**, 87. (in Russ)

11 Ankinovich S.G., Ankinovich E.A., Alzhanov T.M., Kalinin S.K. *Metallonosnost uglerodisto-kremnistoj vanaდიеносной формации Yuzhnogo Kazakhstana* (Metalliferousness of the carbonaceous-siliceous vanadic formation of Southern Kazakhstan). *Sb. Metallogeniya i rudoobrazovaniye* (Col. Metallogeny and

ore formation). Alma-Ata: Nauka. **1979**, 132-141. (in Russ).

12 Ankinovich E.A., Ankinovich S.G., Zazubina I.S., Diak V.N. *Osobennosti raspredeleniya elementov v uglerodisto-kremnistoj vanadiyenosnoj formatsii Severo-Zapadnogo Karatau* (Features of the distribution of elements in the carbonaceous-siliceous vanadienous formation of the North-Western Karatau). *Sb. Voprosy metallogenii. strukturnykh osobennostey i veshchestvennogo sostava mestorozhdenij Kazakhstana* (Col. Questions of metallogeny, structural features and material composition of deposits in Kazakhstan.). Alma-Ata. **1985**, 27-45. (in Russ)

13 *Opytno-promyshlennyye ispytaniya po vyplavke vysokouglerodistogo ferrokroma s ispol'zovaniyem v kachestve flyusa vanadiysoderzhashchikh kvartsitov* (Experimental-industrial tests on the smelting of high-carbon ferrochrome using vanadium-containing quartzites as a flux). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral raw materials*. Almaty, **1995**, 3, 25-28. (in Russ).

14 Kunayev A.M., Sukharnikov Yu.I., Alybayev Zh.A. i dr. *Rezultaty pererabotki opytno-promyshlennoj partii vanadiyevykh kvartsitov v syryevoy shikhte Novodzhambul'skogo fosfornogo zavoda* (Results of the processing of the pilot industrial lot of vanadium quartzites in the feedstock of the Novodzhambul phosphor plant). *Sb.: Razvitiye fosfornoj promyshlennosti v XII pyatiletke* (Col.: The development of the phosphorous industry in the 12th Five-Year Plan). Chimkent. **1986**. 63-64. (in Russ).

15 *Opytno-promyshlennyye ispytaniya po sovmestnoy pererabotke vanadiysoderzhashchikh kvartsitov i fosforitov Karatau v protsessakh proizvodstva aglomerata i zhel'togo fosfora na Novodzhambul'skogo fosfornom zavode. Akt ispytaniye Vsesoyuznogo obyedineniye «Soyuzfosfor»* (Experimental and industrial tests on the joint processing of vanadium-containing quartzites and phosphorites of Karatau in the processes of production of agglomerate and yellow phosphorus at the

Novodzhambul phosphor plant. The test of the All-Union Union "Unionforsor"). 19.12.1985. (in Russ).

16 *Tehniko-ehkonomicheskoe obosnovanie o tselesoobraznosti ispol'zovaniya vanadiysoderzhashchikh kvartsitov v proizvodstve zhel'togo fosfora* (Feasibility study on the advisability of using vanadium-containing quartzites in the production of yellow phosphorus (performed in fulfillment of the order of the State Planning Committee of the USSR of 05.01.1984 No. 29-11)). LenNIIgiprohim №93045 dt. 02.01.1987. (In Russ).

17 Pat. 2148669 RU. *Sposob pererabotki vanadiysoderzhashchego syr'ya* (Method of processing of vanadium-containing raw materials). Kozitsyn A.A., Plekhanov K.A., Mosyagin S.A., Sheveleva L.D., Lebed A.B., Khodyko I.I. Opubl. 10.05.2000. (in Russ).

18 Pat. 2374345 RU. *Sposob pererabotki vanadiysoderzhashchego syr'ya* (Method of processing of vanadium-containing raw materials). / Kozlov V.A., Batrakova L.Kh., Kuznetsov A.Yu., Bridzhen N.D., Saktaganov M.A. Opubl. 27.11.2009. (in Russ).

19 Pat. 2437946 RU. *Sposob pererabotki vanadiysoderzhashchego syr'ya* (Method of processing of vanadium-containing raw materials). Kozlov V.A., Aymbetova I.O., Karpov A.A., Vasin E.A., Vdovin V.V. Opubl. 27.12.2011. (in Russ).

20 Pat. 2266343 RU. *Sposob pererabotki konvertornykh vanadiysoderzhashchikh shlakov* (Method for processing of converter vanadium-containing slags). / Kozlov V.A., Kamenskikh A.A., Karpov A.A., Vdovin V.V. Opubl. 20.12.2005. (in Russ).

21 Bekenova G.K. *Mikro- i nanomineraly dispersnykh rud vanadiyenosnogo basseyna Bolshogo Karatau* (Micro- and nanominerals of dispersed ores of the vanadienous basin of Big Karatau). Avtoref. na soisk. d.g.-m.n. **2007**. 314. (in Russ).

22 Berozkin V.I. *Uglerod: zamknutyie nanochastitsy, makrostruktury, materialy* (Closed nanoparticles, macrostructures, materials). - SPb.: Izdatel'stvo «ArtEgo», **2013**. 450. (in Russ).

