

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ ПРИ ВИБРОУДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Е.Ю. Светкина, Национальный горный университет, Украина

Полученные результаты показывают, что виброударная активация приводит к улучшению качества получаемых концентратов, которое улучшается не за счет уменьшения извлечения, а только за счет улучшения вскрытия минералов. Показано, что при дополнительной активации тяжелой фракции извлечение минералов в одноименные концентраты увеличивается. Это происходит за счет перераспределения минералов в различных концентратах после вскрытия сростков.

Одним из видов комплексного сырья, используемого для горно-химических комбинатов по производству глинозема с получением ряда дополнительных продуктов, являются нефелиновые сиениты.

Основное назначение руды – получение глинозема и попутно таких продуктов, как цемент, метасиликат натрия, метасиликат кальция, белая сажа, поташ, и др. В процентном отношении получаемые продукты распределяются примерно следующим образом: глинозем – 11 %, шламы на цемент – 61%, химические продукты – 28%. Продукты, которые предусмотрено получать параллельно с глиноземом, представляют ценность и их число довольно велико. Однако, среди них нет таких продуктов, как редкие земли, титан или его соли, и других, которые содержатся в нефелиновых сиенитах.

В последние годы возрос интерес к обогащению нефелиновых сиенитов с целью выделения пирохлора [1], а также при его обогащении применяют различные методы [2].

В природном массиве нефелиновые сиениты представляют светло-серую массу с ярко выраженными вкраплениями темноцветных минералов (гранат, магнетит, сфен). Крупность вкраплений от 5 – 3 до 0,1 мм и ниже. Химический состав темноцветных минералов и их относительно небольшое количество (6 – 7%) в общей рудной массе говорят о том, что они не являются основными компонентами, необходимыми для получения глинозема или параллельно извлекаемых продуктов. Их предварительное выделение, очевидно, позволит несколько повысить содержание алюминия в поступающем на глиноземное производство сырье. Выделение всех темноцветных минералов скажется благоприятно на последующих операциях химической переработки руды.

В работе [3] были подробно изучены химический и минералогический состав руды, а также содержание суммы редких земель в выделенных для этой цели мономинеральных фракциях.

Целью данной работы является более полное использование полезных компонентов, за счет применения виброударной активации.

Нами была проделана работа по предварительной виброударной активации минералов с целью выявления минералов-акцессоров и характера распределения в них редких земель. Изучена возможность извлечения в виде черновых концентратов редкоземельных элементов, а также титана и железа, содержащиеся в нефелиновых сиенитах, перед химической переработкой всего исходного сырья.

На первом этапе использования виброударной активации, мы подробно изучили химический и минералогический состав руды, а также содержание суммы редких земель в активированном образце. Целью этого этапа было выделение в виде черновых концентратов минералов – носителей редких земель. В работе [4] рассмотрены кинетические закономерности процесса измельчения текстосиликатов.

Для этого минералы измельчались в непрерывном режиме работы мельницы. Изучение

влияния степени измельчения исходной руды на полноту вскрытия отдельных минералов показало, что удовлетворительное вскрытие минералов наступает после дробления всей руды до – 1 мм. Таким образом, активацию проводили в непрерывном режиме для избежания переизмельчения.

В таблице 1 приведен характерный минералогический состав руды.

Таблица 1

Минералогический состав руды

Минерал	Содержание %	Удельный вес, г/см ³	Состав
Полевой шпат	56,00	2,55 – 2,75	Na[AlSi ₃ O ₈], K[AlSi ₃ O ₈] Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]
Альбит	29,00	2,60—2,69	Na[AlSi ₃ O ₈]
Нефелин	5,20	2,60	Na[AlSiO ₄]
Гранат	8,80	3,30—4,30	Ca ₃ (AlFe) ₂ [SiO ₃]
Сфен	0,30	3,29—3,56	CaTi[SiO ₄]O
Амфибол (роговая обманка)	0,10	3,10-3,30	Ca ₂ Na(Mg,Fe) ₄ (Al ₂ Fe) [(Si,Al) ₄ O ₁₁] ₂ [OH] ₂
Апатит	0,02	3,20	Ca ₃ (PO ₄) ₂
Флюорит	0,02	3,10-3,25	CaF ₂
Циркон	0,06	4,60	ZrSiO ₄
Бадделеит	Единичные зерна	5,00—6,02	ZrO ₂
Магнетит	0,50	5,00	Fe ₃ O ₄
Итого:	100,00		

Исходя из магнитных свойств минералов и их удельных весов, можно предположить, что при гравитационных и магнитных методах обогащения темноцветные минералы могут быть выделены в одноименные концентраты.

