

ТЕХНОЛОГИЯ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-4-41-48

УДК 546.161.541.127/.127.4

ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ВЬЕТНАМСКИХ ИЛЬМЕНИТОВЫХ РУД МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

FEATURES OF THE ENRICHMENT OF VIETNAM ILMENITE ORES BY THE MAGNETIC SEPARATION METHOD

Ле Шон Хай,
аспирант, e-mail: son.hut2006@gmail.com

Son H. Le, Postgraduate

Киеу Тхуан Бач,
студент, e-mail: bachthuan@tpu.ru

Tuan B. Kieu, Student

Карелин Владимир Александрович,
профессор, e-mail: vakarelin@tpu.ru

Vladimir A. Karelin, Professor

Жерин Иван Игнатьевич,
профессор, e-mail: gerinii@tpu.ru

Ivan I. Zherin, Professor

Смороков Андрей Аркадьевич,
ассистент, e-mail: aas19@tpu.ru

Andrey A. Smorokov, Assistant

Карелина Надежда Владимировна,
аспирант, e-mail: nvkarelina@yandex.ru

Nadezhda V. Karelina, Postgraduate

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russian Federation

Аннотация:

Проведены исследования возможности обогащения ильменитовых руд месторождения Ха Тинь (Вьетнам) методом электромагнитной сепарации. Полученные в результате обогащения ильменитовые концентраты могут быть использованы для дальнейшей переработки с получением пигментного диоксида титана или металлического титана в компактном виде или в виде порошка. Процессы обогащения ильменитовых руд месторождений Вьетнама изучены недостаточно, поэтому для их обогащения использован наиболее широко применяемый в промышленной практике метод электромагнитной сепарации, обеспечивающий требуемые результаты при обогащении руд сложного состава. Показано, что для получения ильменитовых концентратов с высокой концентрацией и степенью обогащения титана магнитную сепарацию необходимо проводить в 4-ре стадии при постепенном уменьшении силы тока с 11 до 6 А. На 1-ой и 2-ой стадиях для обеспечения полноты выделения ильменита из руды процесс проводят при 11 и 9 А. Затем на 3-ей и 4-ой стадиях для увеличения концентрации и степени обогащения ильменита в получаемом продукте силу тока постепенно уменьшают до 7 и 6 А. В результате получают ильменитовый концентрат с концентрацией диоксида титана не менее 50 % и степенью обогащения 49 %. Такой концентрат в дальнейшем можно использовать в процессе химической переработки для получения титана и его

различных соединений.

Ключевые слова: ильменитовые руды, обогащение, магнитная сепарация, магнитная и немагнитная фракции, степень обогащения, ильменитовый концентрат.

Abstract:

The study of the possibility of beneficiation of ilmenite ores of the Ha Ting deposit (Vietnam) by the method of electromagnetic separation has been carried out. Ilmenite concentrates obtained as a result of enrichment can be used for further processing to obtain pigment titanium dioxide or titanium metal in compact form or in powder form. The enrichment processes of the ilmenite ores of the Vietnamese deposits have not been sufficiently studied, therefore, for their enrichment, the method of electromagnetic separation, which is most widely used in industrial practice, was used, which provides the required results when enriching ores of complex composition. It is shown that in order to obtain ilmenite concentrates with a high concentration and degree of titanium enrichment, magnetic separation must be carried out in 4 stages with a gradual decrease in the current strength from 11 to 6 A. At the 1st and 2nd stages, to ensure the complete release of ilmenite from the ore, the process is carried out at 11 and 9 A. Then, at the 3rd and 4th stages, to increase the concentration and degree of enrichment of ilmenite in the resulting product, the current strength is gradually reduced to 7 and 6 A. As a result, an ilmenite concentrate is obtained with a titanium dioxide concentration of at least 50 % and a degree of enrichment of 49 %. This concentrate can be further used in the process of chemical processing to obtain titanium and its various compounds.

Keywords: ilmenite ores, enrichment, magnetic separation, magnetic and non-magnetic fractions, enrichment degree, ilmenite concentrate

Введение

Титан и его соединения обладают рядом уникальных свойств, таких как соотношение высокой прочности к массе, коррозионной стойкостью, тугоплавкостью, биосовместимостью и возможностью работы при низких температурах, поэтому они широко используются в аэрокосмической, навигационной, медицинской отраслях промышленности, а также применяются в виде катализаторов в химии. Потребление губчатого титана в мире в настоящее время оценивается в 150 тыс. т/год и, по прогнозам, будет увеличиваться ежегодно на 6 % вплоть до ~200 тыс. т/год.

