

УДК 542.61

DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-359-370

Л.Г. Чеканова<sup>1</sup>, С.А. Заболотных<sup>1</sup>, А.В. Харитоновна<sup>1</sup>, Ю.Б. Ельчищева<sup>2</sup>, Е.С. Юровских<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт технической химии, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**ГИДРАЗИДЫ РАЗВЕТВЛЕННЫХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ –  
РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ  
МИНЕРАЛОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

*Представлены результаты лабораторных исследований гидразидов 2-этилгексановой и н-пентановой кислот в качестве самостоятельных собирателей и в составе различных композиций при флотационном обогащении сульфидных медно-никелевых руд. Установлено, что реагенты обладают выраженными собирательными свойствами и селективностью по отношению к сульфидным минералам цветных металлов. Лучшие результаты по извлечению меди и никеля получены при использовании сочетаний исследуемых гидразидов с бутиловым ксантогенатом калия.*

**Ключевые слова:** флотация; собиратели; гидразиды разветвленных алифатических кислот; сульфидные медно-никелевые руды

L.G. Chekanova<sup>1</sup>, S.A. Zabolotnykh<sup>1</sup>, A.V. Kharitonova<sup>1</sup>, Y.B. Elchishcheva<sup>2</sup>, E.S. Yurovskikh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Technical Chemistry, Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

**BRANCHED CARBOXYLIC ACIDS HYDRAZIDES – REAGENTS FOR FLOTATION  
RECOVERY OF NON-FERROUS MINERALS**

*The results of laboratory studies of 2-ethylhexanoic and neopentanoic acids hydrazides as independent collectors and a part of various compositions during flotation of sulfide copper-nickel ores are presented. It was found that the reagents have properties of collectors in flotation and selectivity to sulfide minerals of non-ferrous metals. The best results on the recovery of copper and nickel were obtained using combinations of the studied hydrazides with potassium butyl xanthate.*

**Keywords:** flotation; collectors; branched aliphatic acid hydrazides; sulfide copper-nickel ores

© Чеканова Л.Г., Заболотных С.А., Харитоновна А.В., Ельчищева Ю.Б., Юровских Е.С., 2019

Флотацией в настоящее время перерабатывают более 90 % руд цветных металлов [1]. Результаты флотационного обогащения в значительной степени определяются реагентным режимом – ассортиментом и способом применения реагентов. Оптимизированный реагентный режим позволяет регулировать поверхностные свойства разделяемых минералов и достигать селективности при флотации. Наиболее важным типом флотореагентов являются собиратели (коллекторы). Роль их может сводиться как к гидрофобизации поверхности отдельных минералов (что делает возможным прилипание их к пузырькам газов), так и к влиянию на ряд других факторов, касающихся образования устойчивого флотационного комплекса [2, 3].

Известно, что при флотации сульфидных руд цветных металлов эффективны сульфгидрильные собиратели: ксантогенаты, дитиофосфаты, меркаптаны, диалкилтионокарбаматы, а также сочетания этих реагентов [2, 4]. На практике на зарубежных обогатительных фабриках применяют четыре вида ксантогенатов щелочных металлов, начиная с этилового и заканчивая амиловым [5], обширный спектр дитиофосфатов (аэрофлотов) и их смесей с тионокарбаматами (аэропромоуторы); производные фосфониевой кислоты (аэрофины) [6–8].

На отечественных фабриках главным образом используется бутиловый ксантогенат калия (БКК) и несколько типов диалкилдитиофосфатов [9]. БКК имеет ряд недостатков: низкая селективность, что приводит к усложнению технологических схем и потерям металлов в многочисленных

операциях перечистки коллективных концентратов; он требует применения ряда вспомогательных реагентов, неустойчив при длительном хранении: разлагается с выделением токсичного сероуглерода.

