

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.046:338

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-4-9](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-4-9)

Харченко А.С., Сибатуллин С.К., Бигеев В.А., Паймушкин П.Г., Лаговская Е.В., Багомедова У.М.

ДЕЙСТВИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ИЗ АССОЦИАЦИЙ МИНЕРАЛОВ СПЛОШНЫХ РУД ТАЛНАХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ИХ СОДЕРЖАНИЕ В ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Медно-никелевые руды Талнахского месторождения совместно содержат Cu, Ni, Fe, S, ряд других элементов и вмещающую породу. Селективное выделение концентратов с различными рудными ассоциациями особенно важно при расширении использования вкрапленных руд.

Ключевые слова: никель, медь, железо, сера, штейн, файнштейн, рудная ассоциация, концентрат, шлак

Введение

Селективное извлечение элементов из комплексных руд относится к важным направлениям развития экономики России [1-4]. Медно-никелевые руды Талнахского месторождения совместно содержат Cu, Ni, Fe, S, ряд других элементов и вмещающую породу [5, 6]. Индивидуальность области их применения обуславливает необходимость селективного извлечения [7]. Это повышает рентабельность процесса переработки руд как за счёт комплексности, так и за счёт использования некоторых материалов в осуществлении технологии производства медной и никелевой продукции [8-10]. Проводится ряд исследований в этом направлении.

Выявлены минералого-геохимические особенности Талнахского интрузива [11, 12]. Показаны добыча и обогащение руд [10], изменение в широких пределах содержания элементов в выплавляемых штейнах, обусловленных содержанием их в концентратах [13]. Возрастание содержания целевого компонента в медном и никелевом штейнах с обеспечением процесса теплом при оптимальном температурном режиме достигается предварительным обжигом концентратов, окислением сульфидной серы и железа кислородом, переводя их в газовую фазу и шлак и превращая их последующим конвертированием в фальштейны [13-17].

Изложены основные теоретические положения пиromеталлургических и гидрометаллургических процессов, реализуемых при производстве цветных металлов. Приведены основные зависимости и расчетные формулы, позволяющие проводить анализ термодинамической вероятности протекания процессов, а также определять их кинетические характеристики [7, 8]. Рассмотрены различные подходы к выбору критериев оценки при разработке тех или иных конструкций головных агрегатов в ретроспективе и в настоящее время.

мас. %:	Ni	Cu	Co	S _{общ}
богатая	1,99	2,99	0,095	22,2
вкрапленная	0,38	0,909	0,0213	4,88
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru
богатая	0,926	5,38	0,259	0,086
вкрапленная	0,42	1,53	0,034	0,009

Приведены примеры использования нового, современного инструмента – SWOT-анализа для выбора технологии плавки сульфидного медного-никелевого сырья с учетом постоянно действующих и изменчивых критериев [9]. В качестве одного из возможных способов восполнения ресурсной базы рассмотрено вовлечение в эксплуатацию техногенных отходов и приведены примеры рециклинга отвальных продуктов металлургического и обогатительного переделов, уже используемые в Заполярном филиале ГМК «Норильский никель» [14]. Выполнено численное моделирование аэродинамических характеристик печи взвешенной плавки с использованием CFD-методов и проведены модельные расчеты двух вариантов конструкции элемента распылителя шихты – распылительного кольца, а также четырех режимов работы горелок [15]. Проанализирована переработка низкоавтогенного сырья, приводящая к существенному изменению теплового режима плавки во взвешенном состоянии и в барботируемом слое [16]. На основе многолетней практики установлено кондиционное содержание серы в смеси концентратов, поступающих на плавку в пределах абс. 25-30%, в зависимости от состава и свойств шихты, используемой при производстве штейна [16-18]. Это послужило основанием для продолжения исследований расчётной оценкой действия селективного извлечения компонентов из ассоциаций минералов (АМ) сплошных руд на их содержание в продукции.

Условия

Талнахское месторождение руд имеет компоненты химического состава, измеряемые в массовых процентах и в г/т [19].