Вьетнам – одна из стран с крупнейшими запасами титана в мире ~1,6 млн. т. В месторождениях представлены коренные и россыпные руды (с примесью алюминия – дэлюви (deluvi) титановые руды), а также титан-циркониевые песчаные руды. Запасы дэлюви (deluvi) титановых руд составляют более 4 млн. т по ильмениту. Запасы коренных титановых руд составляют ~4,8 млн. т в виде ильменита, однако они отличаются сложностью добычи и сложными условиями эксплуатации и последующей переработки. Содержание TiO_2 в ильмените составляет ~22 %. Один из ключевых процессов переработки титановых руд – процесс обогащения. От качества обогащения ильменитовых руд зависит выбор метода переработки, его эффективность и конкурентоспособность на мировом рынке.

При обогащении ильменитовых руд применяют комбинированные методы, включающие гравитацию, флотацию, магнитную и электрическую сепарацию и химические или гидрометаллургические процессы [1-4]. Основная сложность обогащения вьетнамских ильменитовых руд, например, месторождения Ха Тинг, расположенного на севере Вьетнама, – наличие в рудах ильменита и рутила [5-8].

Эти минералы необходимо сначала с максимальной степенью отделить от пустой породы, а затем отдельно получить ильменитовый и рутиловый концентраты [9-11]. Таким образом, изучение условий и выбор технологической схемы обогащения ильменитовых руд из Вьетнама определяет выбор способов и технологии их последующей переработки.

Объекты, условия и методы исследований

Исследования выполнены в Инжиниринговом центре и Отделении ядерного топливного цикла Инженерной ядерно-технологической школы Национального исследовательского Томского политехнического университета в 2020-2021 гг.

Таблица 1. Концентрация основных компонентов в ильменитовой руде месторождения Ха Тинь (Вьетнам)

№	Элемент	Содержание, %
1	Кремний (Si)	4,52
2	Титан (Ti)	20,66
3	Ванадий (V)	0,044
4	Железо (Fe)	15,62
5	Цирконий (Zr)	9,23
6	Ниобий (Nb)	0,11
7	Церий (Ce)	0,18
8	Гафний (Hf)	0,17

Объект исследований: ильменитовая руда месторождения Ха Тинь (Вьетнам), химический и гранулометрический составы которой представлены в табл. 1 и 2. Метод исследования – магнитная сепарация.

Цель работы: изучение возможности применения магнитной сепарации и флотации для обогащения ильменитовых руд месторождения Ха Тинь (Вьетнам), выбор условий их проведения для обеспечения максимальной степени обогащения титансодержащих концентратов и отделения от минералов

пустой породы с последующим разделением ильменитового и рутилового концентратов.

Настоящая работа обладает новизной и актуальностью, поскольку титановые руды с представленным соотношением компонентов и их концентрациями ранее не перерабатывались.

При проведении исследований использовали электромагнитный валковый сепаратор ЭВС-10/5 (рис. 1). Этот сепаратор предназначен для сухого разделения слабомагнитных руд и материалов на магнитные и немагнитные фракции.

Для определения концентрации компонентов в образующихся фракциях использовали энергодисперсионный спектрометр Thermo Scientific™ ARL™ QUANT'X (рис. 2). Он предназначен для измерения концентрации веществ методом дифракции рентгеновских лучей

Таблица 2. Гранулометрический состав частиц ильменитовой руды

№	Размер	Масса руды, г	Содержание, %	Концентрация, %		Распределение, %	
				TiO ₂	ZrO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
1	+0,5–1	91	4,54	0,046	0,010	0,44	0,62
2	+0,25–0,5	318	19,37	0,049	0,009	2,13	2,38
3	+0,125–0,25	1311	65,54	0,114	0,022	16,79	19,69
4	+0,074–0,125	61	3,06	6,34	0,865	43,47	36,15
5	+0,045–0,074	22	1,12	11,36	2,573	28,60	39,36
6	+0,02–0,045	11	0,54	1,444	0,133	1,74	0,97
7	+0,01–0,02	14	0,69	0,622	0,027	0,96	0,25
8	–0,01	103	5,16	0,507	0,008	5,87	0,56
	Исходная руда	2000	100	0,445	0,073	100	100