В связи с необходимостью вовлечения в переработку бедных и труднообогатимых руд, техногенных отходов, которые с одной стороны стали источником расширения минерально-сырьевой базы страны, с другой – источником повышенной экологической опасности, встает вопрос поиска новых, более эффективных реагентов. Как российские, так и зарубежные исследователи при создании новых селективных собирателей работают в двух основных направлениях: синтез реагентов с заданными свойствами и сочетание собирателей [10]. Для современной практики наиболее характерно применение сочетания собирателей, которое включает несколько вариантов соединений с разной флотационной активностью и окисляемостью компонентов, обладающих разной флотационной силой к определенным минералам [11].

В Институте технической химии УрО РАН (г. Пермь) на основе гидразидов алифатических карбоновых кислот линейного строения предложены новые собиратели для флотации минералов цветных металлов. Исследования, проведенные на различных рудах (сульфидной медно-молибденовой (Эрдэнэт, Монголия), уральских труднообогатимых Cu–Zn (Красноуральск, Свердловской обл.), сульфидных медно-никелевых (Заполярный, Мурманской обл.), вкрапленных медно-никелевых норильских месторождений), показали, что реагенты

обладают выраженными собирательными свойствами и селективностью по отношению к сульфидным минералам цветных металлов, обеспечивают более высокий выход целевых металлов в сравнении с БКК, менее токсичны и устойчивы при длительном хранении. Показана также перспективность применения новых реагентов в сочетании с бутилксантогенатом калия [12–14].

Целью данной работы является исследование закономерностей флотационного извлечения минералов цветных металлов с гидразидами разветвленных карбоновых кислот: 2-этилгексановой (Г-18i) и н-пентановой (ГнПК) и синергетическими композициями на их основе.

Известно, что на поверхности флотируемого минерала должно быть определенное соотношение химически закрепившегося и физически сорбированного собирателя [15]. Хемосорбция определяется наличием в составе реагента функционально-активных групп (ФАГ); физическая сорбция – наличием полярных групп, обеспечивающих диполь-дипольное взаимодействие с поверхностью минерала, условия формирования адсорбционного слоя – характером углеводородного радикала. Предполагается, что наличие в молекуле гидразидов разветвленных алкильных радикалов приведет к усилению гидрофобизации поверхности минералов за счет стерических эффектов (большей предельной площади, занимаемой молекулой на границе раздела фаз). Можно также предположить, что использование гидразидов в сочетаниях с ксантогенатами позволит повысить извлечение минералов в результате увеличения их суммарной

адсорбции и образования на минерале более плотного адсорбционного слоя.

### Экспериментальная часть

Исследуемые гидразиды синтезировали согласно методике [16] через метиловые и этиловые эфиры 2-этилгексановой и неопентановой кислот соответственно с последующей реакцией гидразинолиза. После перекристаллизации из гексана содержание основного вещества в образцах составляло 98 %. Индивидуальность и чистота реагентов подтверждена данными ИК-спектроскопии и элементным анализом. Инфракрасные спектры поглощения в диапазоне 400–4000 см<sup>-1</sup> регистрировали на Фурье-спектрометре Vertex 80V (Bruker, Германия). Элементный анализ проводили на анализаторе VARIO EL cube CHNS (Elementar, Германия).

Флотоактивность реагентов изучали на сульфидной медно-никелевой руде Печенгского промышленного района (содержание металлов в руде для каждой серии опытов указано в таблицах). Флотационные опыты выполняли в соответствии с Методикой «Проведения лабораторных исследований технологических свойств медно-никелевых руд Печенгского промышленного района (М 2-48200234-45-03-2011)», принятой на Обоганительной фабрике АО «Кольская ГМК».