В таблице 2 приведен средний химический состав компонентов, составляющих нефелиновые сиениты.

Таблица 2

Химический состав нефелиновых сиенитов

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
Содержание, %	57,62	20,53	2,88	0,93	0,66	0,24	0,18
Компоненты	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	п.п.п.	Сумма
Содержание, %	2,46	1,97	5,77	5,04	0,05	0,67	100,00

Анализируя химический и минералогический состав руды можно сказать, что выделение одноименных концентратов различных минералов путем флотации невозможно, поскольку химический состав основных минералов и их флотационные свойства весьма близки, что мешает их селективному разделению.

Экспериментальные данные показывают, что в периодическом режиме происходит переизмельчение, т.е. выход класса – 0,074 мм составляет 40,31%, что отрицательно сказывается

на дальнейших результатах. Таким образом, был выбран непрерывный режим виброударной активации.

В исследованиях по изучению возможности выделения минералов-носителей редких земель в виде черновых концентратов опыты проводились с рудой, дробленной до -1 мм; исследовалось также поведение минералов при обогащении более узких классов (-3 + 1; -1 + 0,5; -0,5 + 0,35; -0,35 + 0,074 мм). Класс - 0,074 мм предварительно удалялся и направлялся в основной процесс получения глинозема и других химических продуктов.

В таблице 3 приводятся суммарные данные фракционного анализа руды, дробленной до -1 мм. Фракционный анализ проводился в тяжелой жидкости по отдельным классам аналогично исследованиям в работе [3].

Таблица 3

Выход фракции различного удельного веса для класса -1+0,074 мм

Выход фракции, %	Удельный вес фракции, г/см ³						Класс -1+0,074 мм	Класс -0,074 мм	Руда
	2,63	2,72	2,78	2,88	2,96	2,96			
Частный	78,90	2,62	1,11	0,73	0,62	6,42	-	-	-
Суммарный	-	81,52	82,63	83,36	83,98	90,40	90,40	9,60	100,00

Руда хорошо делится в тяжелой жидкости с удельным весом жидкости 2,63 г/см³ и 2,96 г/см³. Разделение происходит легко и четко. Как известно, повышение удельного веса жидкости не вносит большого изменения в распределение минералов по фракциям, лишь выход только легкой фракции увеличивается на 5,08%, за счет всплывания сростков. При разделении в тяжелой жидкости с удельным весом 2,96 г/см³ происходит четкое расслоение руды на темную и светлую фракции.

Таким образом, содержание редких земель в коллективных концентратах (тяжелых фракциях), получаемых после обогащения руды, дробленной до -1 мм, в тяжелой жидкости удельного веса 2,96 г/см³ превышает 0,42 – 0,45%.

Не представляет особой сложности получение коллективного концентрата, составленного из темноцветных минералов, как было показано выше. Для этой цели можно использовать различные гравитационные методы и аппараты обогащения, включая обогащение на винтовых сепараторах, концентрационных столах, отсадочных машинах и, наконец, обогащение в тяжелых жидкостях. Дальнейшее разделение минералов на отдельные концентраты требует применения магнитных методов обогащения.

Выделение магнетитового концентрата производится сравнительно легко, также легко удается отделить гранато-амфиболовый концентрат от сфена с получением сфенового концентрата. Несколько труднее осуществляется селекция гранато-амфиболового концентрата, так как магнитные свойства граната и амфибола не так резко различаются и одноименные концентраты загрязняются. Состав редкоземельных элементов, содержащихся в амфиболе и гранате, дает основание объединить их в один концентрат (меланитовый), из которого затем будут выделяться редкие земли. В меланитовом концентрате преобладают элементы иттриевой, а в сфеновом – цериевой группы. Таким образом, из нефелиновых сиенитов при их обогащении по комбинированной схеме можно отнести к тяжелой фракции все минералы – носители редких элементов с последующим выделением их в одноименные концентраты.