Пример составляющих руды рудника «Октябрьский»:

SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe							
18,1	2,46	3,31	5,79	35,3							
31,1	17,6	10,5	9,15	12,4							
Ir	Os	Au	Ar	Pb	Zn	As					
0,025	0,02	0,212	5,08	16,2	127	<50					
0,036		0,163	3,11								

© Харченко А.С., Сибатуллин С.К., Бигеев В.А., Паймушкин П.Г., Лаговская Е.В., Багомедова У.М., 2026

Рассмотрели четыре вида ассоциаций минералов сплошных руд из выявленных в национальном исследовательском Томском государственном университете (НИ ТГУ) под руководством Зыряновой Л.А. [6; 12]:

а) сплошная халькопиритовая: халькопирит = 60-65%, пентландит = 15-20%, магнетит = 15-20%;

б) сплошная халькопирит-пентландитовая: халькопирит = 45-50%, пентландит = 20-25%, кубанит = 10-15%, пирротин = 10-15%, магнетит = 5-10%;

в) сплошная кубанит-халькопиритовая: кубанит = 40-45%, халькопирит = 35-40%, пентландит = 5-10%, магнетит = 5%;

г) сплошная пирротиновая: пирротин = 55-60%, халькопирит = 15-20%, магнетит = 15-20%, пентландит = 5-10%.

Их среднее содержание и теоретическая кристаллохимическая формула следующие:

а) сплошная халькопиритовая (X): халькопирит $\text{CuFeS}_2=62,5\%$, пентландит $(\text{FeNi})_9\text{S}_8=17,5\%$, магнетит $\text{FeFe}_2\text{O}_4=17,5\%$;

б) сплошная халькопирит-пентландитовая (XP): халькопирит $\text{CuFeS}_2=47,5\%$, пентландит $(\text{FeNi})_9\text{S}_8=22,5\%$, кубанит $\text{CuFe}_2\text{S}_3=12,5\%$, пирротин $\text{FeS}=12,5\%$, магнетит $\text{FeFe}_2\text{O}_4=7,5\%$;

в) сплошная кубанит-халькопиритовая (KX): халькопирит $\text{CuFeS}_2=37,5\%$, пентландит $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8=7,5\%$, кубанит $\text{CuFe}_2\text{S}_3=42,5\%$, магнетит $\text{FeFe}_2\text{O}_4=5\%$;

г) сплошная пирротиновая (П): халькопирит $\text{CuFeS}_2=17,5\%$, пентландит $(\text{FeNi})_9\text{S}_8=7,5\%$, пирротин $\text{FeS}=57,5\%$, магнетит $\text{FeFe}_2\text{O}_4=5\%$.

Результаты

Расчётное содержание Fe, Ni, Cu и S в рудах, концентратах и после полного извлечения при содержании рассмотренных ассоциаций минералов (AM) в них 50, 60, 70, 80, 90 и 100% представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание Fe, Ni, Cu и S в продукции, характеризующей различными условиями

Вид элемента и ассоциации минералов	Содержание ассоциации минералов в среде вмещающей породы, %					
	50	60	70	80	90	100
Fe:	X	19,29	23,15	27,00	30,86	34,72
	XP	20,91	25,09	29,28	33,46	37,64
	KX	17,76	21,32	24,87	28,42	31,97
	П	24,24	29,09	33,94	38,78	43,63
Ni:	X	3,60	4,32	5,04	5,76	6,48
	XP	4,63	5,55	6,48	7,40	8,33
	KX	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78
	П	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78
Cu:	X	10,81	12,98	15,14	17,30	19,47
	XP	9,68	11,62	13,55	15,49	17,42
	KX	11,46	13,75	16,04	18,33	20,63
	П	3,03	3,63	4,24	4,84	5,45
S:	X	12,63	15,16	17,69	20,21	22,74
	XP	12,72	15,27	17,81	20,36	23,90
	KX	14,80	17,76	20,72	23,68	26,63
	П	17,74	21,29	24,83	28,38	31,93

Наиболее высокое содержание никеля в продукции обеспечивает халькопирит-пентландитовая ассоциация. Удаление 1% вмещающей породы из руды этого вида в процессе обогащения повышает содержание никеля на 0,92%. Высокая степень обогащения одновременно придаёт автогенность процессу производства штейна в результате роста содержаний серы и железа, окисляющихся при выплавке штейна с выделением тепла, уменьшения затрат тепла на нагрев вмещающей породы.

Селективное извлечение общего железа позволяет осуществить малотоннажную выплавку чугуна и стали для производства расходных материалов и деталей: шаров мельниц обогатительных фабрик, восстановителей (включая чугун) для ликвидации тугоплавкого промежуточного слоя, образующегося в печах барботажного типа [20], зубьев экскаваторов и др.