Пробу руды крупностью 3 мм, массой 240 г смешивали с содой (взятой из расчета 3 кг/т) и измельчали в шаровой мельнице 45 мин. до заданной крупности: 0,063 мм не менее 80 %. Флотацию проводили в лабораторной флотомашине 237ФЛ (объем камеры 0,5 л, скорость вращения импеллера – 2760 об/мин) («Механобр-Техника», Санкт-Петербург) по

коллективной схеме, включающей основную (10 мин) и контрольную (15 мин) флотации. В качестве пенообразователя использовали бутиловый аэрофлот натрия (Af), в качестве собирателей – исследуемые гидразиды или их смеси с бутилксантогенатом калия; медный купорос – как активатор флотации сульфидов цветных металлов и пирротина. Собиратели вводили в пульпу в виде 1 %-ных водных растворов. Расходы реагентов в стандартных условиях (базовый опыт): основная флотация – БКК – 100 г/т; Af – 60 г/т,  $\text{CuSO}_4$  – 15 г/т; контрольная флотация – БКК – 35 г/т; Af – 35 г/т,  $\text{CuSO}_4$  – 15 г/т. Количественные данные по расходам реагентов, отличающиеся от базового опыта, приведены в таблицах. Полученные после проведения опытов продукты сушили, взвешивали и истирали. После этого отбирались пробы для проведения анализа. Разложение проб проводили их растворением в смеси  $\text{HCl}:\text{HNO}_3$  (3:1) в микроволновой печи MARS 6 (CEM Corporation, США). Определение содержания цветных металлов выполняли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре iCE 3500 с пламенной атомизацией (Thermo Scientific, США). Результаты сравнивали с показателями обогащения, полученными при использовании в качестве собирателя БКК (базовый опыт), применяемого в настоящее время на Обоганительной фабрике АО «Кольская ГМК».

В работе использовали реактивы: 2-этилгексановая кислота (95 %), метанол «ч», гидразин-гидрат «ч», неопентановая кислота (99%), этанол (96 %), бензол «чда», концентрированные хлороводородная ( $\rho=1,179$

г/мл), азотная ( $\rho=1,510$  г/мл) кислоты «чда», вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72; ацетилен по ГОСТ 5457; государственные стандартные образцы (ГСО) никеля, меди, кобальта (интервал массовой концентрации ионов металлов 0,95...1,05 мг/см<sup>3</sup>; фон – 1 моль/дм<sup>3</sup> азотная кислота), бутиловый ксантогенат калия, (96 %) (АО «Волжский Оргсинтез»), образцы бутилксантогенатов калия (72,7 и 58,5 %) (ООО «НАКС Технолоджи-Ск», Инновационный центр Сколково), дибутилдитиофосфат натрия (бутиловый аэрофлот) по ТУ 2452-001-51848149-003 (АО «Квадрат Плюс»), сода кальцинированная по ГОСТ 5100, медный купорос по ТУ 9-199-48200234.

### Результаты и обсуждение

Основными полезными компонентами руды месторождений Печенгского рудного поля являются никель, медь, кобальт и сера. Главный никельсодержащий минерал – пентландит ((Ni, Fe)S), на долю которого приходится 91,6 % никеля в руде. Часть никеля находится в пирротине ( $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$ ) в виде структур твердого распада в так называемых пламенивидных сростках. Медь связана в основном с халькопиритом ( $\text{CuFeS}_2$ ), а кобальт – с пентландитом. Пустая порода или шлакообразующие компоненты представлены оксидами:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Из-за сложного минералогического состава, широкого диапазона вкрапленности сульфидов на обоганительной фабрике АО «Кольская ГМК» используется технология флотации, представленная сложной схемой, включающей стадию коллективной флотации. При коллективной флотации ставится задача

отделить пустую породу и получить обогащенный продукт – медно-никелевый концентрат [17]. Применение гидразидов, образующих комплексные соединения с ионами меди и никеля, дает возможность совместного извлечения их в коллективный концентрат.