Разделение темноцветных минералов проводили с учетом их магнитных свойств. Первоначально выделялся магнетит. Следующая операция по получению гранато-амфиболового (меланитового) концентрата осуществляется на электромагнитном сепараторе при

напряженности магнитного поля 4200 – 7000 э. Оставшийся продукт является сфеновым концентратом. Для получения более качественных черновых концентратов необходимы дополнительные перечистные и контрольные операции.

Проведены исследования по разделению руды в тяжелой жидкости удельного веса 2,96 г/см³ с последующим магнитным обогащением тяжелой фракции.

Технология обогащения руды, включающая операции виброударной активации, разделения в тяжелой жидкости с удельным весом 2,96 г/см³, магнитного и электромагнитного обогащения, показана на рис. 1.

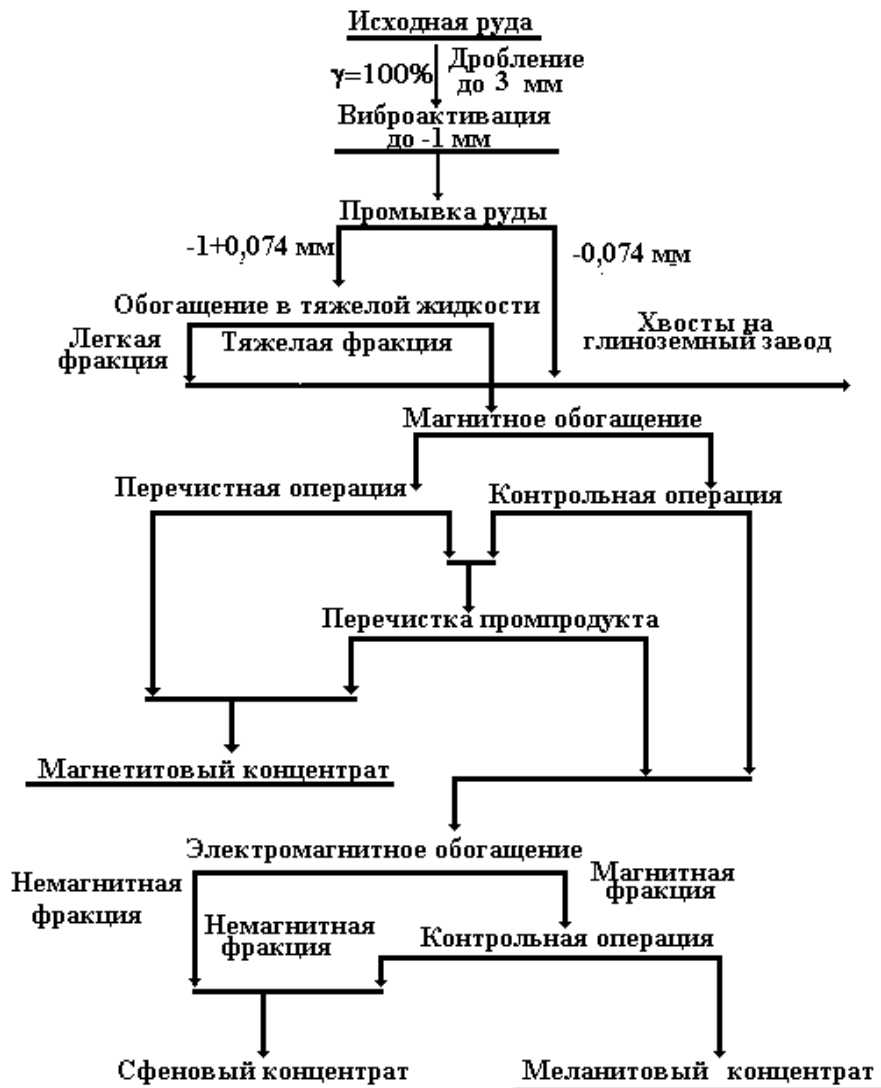


Рис. 1. Схема комплексного обогащения нефелиновых сиенитов (предварительная виброактивация)

При этом были выделены магнетитовый, меланитовый и сфеновый концентраты. Магнетитовый концентрат выделялся с помощью постоянного магнита, а меланитовый – на электромагнитном сепараторе. Обогащение производили при напряженности магнитного поля 10000 э. Однако, полученный меланитовый концентрат был несколько загрязнен сфеном, поэтому для полного разделения проводили еще дополнительную операцию при напряженности 8000 э.