Наиболее высокому содержанию меди соответствует кубанит-халькопиритовая ассоциация. Удаление 1% вмещающей породы из руды этого вида в процессе обогащения повышает содержание меди на 2,29%. Этой же ассоциации принадлежит максимум содержания серы, что положительно для автогенности процесса. Дополнительно в этом участвует железо в сульфидном состоянии.

Максимальным количествам поступающих железа и серы соответствует пирротиновая ассоциация. Эти элементы участвуют в обеспечении автогенности процесса. Железо, кроме этого, позволяет создавать экономичные металлургические и машиностроительные малые предприятия в заполярном филиале ГМК «Норильский никель» с использованием отходов различного производства, накопленного металлолома, в том числе конверсионного, характеризующиеся быстрой окупаемостью, ориентированной на местные условия, гибкостью в производстве разнообразной малотоннажной продукции с использованием передовых технологий. Такие предприятия снижают ресурсозависимость за счёт использования местного сырья, отходов и лома, одновременно обеспечивая экологический эффект. Одним из вариантов продвижения в этом направлении может являться дооснащение обогатительной фабрики магнитными и флотационными сепараторами, позволяющими извлекать в отдельный поток магнетитовое железо из исходной руды и общее железо из хвостов.

Пример составляющих компонентов в фактическом концентрате основной никелевой флотации [19]:

мас. %:	Ni	Cu	Co	S _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe
	3,99	0,64	0,17	26,81	9,73	2,40	2,20	2,99	43,0
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ar	
	2,44	2,01	0,531	0,159	0,05	0,03	0,289	6,38	

Пример составляющих компонентов в хвостах основной никелевой флотации [18]:

мас. %:	Ni	Cu	Co	S _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe
	1,01	0,27	0,04	25,09	13,68	3,26	3,30	4,31	41,9
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ar	
	0,53	2,06	0,387	0,111	0,037	0,017	0,092	1,73	

Таблица 3

Содержание Ni и Cu в условно промежуточной продукции

Вид элемента и ассоциации минералов	Содержание ассоциации минералов в среде вмещающей породы, %					
	50	60	70	80	90	100
Ni: X ХП КХ П	5,29	7,00	9,11	11,77	15,24	20,03
	6,97	9,31	12,24	16,02	21,04	28,27
	2,29	3,04	3,96	5,16	6,72	8,92
	2,65	3,72	5,23	7,52	11,36	19,19
Cu: X ХП КХ П	15,88	21,04	27,37	35,36	45,77	60,19
	14,59	19,48	25,61	33,54	44,14	59,16
	16,99	22,57	29,48	38,27	49,83	65,70
	5,22	7,31	10,28	14,74	22,31	37,77

Полное удаление межассоциационной вмещающей породы даёт продукцию следующего состава в зависимости от вида исходного материала (ВК-внутриассоциационные компоненты), мас. %:

	Ni	Cu	ВК
Халькопиритовая	20,03	60,19	19,78
Халькопирит-пентландитовая	28,27	59,16	12,57
Кубанит-халькопиритовая	8,92	65,70	25,38
Пирротиновая	19,19	37,77	43,04

Включение в шихту печей оборотных металлов увеличивает их содержание в штейнах и файнштейнах. Использование концентратов, содержащих другие ассоциации минералов, меняет содержание меди и никеля.

Селективное извлечение компонентов ВК в отдельные разновидности продукции методами рафинирования даёт следующие концентрации никеля и меди, мас. %:

	Ni	Cu	Соотношение Cu/Ni
Халькопиритовая	24,97	75,03	3,01
Халькопирит-пентландитовая	32,33	67,67	2,09
Кубанит-халькопиритовая	11,96	88,04	7,36
Пирротиновая	33,69	66,31	1,97

Разделение никеля и меди даёт соответствующую товарную продукцию.