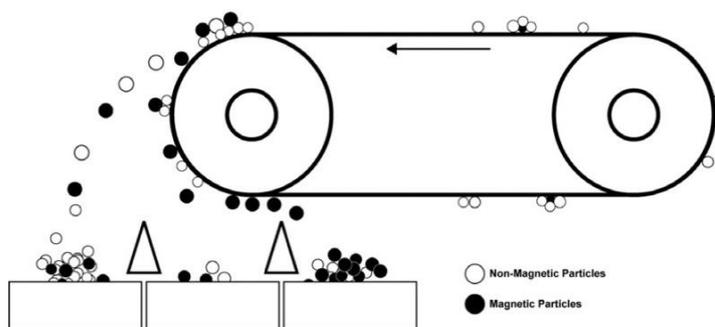


Рис. 1. Принцип действия электромагнитного сепаратора: а) схема; б) внешний вид
 Fig. 1. The operation principle of the electromagnetic separator: a) circuit; b) appearance

(EDXRF). Для проведения анализа EDXRF-методом

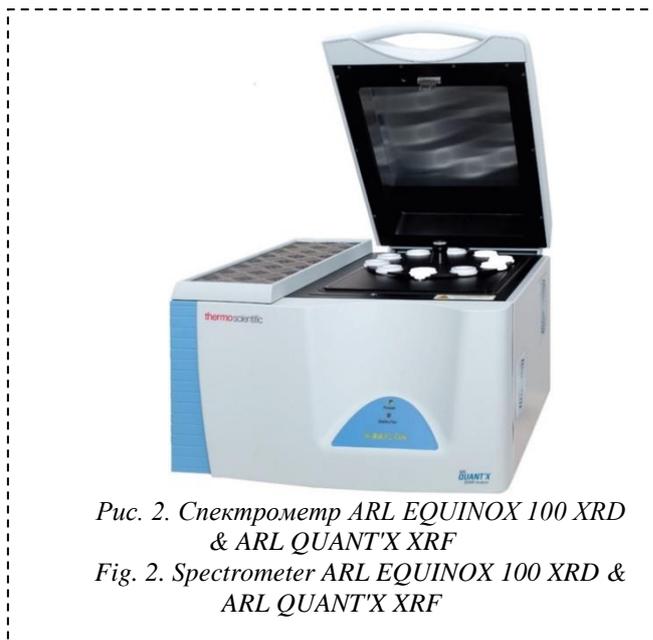


Рис. 2. Спектрометр ARL EQUINOX 100 XRD & ARL QUANT'X XRF
 Fig. 2. Spectrometer ARL EQUINOX 100 XRD & ARL QUANT'X XRF

используют излучение Cu-K α (1,54 Å), возбуждающее линию Fe-K α (1,94 Å) и индуцирующее флуоресценцию рентгеновских лучей, приводящую к возникновению шумовых паттернов XRD. Для устранения шумов используют излучение Co-K α (1,79 Å) или перед детектором устанавливают PVC-фильтр, поглощающий паттерны с низкой энергией.

В спектрометре для определения энергии входящего излучения используется высокочувствительный кремниевый дрейфовый детектор (SDD), следовательно, им можно измерять все элементы начиная с Na (Z = 11) до U (Z = 92). Он оснащен Rh или Ag лампой мощностью 50 Вт, которая может работать при напряжении до 50 кВ. Преобразование спектров в концентрации элементов проводили с

помощью универсального пакета программ UniQuant с использованием фундаментальных параметров (FP).

Экспериментальная часть

В процессе обогащения методом магнитной сепарации использовали навеску ильменитовой руды массой 100 г. В результате получали магнитный (+) и немагнитный (-) продукты [12]. Магнитная фракция обогащается ильменитом, а в немагнитной остается рутил и циркон с примесями [13]. Зависимость изменения количества магнитной и немагнитной фракций при различной силе тока I приведена на рис. 3.

С увеличением силы тока (I, А) возрастает масса магнитной фракции. Магнитная сепарация начинается при I = 5 А, а при I = 11 А достигается максимальная степень обогащения. При более высокой I эффективность процесса практически не изменяется [14].

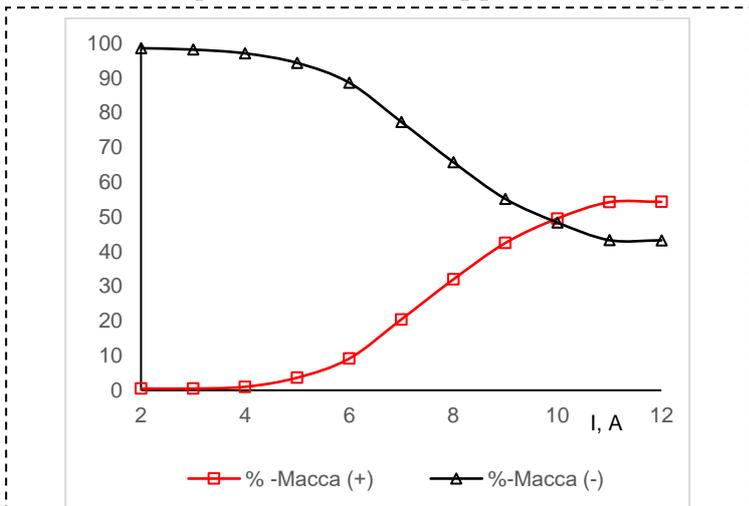


Рис. 3. Влияние I на эффективность магнитной сепарации: 1-масса (+); 2-масса (-)