Из-за трудности определения суммы редких земель и из-за возможности возникновения ошибок при определении очень малых концентраций суммы редких земель в продуктах обогащения устанавливалось содержание железа и окиси титана и по нему проводился баланс металлов.

Результаты обогащения приводятся в таблице 4.

Таблица 4

Распределение минералов по фракциям и содержание в них TiO_2 и Fe

Продукт	Выход, %		Содержание, %		Извлечение от руды	
	От операции	От руды	TiO_2	Fe	Fe	Fe
Магнитное обогащение						
Магнетитовый концентрат	23,50	1,46	2,08	31,34	6,17	11,80
Меланитовый концентрат	63,00	3,41	2,78	19,35	22,10	19,50
Сфеновый концентрат	13,50	0,83	18,50	4,56	31,23	1,00
Тяжелая фракция	100,00	6,20	4,72	20,20	59,50	32,30
Легкая фракция		85,70	0,175	2,72	30,50	60,00
Класс — 0,074 мм		8,10	0,60	3,65	10,00	7,70
Исходная руда		100,00	0,49	3,90	100,00	100,00
Электромагнитное обогащение						
Магнетитовый концентрат	7,70	0,47	2,82	50,95	2,70	6,15
Меланитовый концентрат	41,30	2,56	2,25	15,96	11,70	10,20
Сфеновый концентрат	14,00	0,87	12,90	4,56	22,90	1,00
Класс — 0,074 мм	37,00	2,30	4,60	15,50	21,70	9,15
Тяжелая фракция	100,00	6,20	4,66	16,60	59,0	26,50

Была проведена аналогичная работа по разделению исходной руды в тяжелой жидкости с дальнейшим магнитным обогащением тяжелой фракции; при этом разделение производилось при удельном весе тяжелой жидкости $2,63 \text{ г/см}^3$.

Результаты этих исследований приведены в таблице 5, а технология обогащения показана на рис. 1.

Таблица 5

Распределение минералов по фракциям и содержание в них TiO_2 и Fe при разделении в тяжелой жидкости с плотностью $2,63 \text{ г/см}^3$

Продукт	Выход, %		Содержание, %		Извлечение от руды	
	от операции	от руды	TiO_2	Fe	TiO_2	Fe
Магнетитовый концентрат	27,20	3,10	1,63	26,22	9,20	19,70
Меланитовый концентрат	56,00	6,40	2,25	14,14	26,20	22,00
Сфеновый концентрат	16,80	1,90	8,50	3,64	29,40	1,70

Тяжелая фракция	100,00	11,40	3,12	15,50	64,80	43,40
Легкая фракция	—	80,40	0,175	2,48	26,50	48,50
Класс—0,074 мм	—	8,20	0,65	4,10	9,70	8,10
Исходная руда	—	100,00	0,55	4,11	100,00	100,00

Как видно из результатов, приведенных в таблицах 4,5, значительно повысилось качество магнетитового концентрата, в котором содержание железа увеличилось с 31,34 до 50,95%. Улучшилось качество и меланитового концентрата, однако ухудшилось качество сфенового концентрата, в котором содержание TiO_2 понизилось с 18,50 до 12,90%. Это закономерно, так как все вскрытые немагнитные зерна легких минералов перешли в сфеновый концентрат. Очистка сфенового концентрата от этих сростков не представляет трудности. В дальнейших исследованиях такая операция нами проводилась с помощью виброударной активации: разделение с тяжелой жидкости при малых колебаниях. После разделения сфенового концентрата в тяжелой жидкости с удельным весом $2,96 \text{ г/см}^3$ содержание TiO_2 в нем достигает 20,2%.

Результаты обогащения приведены в таблице 6, а технология показана на рис. 2.