Пример химического состава фактического никелевого штейна, произведенного в печи взвешенной плавки [19]:

мас. %:	Ni	Cu	Co	S _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe
	33,2	14,3	0,753	29,2	<0,5	<0,02	<0,02	<0,05	21,4
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ar	
	27,7	125	2,85	0,892	0,413	0,143	3,37	67,1	

Пример химического состава фактического медно-никелевого файнштейна после конвертирования штейна взвешенной плавки [18]:

мас. %:	Ni	Cu	Co	S _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe
	50,3	25,8	1,13	23,7	<0,05	<0,01	<0,043	<0,02	3,29
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ar	
	36,0	187	4,4	1,3	0,53	0,18	4,7	95,0	

Таблица 2

Содержание Fe, Ni, Cu в продукции, характеризующейся различными условиями

Вид элемента и ассоциации минералов	Содержание ассоциации минералов в среде вмещающей породы, %					
	50	60	70	80	90	100
Fe: X ХП КХ П	22,08	27,29	32,80	38,68	44,94	51,92
	23,97	29,61	35,62	42,01	48,82	56,10
	20,85	25,92	31,37	37,24	43,57	50,46
	29,47	36,96	45,16	54,15	64,10	75,14
Ni: X ХП КХ П	4,12	5,09	6,12	7,22	8,39	9,63
	5,30	6,55	7,88	9,29	10,77	12,41
	1,81	2,25	2,72	3,24	3,79	4,42
	1,87	2,35	2,87	3,45	4,08	4,77
Cu: X ХП КХ П	12,37	15,30	18,39	21,68	25,20	28,94
	11,09	13,71	16,49	19,45	22,59	25,97
	13,45	16,72	20,23	24,02	28,12	32,55
	3,68	4,61	5,64	6,76	8,01	9,39

Извлекаемая сера участвует в обеспечении процесса теплом с достижением необходимых температур за счет окисления её кислородом дутья. Селективное выделение серы затем в отдельный продукт позволяет её использовать в шихте переработки вкрапленных руд, характеризующихся пониженной автогенностью.

Наиболее высокое содержание никеля в бесфлюсовой штейно-шлаковой композиции обеспечивает халькопирит-пентландитовая ассоциация, а меди – кубанит-халькопиритовая.

Удаление железа из продукции, соответствующих табл. 2, даёт тепло в печных агрегатах за счёт окисления его кислородом дутья и одновременно рост концентрации Ni и Cu согласно табл. 3 совместно с оставшейся частью вмещающей породы.

Видно, что основным источником никеля является халькопирит-пентландитовая ассоциация, меди – кубанит-халькопиритовая. При этом применительно к меди халькопиритовая, халькопирит-пентландитовая и кубанит-халькопиритовая обеспечивают близость к взаимозаменяемости (величине АМ=100% соответствует Cu в пределах 59,16-65,70%). Пирротиновая ассоциация, являясь основным носителем железа и серы, служит источником энергии для проведения процессов плавки штейна и фальштейна в автогенном режиме.

Таким образом, селективное формирование концентратов по разновидностям ассоциаций позволяет формировать шихту плавильных агрегатов по заданным требованиям к энергетическому обеспечению и к свойствам продуктов плавки.

Пример химического состава отвального шлака Надеждинского металлургического завода [18]:

мас. %	Ni	Cu	Co	S _{общ}	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe	Cr ₂ O ₃
	0,0890	0,240	0,085	0,97	35,4	3,56	4,08	4,09	37,4	0,05
г/т:	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ag		
	0,52	1,6	0,039	0,02	0,008	<0,02	0,25	3,01		

Содержание железа в нём сопоставимо с месторождениями Малый Куйбас (в составе Магнитогорской группы) [21, 22] и Оленегорское (сырьевая база ПАО «Северсталь») и по своим свойствам соответствует требованиям агломерации [23]. Другие составляющие шлака, включающие в основном SiO₂, MgO, CaO, Al₂O₃, пригодны для изготовления строительных материалов и в качестве компонентов закладочных смесей [24], используемых для заполнения выработанного пространства в массиве месторождений руд. Закладка обеспечивает безопасную и эффективную их эксплуатацию и управление горным давлением [25].

Выводы

1. Селективное выделение концентратов по разновидностям рудных ассоциаций позволяет формировать шихту плавильных агрегатов по заданным требованиям к энергетическому обеспечению и к свойствам продуктов плавки, что особенно важно при расширении использования вкрапленных руд.

2. Селективное выделение железа позволяет создавать экономичные металлургические и машиностроительные малые предприятия в норильском промышленном районе с использованием отходов различного производства, накопленного металлолома, в том числе конверсионного, характеризующиеся быстрой окупаемостью, ориентированной на местные условия, гибкостью в производстве разнообразной малотоннажной продукции с использованием передовых технологий с целью удовлетворения текущих потребностей.