Fig. 3. Influence of I on the efficiency of magnetic separation: 1-mass (+); 2-mass (-)

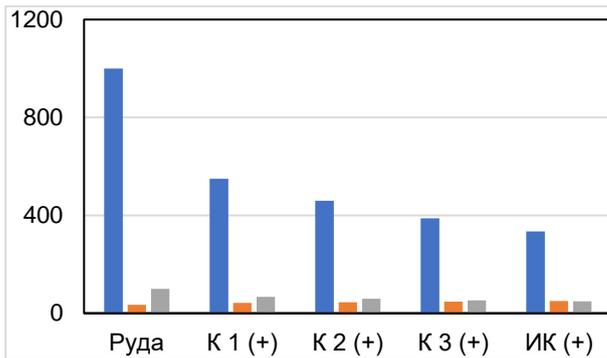
В исследованиях по изучению влияния количества стадий магнитной сепарации на качество получаемых продуктов показано, что наибольшая эффективность достигается при проведении процесса в 4-ре стадии:

1) при I = 11 А достигается максимальная степень обогащения ильменита;

2) при I = 9 А из ильменита удаляется слабо магнитная фракция и постепенно увеличивается концентрация титана;

3) при I = 7 А слабо магнитная фракция обогащается рутилом;

4) при I = 6 А степень обогащения ильменита становится максимальной.



Пробы	Руда	К 1 (+)	К 2 (+)	К 3 (+)	ИК (+)
Масса, г	1000	550	460	388	335
С TiO ₂ , %	34,43	42,40	44,72	47,02	50,18
η, %	100	67,73	59,74	52,98	48,82

К 1 (+), К 2 (+), К 3 (+), ИК (+) – концентраты 1, 2, 3 и ильменитовый концентрат из магнитной фракции; η – степень обогащения

Рис. 4. Масса, концентрация и степень обогащения титана в концентратах на различных стадиях обогащения
 Fig. 4. Weight, concentration and degree of enrichment of titanium in concentrates at various stages of enrichment

Масса, концентрация и степень обогащения титана в ильменитовых концентратах приведена на рис. 4.

Результаты и их обсуждение

Содержание целевых компонентов в концентратах и хвостах в процессе магнитной сепарации приведено в табл. 3 и 4.

В 4-х стадийном процессе концентрация титана в магнитной фракции возрастает с 20,66 (в руде) до 30,11 % (на 9,5 %), а η = 48,82 %. Концентрация TiO₂ приближается к 50,18 % (ГОСТ 25702.0-83), что соответствует ильменитовым концентратам, выпускаемым мировыми производителями.

При обогащении немагнитной фракции (хвосты 1) в получаемом

концентрате 4 содержится 14,82 % Ti, а η = 28,69 %. Для увеличения концентрации и η титана в немагнитной фракции ее направляют на переработку методом флотации [15].

Схема обогащения ильменитовой руды, приведенная на рис. 5, состоит из 4-х стадий обогащения магнитной фракции (концентраты 1, 2, 3 и 4) и 2-х стадий обогащения немагнитной фракции (хвосты 1 и 5). В магнитной фракции концентрируется ильменит, а в немагнитную переходит рутил. Сначала проводят магнитную сепарацию 1 исходной ильменитовой руды при I = 11 А. Получают магнитную (концентрат 1) и немагнитную (хвосты 1) фракции массой 550 г и 450 г. Концентрат 1 обогащают еще 3 раза. При этом получают концентраты 2, 3 и конечный ильменитовый концентрат.