В табл. 1 приведены результаты исследования собирательной способности Г-18i. При равных расходах в условиях базового опыта извлечение меди, никеля и кобальта в коллективный концентрат выше с Г-18i (Е, %: Ni – 86,3; Cu – 88,9; Co – 78,4) (№ 2), чем при использовании БКК (Е, %: Ni – 83,6; Cu – 87,8; Co – 78,12) (№ 1). При этом незначительно снижается качество концентратов в связи с увеличением выходов пенных продуктов, что объясняется наличием у Г-18i свойств ПАВ (введение Г-18i в концентрации  $10^{-2}$  моль/л понижает поверхностное натяжение водного раствора на 9 мН/м по сравнению с чистым растворителем). Поэтому было исследовано применение Г-18i с разными расходами пенообразователя (№ 3, 4). Лучшие результаты флотации (Е, %: Ni – 86,3; Cu – 89,6; Co – 79,09) были получены при использовании меньшего, чем в базовом опыте, расхода Af (30 г/т) (№ 4). Повысить эффективность извлечения металлов в условиях опыта № 4

можно увеличением концентрации соды до 4 кг/т (№ 5).

При исследовании зависимости показателей флотации от времени установлено, что в основной флотации существенное извлечение минералов металлов с Г-18i происходит за первые 3 мин (рис. 1а), в то время как с БКК – равномерно в течение 10 мин (рис. 2а). Аналогичные закономерности наблюдаются и в случае контрольной флотации: для Г-18i достаточно 10 мин (рис. 1б). Поэтому можно рекомендовать сокращение времени основной флотации с Г-18i до 8, контрольной – до 10 мин.

При использовании смеси собирателей Г-18i и БКК в условиях базового опыта (№ 6) суммарная степень извлечения составила – Е, %: Ni – 83,6; Cu – 86,8; Co – 78,0. Извлечение Ni и Cu с данной композицией в стандартных условиях такое же, как и качество концентратов ниже соответствующих показателей флотации как с одним БКК, так и с Г-18i. Лучшие результаты флотации достигнуты для смеси собирателей Г-18i : БКК=1:1 без применения аэрофлота (№ 7). Данный реагентный режим позволяет увеличить степень извлечения по сравнению с БКК в черновой концентрат, %: Ni на 6,6; Cu – 1,3; Co – 1,7 при лучшем для всех металлов качестве концентрата.

**Результаты коллективной флотации медно-никелевой руды в черновой концентрат с собирателями Г-18i и БКК**

№	Условия флотации	Продукт флотации	Выход, %	Ni		Cu		Co	
				М, %	Е, %	М, %	Е, %	М, %	Е, %
1	БКК Базовый опыт	Основная	20,0	2,34	68,13	0,953	78,19	0,075	61,95
		Контрольная	14,0	0,76	15,48	0,167	9,58	0,028	16,17
		Σ(осн.+конт.)	34,0	1,69	83,61	0,630	87,77	0,056	78,12
		Хвосты	66,0	0,17	16,39	0,045	12,23	0,008	21,88
		ИТОГО	100	0,68	100	0,24	100	0,024	100
2	Г-18i Все условия базового опыта	Основная	22,1	2,27	78,84	0,784	80,78	0,071	67,13
		Контрольная	14,2	0,33	7,48	0,122	8,10	0,018	11,22
		Σ(осн.+конт.)	36,3	1,51	86,32	0,53	88,88	0,050	78,35
		Хвосты	63,7	0,14	13,68	0,038	11,12	0,008	21,65
		ИТОГО	100	0,64	100	0,21	100	0,023	100
3	Г-18i Условия базового опыта без применения Af	Основная	19,8	2,56	74,01	0,912	77,76	0,081	63,90
		Контрольная	10,4	0,62	9,38	0,183	8,20	0,027	10,99
		Σ(осн.+конт.)	30,2	1,89	83,39	0,66	85,96	0,062	74,89
		Хвосты	69,8	0,16	16,61	0,047	14,05	0,009	25,11
		ИТОГО	100	0,68	100	0,23	100	0,025	100
4	Г-18i Условия базового опыта Af – 30 г/т	Основная	18,4	2,68	72,63	0,956	79,03	0,085	65,83
		Контрольная	13,0	0,54	10,41	0,142	8,28	0,021	11,65
		Σ(осн.+конт.)	31,4	1,80	83,04	0,62	87,31	0,058	77,48
		Хвосты	68,6	0,17	16,95	0,041	12,69	0,008	22,52
		ИТОГО	100	0,68	100	0,22	100	0,024	100
5	Г-18i Условия базового опыта Af – 30 г/т; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 4 кг/т;	Основная	20,6	2,53	77,20	0,985	82,56	0,083	68,56
		Контрольная	13,9	0,44	9,06	0,124	7,03	0,019	10,52
		Σ(осн.+конт.)	34,5	1,69	86,26	0,64	89,59	0,057	79,08
		Хвосты	65,5	0,14	13,74	0,039	10,41	0,008	20,92
		ИТОГО	100	0,67	100	0,25	100	0,025	100
6	Г-18i : БКК=1:1 Все условия базового опыта	Основная	22,0	1,87	73,97	0,652	78,39	0,070	67,86
		Контрольная	11,6	0,46	9,63	0,133	8,42	0,020	10,15
		Σ(осн.+конт.)	33,6	1,39	83,60	0,474	86,81	0,053	78,01
		Хвосты	66,4	0,14	16,40	0,036	13,19	0,008	21,99
		ИТОГО	100	0,56	100	0,18	100	0,023	100
7	Г-18i : БКК=1:1 Условия базового опыта без применения Af	Основная	19,8	2,67	76,29	0,99	79,73	0,077	64,11
		Контрольная	13,3	0,72	13,89	0,173	9,34	0,028	15,67
		Σ(осн.+конт.)	33,1	2,18	90,18	0,662	89,07	0,057	79,78
		Хвосты	66,9	0,10	9,82	0,040	10,93	0,002	20,21
		ИТОГО	100	0,69	100	0,25	100	0,024	100