3. Среди рассмотренных видов рудных ассоциаций основным источником никеля является халькопирит-пентландитовая, меди – кубанит-халькопиритовая. Пирротиновая ассоциация, являясь основным носителем железа и серы, служит источником энергии для проведения процессов плавки штейна и фальштейна в автогенном режиме.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZRU-2026-0003).

Список источников

1. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья: учебник для вузов. Челябинск: Металлургия. Челяб отд-е, 1998. 432 с.
2. Ведерников В.В. Группа никеля и ее роль в становлении цветной металлургии СССР // Цветные металлы. 2022. №7. С. 104-110.

3. Новиков Н.И., Салихов В.А. Основные направления и перспективы развития минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов в мире и России // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2015. №2 (30). С. 138–150.
4. Крупнов Л.В., Ванеева И.Б. Экономическая оценка технических решений в металлургии: учебное пособие. Норильск: ФГБОУ ВО «ЗГУ», 2023. 119 с.
5. Заполярный филиал ГМК «Норильский никель»: учебно-наглядное пособие из цикла «Технологическая галерея» / Н.В. Марченко, Н.В. Олейникова, В.С. Чекушин, Л.В. Крупнов. Красноярск: ФГАОУ ВО «СФУ», 2024. 60 с.
6. Астафьев С.В. Минералы элементов платиновой группы в рудах Талнахского месторождения (Норильский рудный район) // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов по материалам XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Пермь: ПГНИУ, 2020. С. 108-110.
7. Чекушин В.С., Олейникова Н.В. Основы теории металлургических процессов. Красноярск: ФГАОУ ВО «СФУ», 2024. 300 с.
8. Целесообразность комплексирования минералогического и аналитических методов изучения металлургических шлаков / Горбатова Е.А., Ожогина Е.Г., Лебедев А.Н., Емельяненко Е.А., Харченко А.С., Селиванов В.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 4. С. 31-39.
9. Крупнов Л.В., Пархоменко И.Ю., Каверзин А.В. Общие подходы к совершенствованию металлургических агрегатов. Критерии их оценки // Научный вестник Арктики. 2024. №16. С. 12-22.
10. Крупнов Л.В., Мидюков Д.О., Малахов П.В. / Направление поддержания сырьевой базы медно-никелевой подотрасли // Обогащение руд. 2022. №2. С. 37-41.
11. Федоренко М.И. Минералого-геохимические особенности Талнахского интрузива // Азимут геонаук: материалы Всероссийской междисциплинарной молодежной научной конференции. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. С. 49-52.
12. Астафьев С.В. Минеграфическая характеристика природных разновидностей сульфидных медно-никелевых руд Талнахского месторождения (Красноярский край, Россия) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. С. 46-48.
13. Лежнин Р.А. Совершенствование процессов выплавки штейнов // Сборник статей VI Междуна-

- родной научно-практической конференции. Пенза: ООО «Наука и Просвещение», 2021. С. 26-34.
14. Изменение ресурсной базы производства тяжёлых цветных металлов на примере меди и никеля / Л.В. Крупнов, Д.О. Мидюков, М.С. Дациев, В.Б. Ильин // Горный журнал. 2024. № 3. С. 10-16.
15. Оптимизация аэродинамических характеристик печи взвешенной плавки с использованием CFD-моделирования / Л.В. Крупнов, С.В. Севагин, А.С. Фомичев, В.П. Миличенко // Цветные металлы. 2025. № 6. С. 32-42.
16. Оценка тепловой работы печей в жидкой ванне и печей взвешенной плавки с точки зрения их конструктивных особенностей / Л.В. Крупнов, Д.В. Румянцев, В.А. Попов, А.В. Каверзин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 18. № 2. С. 200-207.
17. Работа автогенных агрегатов в Заполярном филиале компании «Норникель» при переработке сырья с пониженным энергетическим потенциалом / Л.В. Крупнов, Л.Б. Цымбулов, П.В. Малахов, С.С. Озеров // Цветные металлы. 2022. № 2. С. 40-48.
18. Изучение свойств атипичного продукта – «Промежуточного слоя» печей Ванюкова, при переработке шихты с высоким содержанием техногенных продуктов / Л.В. Крупнов, Р.А. Пахомов, А.В. Каверзин, Я.И. Косов, П.В. Малахов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2025. Т. 31. № 2. С. 5-18.
19. Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» / под ред. Л.Б. Цымбулова. СПб.: Политех-Пресс, 2021. 398 с.
20. Технические решения по улучшению условий эксплуатации печей Ванюкова при переработке техногенного сырья / Л.В. Крупнов, Д.В. Румянцев, В.А. Попов, П.В. Малахов, А.В. Каверзин // Металлург. 2024. № 4. С. 106-111/
21. Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Макарова И.В. Теория, технология и автоматизация доменного процесса. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. 142 с.
22. Изучение процесса комбинированного водородно-углеродного восстановления железоникелевых руд / Бигеев В.А., Харченко А.С., Потапова М.В., Лунов У.Д., Потапов И.М., Юдин Д.В. // Теория и технология металлургического производства. 2022. № 3 (42). С. 4-10.
23. Анализ показателей агломерации при использовании органических связующих в составе шихты на основе концентрата ССГПО / И.В. Решетова, С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, В.И. Сысоев, М.А. Свиридова // Перспективы развития, совершенствования и автоматизации высокотехнологичных производств: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2025. С. 105-109.
24. Куцкая Е.И., Елесин М.А. Перспективы создания различных закладочных смесей на основе серосодержащих техногенных отходов // Научный вестник Арктики. 2019. №5. С. 50-53.
25. Скачков М.Н. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых Норильского промышленного района: справочное пособие. Норильск: Норильский индустриальный институт, 2005. 75 с.