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақалада Баласауысқандық және Құрымсақ кен орындарындағы ванадийқұрамды кендердің пирометаллургиялық әдіспен сілтілік металл тұздарымен тотығуы зерттелді; ванадийдің ерітіндіге өту дәрежесіне әртүрлі факторлардың (температура, реагенттердің түрі және тұтынуы) әсері зерттелді, сондай-ақ бастапқы ванадийқұрамды кеннің химиялық құрамына талдауы, ванадийқұрамды кенді күйдіргеннен кейін алынған күйіндіге жасалған жартылай сандық рентгенфазалық және спектрлік талдаулары келтірілген. Күйдіру муфельді пеште (СНОЛ-1,4,2,5,1,2/12,5 – II) орындалды. Ванадийқұрамды кендерді күйдіру мен тотықтыру карбонатты (1 нұсқа), хлоридті (нұсқа 2) натрийдің және карбонатты натрий мен хлоридті натрийдің қоспасының (нұсқа 3) қатысуымен 700-850 °С температура, 2 сағат аралығында өткізілді. Нәтижесінде кендегі көміртектің толық күйінен кейін, күйіндінің құрамындағы SiO₂ кварц мөлшері 89-дан 96%-ға дейін, сондай-ақ гемитит Fe₂O₃ 1-ден 5,5%-ға дейін, слюда (K,Ba)(Al,Fe,Mg,V)2(AlSi₃O₁₀)(OH)₂, құрамында <1% -дан 2% дейін ванадийдің бар екені анықталды. Зерттеулер жоғары деңгейдегі аналитикалық әдістер арқылы дифрактометрлерінің көмегімен рентгенді дифракциясының талдаумен жүргізілді. Жартылай сандық рентгенфазалық пен спектрлік талдаулардың нәтижелері, 850 °С температурада натрий тұздарының қоспасы арқылы күйдірілген өнімде ванадийдің табылғанын көрсетті. Күйдіру нәтижесінде материалдық баланс есептелді. Ванадийқұрамды кендегі көмірдің толық жануынан кейін ванадий II, III

және IV-тен V валентті ванадийге дейін тотықтанады, бұл кектердің гидрометаллургиялық өңделуі, яғни іріктеп еріту кезінде ванадийдің мөлшерін едәуір арттырады.

Түйін сөздер: ванадийқұрамды кен, күйдіру, кальцийленген сода, натрий хлориді, жартылай сандық рентгенфазалық және спектрлік талдаулар.

ABSTRACT

The article contains the vanadium-containing ores oxidation of the Balasauskandyk and Kurumsak deposits in Kazakhstan using pyro-metallurgical methods upon availability of alkali metal salts; and the influence of various effects (temperature, the sort and reagents consumption) on the vanadium react degree to a soluble form has been studied. This like reducing-oxidizing roasting upon availability of alkali metal salts may contribute to the vanadium react to a soluble form that will provide for a more complete recovery of vanadium in subsequent stages. Chemical testing of original vanadium-containing ores, semi-quantitative X-ray phase and spectral cinders analysis obtained after vanadium-containing ore roasting are provided. Roasting and vanadium-containing ores oxidation were carried out by different options: 1 – upon availability of calcined soda, 2 - upon availability of sodium chloride, 3 - upon availability of calcined soda and sodium chloride mixture in 700-850 ° C temperature range for 2 hours. As a result, after the complete carbon combustion in the ore SiO₂ quartz content in the cinder reaches from 89 to 96% was found, also hematite Fe₂O₃ from 1 to 5.5%, specular stone (K,Ba)(Al,Fe,Mg,V)₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ containing vanadium from <1 to 2%. The results of semi-quantitative X-ray phase and spectral analysis has showed vanadium availability in the finish products when roasting products with the addition of a sodium salts mixture at 850 ° C temperature was found. The material balances are calculated because of roasting. After a carbon complete combustion in the vanadium-containing ore, vanadium is oxidized from II, III and IV to V vanadium, which will significantly increase the degree of vanadium leaching during hydrometallurgical cakes processing.

Key words: vanadium-containing ore, roasting, calcined soda, sodium chloride, semi-quantitative X-ray phase and spectral analysis.

Поступила 22. 05. 2018

УДК 669.13.017
МРНТИ 53.37.31
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.16>

**Комплексное использование
минерального сырья. № 3. 2018.**

Б. К. КЕНЖАЛИЕВ^{1,2}, С. А. КВЯТКОВСКИЙ^{1,2}, С. М. КОЖАХМЕТОВ¹,
Л. В. СОКОЛОВСКАЯ¹, А. С. СЕМЕНОВА¹*

*Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан, * e-mail: kvyatkovskiy55@mail.ru
2Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан*

ОБЕДНЕНИЕ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ БАЛХАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА

Received: 31 May 2018 / Peer reviewed: 23 July 2018 / Accepted: 01 August 2018

Резюме. Проведены исследования по определению закономерностей снижения потерь ценных металлов с отвальными шлаками медеплавильного производства в условиях Балхашского медеплавильного завода. Постоянное изменение сырьевой базы, введение в производство медных концентратов низкого качества для переработки на печах Ванюкова ПВ-1 и ПВ-2 Балхашского медеплавильного завода (БМЗ) сопровождается получением отвальных шлаков, содержащих повышенное количество меди, что требует дополнительных технологических операций по их обеднению. Проведение плавки шихты в оптимальных условиях может исключить организацию мероприятий по переработке отвальных шлаков. Пути совершенствования автогенных плавки медных концентратов на БМЗ следующие: оптимизация состава шихты по основным металлам и диоксиду кремния, температурный режим, поддержание теплового баланса с возможностью использования топлива, оптимизация работы электромиксера. Изучение зависимостей между содержанием меди в шихте и шлаках печей ПВ-1 и ПВ-2 БМЗ позволило установить, что количество отвальных шлаков возрастает в 1,5-2 раза при снижении содержания меди в шихте в 2 раза. Уменьшение содержания меди в шихте увеличивает потери меди со шлаком. Зависимости содержания меди в шлаке от содержания магнетита и цинка свидетельствуют о том, что возрастание содержания магнетита в шлаке от 8 до 11 % приводит к увеличению содержания меди в шлаке на 0,4-0,5 %, а повышение содержания цинка от 4 до 6 % – увеличению содержания меди на