Таблица 3. Содержание компонентов в концентратах в процессе магнитной сепарации

Table 3. Content of components in concentrates in the magnetic separation process

Проба	Руда	Концентраты				
		1 (+)	2 (+)	3 (+)	(+)	4 (-)
Масса, г	1000	550	460	388	335	400
С _{Ti} , %	20,66	25,44	26,83	28,21	30,11	14,82
С _{Fe} , %	15,62	24,67	26,01	27,69	28,88	4,08
Масса Ti, г	206,6	139,92	123,42	109,45	100,87	59,28
Масса Fe, г	156,16	135,69	119,65	107,44	96,75	16,32
Степень обогащения, %	100	67,73	59,74	52,98	48,82	28,69
С TiO ₂ , %	34,43	42,40	44,72	47,02	50,18	24,70

Таблица 4. Результаты анализа концентрации компонентов в хвостах после магнитной сепарации

Table 4. The results of the components concentration analysis in the tailings at the magnetic separation process

Проба	Хвосты 1	Хвосты 2	Хвосты 3	Хвосты 4	Хвосты 5
Масса, г	415	80	60	35	15
С _{Ti} , %	15,6	20	22,33	22,91	21,53
С _{Fe} , %	4,91	17,9	20,28	19,8	21,12
m _{Ti} , г	64,74	16,00	13,40	8,02	3,23
m _{Fe} , г	20,38	14,32	12,17	6,93	3,17
Степень обогащения, %	31,34	7,74	6,48	3,88	1,56
С _{TiO2} , %	26,00	33,33	37,22	38,18	35,88

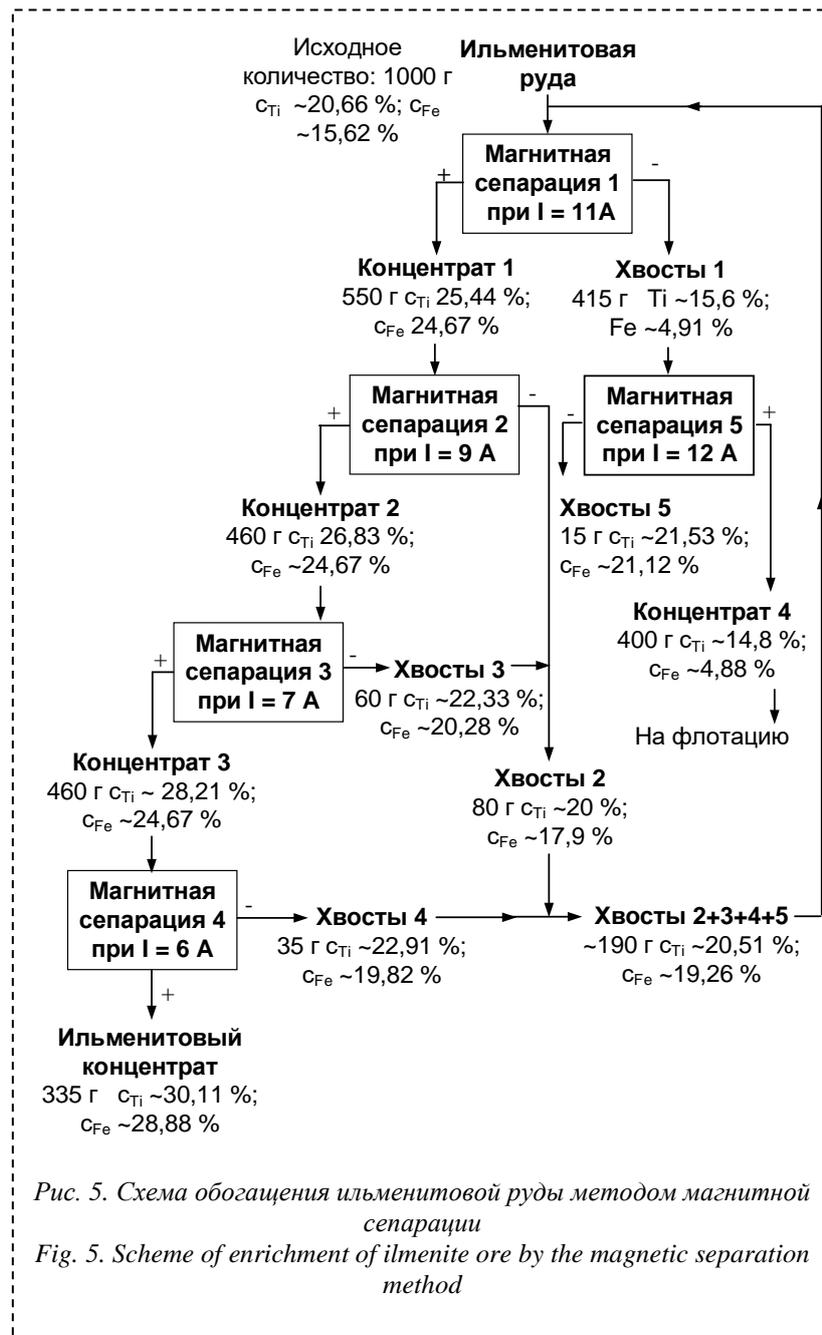


Рис. 5. Схема обогащения ильменитовой руды методом магнитной сепарации
 Fig. 5. Scheme of enrichment of ilmenite ore by the magnetic separation method

Из хвостов 1 методом магнитной сепарации получают концентрат 4 и хвосты 5. Хвосты 2, 3, 4 и 5 возвращают в процесс и повторно проводят магнитную сепарацию при $I = 11A$.