Сведения об авторах

Харченко Александр Сергеевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: as.mgtu@mail.ru ORCID 0000-0002-0454-6399

Сибатуллин Салават Камилевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: 10tks@mail.ru ORCID 0009-0004-0220-0126

Бигеев Вахит Абдрашитович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Паймушкин Павел Геннадьевич – аспирант, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия; главный металлург – начальник Металлургического управления, Заполярный филиал ПАО «ГМК "Норильский никель"», Норильск, Россия.

Лаговская Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, машин и оборудования, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия. E-mail: lagovskaya.elena@yandex.ru

Багомедова Уздият Магомедсаидовна – аспирант, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, Норильск, Россия. E-mail: bagomedovaum@norvuz.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFECT OF SELECTIVE EXTRACTION OF COMPONENTS FROM ASSOCIATIONS OF MINERALS IN CONTINUOUS ORE OF THE TALNAKH DEPOSIT ON THEIR CONTENT IN THE PRODUCT

Kharchenko Aleksandr S. – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Chemical Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: as.mgtu@mail.ru ORCID 0000-0002-0454-6399

Sibagatullin Salavat K. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor in the Department of Metallurgy and Chemical Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: 10tks@mail.ru ORCID 0009-0004-0220-0126

Bigeev Vakhit A. – Dr. Sci. (Eng.), Professor of Metallurgy and Chemical Technologies Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru

Paimushkin Pavel G. – postgraduate student N.M. Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia; Chief Metallurgist – Head of the Metallurgical Department Polar Branch of PJSC MMC Norilsk Nickel, Norilsk, Russia.

Lagovskaya Elena V. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metallurgy, Machinery and Equipment, N.M. Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Norilsk, Russia. E-mail: lagovskaya.elena@yandex.ru

Bagomedova Uzdiyot M. – postgraduate student N.M. Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russia. E-mail: bagomedovaum@norvuz.ru

Abstract. Copper-nickel ores of the Talnakh deposit jointly contain Cu, Ni, Fe, S, a number of other elements and the host rock. Selective allocation of concentrates with different ore associations is especially important when expanding the use of disseminated ores.

Keywords: nickel, copper, iron, sulfur, matte, fine-grained ore, ore association, concentrate, slag.

Ссылка на статью:

Действие селективного извлечения компонентов из ассоциаций минералов сплошных руд Талнахского месторождения на их содержание в продукции / Харченко А.С., Сибегатуллин С.К., Бигеев В.А., Паймушкин П.Г., Лаговская Е.В., Багомедова У.М. // Теория и технология металлургического производства. 2026. №3(58). С. 4-9. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-4-9](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-4-9)

Kharchenko A.S., Sibagatullin S.K., Bigeev V.A., Paimushkin P.G., Lagovskaya E.V., Bagomedova U.M. Effect of selective extraction of components from associations of minerals in continuous ore of the Talnakh deposit on their content in the product. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 58, no. 3, pp. 4-9. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3\(58\)-4-9](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-3(58)-4-9)