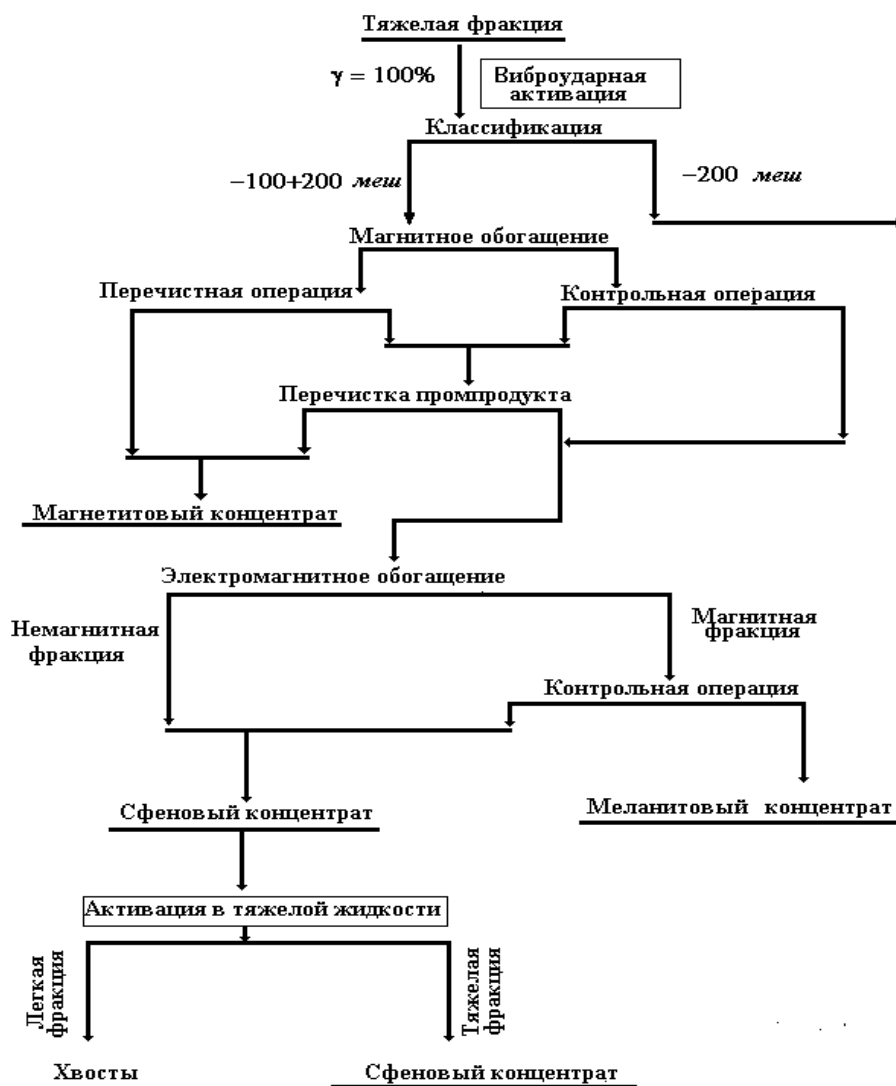


Рис. 2. Обогащение тяжелой фракции после ее дополнительной виброударной активации

Полученные результаты показывают, что качество концентрата может быть улучшено за счет дополнительной активации всей тяжелой фракции. Для этого тяжелую фракцию, получаемую при разделении исходной руды в тяжелой жидкости удельного веса 2,96 г/см³ или 2,63 г/см³, активировали в вертикальной вибрационной мельнице в непрерывном режиме до крупности 100% минус 100 меш и только после этого проводили магнитное обогащение. Класс – 0,074 мм выделялся предварительно и на магнитное обогащение не поступал.

Таблица 6

Распределение минералов по фракциям и содержание в них **TiO₂** и **Fe** после активации тяжелой фракции до 100 меш

Продукт	Выход, %		Содержание, %		Извлеченные от руды	
	от операции	от руды	TiO ₂	Fe	TiO ₂	Fe
Магнетитовый концентрат	6,90	0,77	2,90	51,52	4,07	9,85
Мелинитовый концентрат	29,40	3,34	2,03	15,96	12,33	13,00
Сфеновый концентрат	5,70	0,66	20,20	4,56	24,26	0,73
Хвосты перемешки сфенового концентрата	21,50	2,47	0,275	1,36	4,24	0,82
Класс — 0,074 мм	36,60	4,16	3,15	11,40	23,90	11,50
Тяжелая фракция	—	11,40	3,15	12,90	6,80	35,70

Сравнивая результаты обогащения руды в тяжелой жидкости с удельным весом 2,96 и 2,63 г/см³ (табл. 4 – 6), можно сказать, что в конечных результатах обогащения наблюдается известная разница, заключающаяся в основном в извлечении минералов в одноименные концентраты, а также в качестве самих концентратов. При обогащении в тяжелой жидкости с удельным весом 2,63 г/см³ выход тяжелой фракции увеличивается почти вдвое, но это происходит в основном за счет легких минералов, находящихся в сростках с тяжелыми. При этом наблюдается увеличение извлечения TiO₂ и Fe в тяжелую фракцию соответственно на 5,30 и 11,10%. Увеличение извлечения произошло от дополнительного выделения тяжелых минералов со сростками. В этом случае качество получаемого черного концентрата (тяжелой фракции) несколько ухудшилось из-за его разубоживания легкими минералами. Однако при последующей виброударной активации до минус 100 меш и дальнейшем магнитном и гравитационном обогащении эта схема предпочтительнее, качество получаемых концентратов и извлечение в них полезных компонентов значительно выше.