При этом обеспечивается требуемая концентрация титана в обогащенном продукте и высокая степень обогащения.

Выводы

Обогащение вьетнамских ильменитовых руд методом магнитной сепарации целесообразно осуществлять в 4-ре последовательных стадии, которые при постепенном уменьшении силы тока с 11 до 6 А. Процесс состоит из двух основных этапов:

- 1) для выделения максимального количества титана и ильменита магнитную сепарацию проводят при высокой силе тока $I = 11$ и $9A$;
- 2) для получения продуктов с максимальными концентрацией и степенью обогащения процесс проводят при низкой $I = 7$ и $6A$.

В результате из ильменитовой руды

получают ильменитовый концентрат, содержащий более 50 % TiO_2 со степенью обогащения титана $\sim 49\%$.

Немагнитные продукты (хвосты) с каждой стадии обогащения, объединяют и возвращают на 1-ую стадию процесса. Немагнитные продукты после 2-й, 3-й и 4-й стадий процесса, а также немагнитный продукт с 1-й стадии при $I = 11A$ затем обогащают методом флотации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhao, X., Meng, Q., Yuan, Z., Zhang, Y., Li, L. Effect of sodium silicate on the magnetic separation of ilmenite from titanite by magnetite selective coating // Powder Technology. – 2019. V. 344. P. 233-241. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.026> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591018310635> – [21.07.2021]
2. Ахмаджиди, А. С. Обогащение черного титаномагнетитового концентрата методом мокрой магнитной сепарации / А. С. Ахмаджиди, К. В. Гончаров, Т. В. Олюнина, Г. Б. Садыхов // Цветные

- металлы. – 2018. – № 9. – С. 19-24. – DOI 10.17580/tsm.2018.09.02. – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/journal/1755/article/30041/> – [21.07.2021]
3. Лютоев, В. П. Исследование возможности определения минерального состава титаномагнетитовых руд по данным спектроскопии / В. П. Лютоев, А. Б. Макеев, А. Ю. Лысюк // Обогащение руд. – 2017. – № 5(371). – С. 28-36. – DOI 10.17580/or.2017.05.05. – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/journal/1667/article/28624/?language=en> – [21.07.2021]
4. Chen, G., Chen, J., Li, J., Guo, S., Srinivasa-kannan, C., Peng, J. Optimization of combined microwave pretreatment–magnetic separation parameters of ilmenite using response surface methodology // Powder technology. – 2012. V. 232. P. 58-63. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.08.009> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591012005645> – [21.07.2021]
5. Махоткина, Е. С. Химическая переработка отходов обогащения титаномагнетитовых руд Кусинского месторождения / Е. С. Махоткина, М. В. Шубина // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2018. – Т. 9. – № 2. – С. 71-73.
6. Бочарникова, Т. Д. Состав минералов (апатит, магнетит, ильменит и др.) как отражение процессов формирования рудных тел и расщепленности в Кусинской габбровой интрузии (Южный Урал) / Т. Д. Бочарникова, В. В. Холоднов, Е. С. Шагалов // Литосфера. – 2019. – Т. 19. – № 4. – С. 533-557. – DOI 10.24930/1681-9004-2019-19-4-533-557. – Режим доступа: https://www.lithosphere.ru/jour/article/view/1192?locale=ru_RU – [21.07.2021]
7. Nanthakumar, B., Pickles, C. A., Kelebek, S. Microwave pretreatment of a double refractory gold ore // Minerals Engineering. – 2007. V. 20. Issue 11. P. 1109-1119. – <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.04.003> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268750700115X> – [21.07.2021]
8. Малышевские чтения: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 28 марта 2019 года. – Старый Оскол: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – 369 с. – ISBN 978-5-6042224-4-7. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_39389004_95605142.pdf – [21.07.2021]
9. Кантемиров, В. Д. Оценка влияния минерального состава титано-магнетитовой руды Гусевогорского месторождения на результаты магнитного обогащения / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов // Маркшейдерия и недропользование. – 2017. – № 3(89). – С. 49-52. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_29222373_59226663.pdf – [21.07.2021]
10. Пелевин, А. Е. Применение сепараторов с повышенной индукцией магнитного поля при обогащении титаномагнетитовой руды / А. Е. Пелевин, Н. А. Сытых // Обогащение руд. – 2020. – № 2. – С. 15-20. – DOI 10.17580/or.2020.02.03. – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/journal/1912/article/32453/> – [21.07.2021]
11. Дегодя, Е. Ю. Разработка технологии получения кондиционного ильменитового концентрата при обогащении титаномагнетитовых руд / Е. Ю. Дегодя, О. П. Шавакулева // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2019. – Т. 75. – № 5. – С. 572-577. – DOI 10.32339/0135-5910-2019-5-. – Режим доступа: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/viewFile/1094/1061> – [21.07.2021]
12. Сафронов, П. А. Об автоматизации измельчения руд с применением вычислительных методов определения циркулирующей нагрузки и других технологических параметров / П. А. Сафронов, В. Т. Цораев // Обогащение руд. – 2018. – № 4(376). – С. 44-50. – DOI 10.17580/or.2018.04.09. – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/journal/1748/article/29945/> – [21.07.2021]
13. Киеу, Т. Б., Ле, Ш. Х., Карелин, В. А. Применение процесса магнитной сепарации для обогащения вьетнамских ильменитовых руд // Химия и химической технологии в XXI веке: матер. XXII Межд. научно-практической конференции студентов и молодых ученых им. Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера. (г. Томск, 17-20 мая 2021 г.). Т. 2 / ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – С. 117.
14. Ле, Ш. Х., Карелина, Н. В. Особенности обогащения ильменитовых концентратов из Вьетнама // Химия и химической технологии в XXI веке материалы XXI Межд. научно-практической конференции студентов и молодых ученых им. Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, 21-24 сент. 2020 г., г. Томск / НИ ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 457-458.
15. Ле, Ш. Х., Карелина, Н. В. Ильменитовая руда во Вьетнаме и особенности обогащения ильменитовых концентратов из Вьетнама // Науч. инициатива иностранных студентов и аспирантов Российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г. / НИ ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 125-130.