На основании результатов исследований можно сделать выводы, что при предварительной виброударной активации и дальнейшем обогащении руды в тетрабромэтаноле можно выделить тяжелую фракцию, включающую основные минералы – носители редких земель (сфен и меланит), а также магнетит. В зависимости от удельного веса среды разделения выход тяжелой фракции различен. При удельном весе среды 2,96 г/см³ он составляет 6,20%, а при удельном весе 2,63 г/см³ – 11,40%. Выход тяжелой фракции во втором случае увеличился главным образом за счет выделения легких минералов, находящихся в сростках с тяжелыми минералами. Выбор удельного веса среды разделения должен диктоваться получаемыми технологическими, а также экономическими соображениями.

При обогащении тяжелой фракции без ее дополнительной виброударной активации получаемые магнетитовые, меланитовые и сфеновые концентраты загрязнены сростками. Для улучшения качества концентратов и увеличения извлечения тяжелой фракции перед дальнейшим обогащением необходимо активировать в непрерывном виброударном режиме. При этом происходит значительное вскрытие сростков, и минералы разделяются более селективно.

Влияние виброактивации на результаты обогащения показывают следующие результаты: при разделении руды в тяжелой жидкости удельного веса $2,96 \text{ г/см}^3$ и дальнейшем обогащении тяжелой фракции содержание железа в магнетитовом концентрате составляет 31,34%, а TiO_2 в сфеновом концентрате – 18,50%.

При дополнительной виброактивации тяжелой фракции содержание железа в магнетитовом концентрате достигает 50,95% , а TiO_2 в сфеновом концентрате – свыше 20%. В случае обогащения в среде с удельным весом $2,63 \text{ г/см}^3$ при дальнейшей обогащении тяжелой фракции без виброактивации содержание железа в магнетитовом концентрате составляет 26,22%, TiO_2 в сфеновом – 8,50%; после активации в МВВ тяжелой фракции соответственно – 51,52 и 20,20%.

Необходимо отметить, что при дополнительной активации тяжелой фракции извлечение минералов в одноименные концентраты увеличивается. Это происходит за счет перераспределения минералов в различных концентратах после вскрытия сростков. Так, например, после доизмельчения тяжелой фракции извлечение TiO_2 в сфеновом концентрате увеличивается, а в магнетитовом и меланитовом концентратах снижается.

Таким образом, виброактивация тяжелой фракции перед ее дальнейшим обогащением является необходимой, операцией, обеспечивающей улучшение качества концентратов и повышение извлечения полезных компонентов.

Список литературы

1. Мостыка Ю.С. Совершенствование рудоподготовки при обогащении нефелиновых сиенитов для повышения извлечения пирохлора / Ю.С. Мостыка, В.Ю. Шутов, К.Л. Шпилевой, Л.В. Шпилевой //ISSN 2079 – 0821. – Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 57 (1030). – С.85 – 89.
2. Еранская Т.Я. Обогащение коалина кавитационным воздействием / Т.Я. Еранская, В.С. Римкевич // «Инновации в науке»: материалы XVII международной заочной научн. - практ. конф., Россия, г. Новосибирск, – 25 февраля, 2013.
3. Макуров Л.З. Технология и эффективность обогащения руд редких металлов в центробежном поле в водно-жидкостной среде / Л.З. Макуров// – Сб. “Металлургия стали”. – М: Metallurgizdat, 1964. - Вып. X. – С. 89-97.
4. Светкина Е.Ю. Получение новых композиционных материалов на основе природных материалов при виброударном нагружении в вертикальной вибрационной мельнице / Е.Ю. Светкина // Збагачення корисних копалин: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: НГА України. – 2001. – Вип. 12(53). – С. 97-104.