REFERENCES

1. Zhao, X., Meng, Q., Yuan, Z., Zhang, Y., Li, L. Effect of sodium silicate on the magnetic separation of ilmenite from titanite by magnetite selective coating // Powder Technology. – 2019. V. 344. P. 233-241. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.026> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591018310635> – [21.07.2021]
2. Atmadzhidi, A. S. Obogashhenie chernovogo titanomagnetitovogo koncentrata metodom mokroj magnitnoj separacii / A. S. Atmadzhidi, K. V. Goncharov, T. V. Oljunina, G. B. Sadyhov // Cvetnye metall. – 2018. – № 9. – С. 19-24. – DOI 10.17580/tsm.2018.09.02. – Access mode: <http://www.rudmet.ru/journal/1755/article/30041/> – [21.07.2021] (rus)
3. Ljutoev, V. P. Issledovanie vozmozhnosti opredelenija mineral'nogo sostava titano-magnetitovyh rud po

- dannym spektroskopii / V. P. Ljutoev, A. B. Makeev, A. Ju. Ly-sjuk // Obogashhenie rud. – 2017. – № 5(371). – S. 28-36. – DOI 10.17580/or.2017.05.05. – Access mode: <http://www.rudmet.ru/journal/1667/article/28624/?language=en> – [21.07.2021] (rus)
4. Chen, G., Chen, J., Li, J., Guo, S., Srinivasa-kannan, C., Peng, J. Optimization of combined microwave pretreatment–magnetic separation parameters of ilmenite using response surface methodology // Powder technology. – 2012. V. 232. P. 58-63. – <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.08.009> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591012005645> – [21.07.2021]
5. Mahotkina, E. S. Himicheskaja pererabotka othodov obogashhenija titanomagnetitovyh rud Kusinskogo mestorozhdenija / E. S. Mahotkina, M. V. Shubina // Aktual'nye pro-blemy sovremennoj nauki, tehnik i obrazovanija. – 2018. – T. 9. – № 2. – S. 71-73. (rus)
6. Bocharnikova, T. D. Sostav mineralov (apatit, magnetit, il'menit i dr.) kak otrazhenie processov formirovanija rudnyh tel i rassloennosti v Kusinskoj gabbrovoj intruzii (Juzhnyj Ural) / T. D. Bocharnikova, V. V. Holodnov, E. S. Shagalov // Lito-sfera. – 2019. – T. 19. – № 4. – S. 533-557. – DOI 10.24930/1681-9004-2019-19-4-533-557. – Access mode: https://www.lithosphere.ru/jour/article/view/1192?locale=ru_RU – [21.07.2021] (rus)
7. Nanthakumar, B., Pickles, C. A., Kelebek, S. Microwave pretreatment of a double refractory gold ore // Minerals Engineering. – 2007. V. 20. Issue 11. P. 1109-1119. – <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.04.003> – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268750700115X> – [21.07.2021]
8. Malyshevskie chtenija: Materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferen-cii, Staryj Oskol, 28 marta 2019 goda. – Staryj Oskol: Belgorodskij gosudarstven-nyj tehnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova, 2019. – 369 s. – ISBN 978-5-6042224-4-7. – Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_39389004_95605142.pdf – [21.07.2021] (rus)
9. Kantemirov, V. D. Ocenka vlijanija mineral'nogo sostava titano-magnetitovoj rudy Gusevogorskogo mestorozhdenija na rezul'taty magnitnogo obogashhenija / V. D. Kantemirov, R. S. Titov // Markshejderija i nedropol'zovanie. – 2017. – № 3(89). – S. 49-52. – Access mode: https://elibrary.ru/download/elibrary_29222373_59226663.pdf – [21.07.2021] (rus)
10. Pelevin, A. E. Primenenie separatorov s povyshennoj indukciej magnitnogo polja pri obogashhenii titanomagnetitovoj rudy / A. E. Pelevin, N. A. Sytyh // Obogashhenie rud. – 2020. – № 2. – S. 15-20. – DOI 10.17580/or.2020.02.03. – Access mode: <http://www.rudmet.ru/journal/1912/article/32453/> – [21.07.2021] (rus)
11. Degodja, E. Ju. Razrabotka tehnologii poluchenija kondicionnogo il'menitovogo koncentrata pri obogashhenii titanomagnetitovyh rud / E. Ju. Degodja, O. P. Shavakuleva // Chernaja metallurgija. B'ulleten' nauchno-tehnicheskoy i jekonomicheskoy infor-macii. – 2019. – T. 75. – № 5. – S. 572-577. – DOI 10.32339/0135-5910-2019-5-. – Access mode: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/viewFile/1094/1061> – [21.07.2021] (rus)
12. Safronov, P. A. Ob avtomatizacii izmel'chenija rud s primeneniem vychisli-tel'nyh metodov opredelenija cirkulirujushhej nagruzki i drugih tehnologicheskikh parametrov / P. A. Safronov, V. T. Coraev // Obogashhenie rud. – 2018. – № 4(376). – S. 44-50. – DOI 10.17580/or.2018.04.09. – Access mode: <http://www.rudmet.ru/journal/1748/article/29945/> – [21.07.2021] (rus)
13. Киеу, Т. Б., Ле, Ш. Н., Карелин, В. А. Primenenie processa magnitnoj separacii dlja obogashhenija v'etnamskih il'menitovyh rud // Himija i himicheskoy tehnologii v XXI veke: mater. XXII Mezhd. nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh im. L.P. Kuljova i N.M. Kizhnera. (Tomsk, 17-20 maja 2021 g.). T. 2 / TPU. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2021. – S. 117. (rus)
14. Ле, Ш. Н., Карелина, Н. В. Osobennosti obogashhenija il'menitovyh koncentratov iz V'etnama // Himija i himicheskoy tehnologii v XXI veke materialy XXI Mezhd. nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh im. L.P. Kuljova i N.M. Kizhnera, 21-24 sent. 2020 g., g. Tomsk / NI TPU. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2020. – S. 457-458. (rus)
15. Ле, Ш. Н., Карелина, Н. В. Il'menitovaja ruda vo V'etname i osobennosti oboga-shhenija il'menitovyh koncentratov iz V'etnama // Nauch. iniciativa inostrannyh studentov i aspirantov Rossijskih vuzov sbornik dokladov X Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Tomsk, 22-24 aprelja 2020 g. / NI TPU. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2020. – S. 125-130. (rus)

Библиографическое описание статьи

Ле Ш.Х., Киеу Т.Б., Карелин В.А., Жерин И.И., Смороков А.А., Карелина Н.В. Особенности обогащения вьетнамских ильменитовых руд методом магнитной сепарации // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 4 (146). – С. 41-48.

Reference to article

Le S.H., Kieu T.B., Karelin V.A., Zherin I.I., Smorokov A.A., Karelina N.V. Features of the enrichment of vietnam ilmenite ores by the magnetic separation method. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.4 (146), pp. 41-48.