Руда текущей переработки, %: Ni – 0,665; Cu – 0,231; Co – 0,024; Fe – 10,11;

М, % - среднее содержание металла из 3 параллельных опытов;

Е, % - степень извлечения металла

В табл. 2 представлены результаты флотационных опытов с гидразидом неопентановой кислоты. В условиях стандартного режима применение ГнПК (№ 9) в качестве собирателя приводит к снижению степени извлечения Ni и Cu и ухудшению качества коллективного концентрата по сравнению с флотацией с БКК (№ 8). Введение смеси ГнПК:БКК (№ 10) повышает извлечение всех целевых металлов за счет увеличения выхода пенного продукта, но вследствие этого снижается качество концентрата. Следует отметить, что во всех опытах с ГнПК степень извлечения Co на 2–4 % выше, чем с БКК.

Гидразид неопентановой кислоты в условиях базового опыта проявляет себя как менее сильный собиратель по сравнению как с БКК, так и Г-18i. Мы предполагаем, что это связано с отсутствием поверхностно-активных свойств ГнПК из-за наличия короткого разветвленного радикала (введение ГнПК не изменяет поверхностное натяжение растворов до концентрации его  $10^{-2}$  моль/л). Использование реагента в качестве собирателя требует доработки условий режима флотации.

Было проведено исследование собирательной способности ГнПК в сочетании

с бутилксантогенатом калия (БКК<sup>NT</sup>), синтезированным по инновационной технологии NAX TECHNOLOGY. Например в технологии ведущего производителя ксантогенатов в России ОАО «Волжский оргсинтез» применяется общепринятый многостадийный подход, в результате которого ксантогенаты выпускаются в виде сухих мелких кристаллов, или при необходимости, в гранулированном виде. Технология NAX TECHNOLOGY – одностадийный процесс, в котором отсутствуют: стадия получения алкоголята в том виде, при котором происходит образование побочных продуктов, входящих в состав реакционной массы (тиокарбонатов, сульфидов, карбонатов, ангидрида ксантогеновой кислоты и сульфита калия); стадия центрифугирования – отгонки маточного раствора; стадия сушки, при которой возникают процессы окисления ксантогената. В результате получают алкилксантогенаты щелочных металлов в жидком состоянии в виде водно-спиртового раствора, который по существу является дополнительным пенообразователем в процессе флотации.

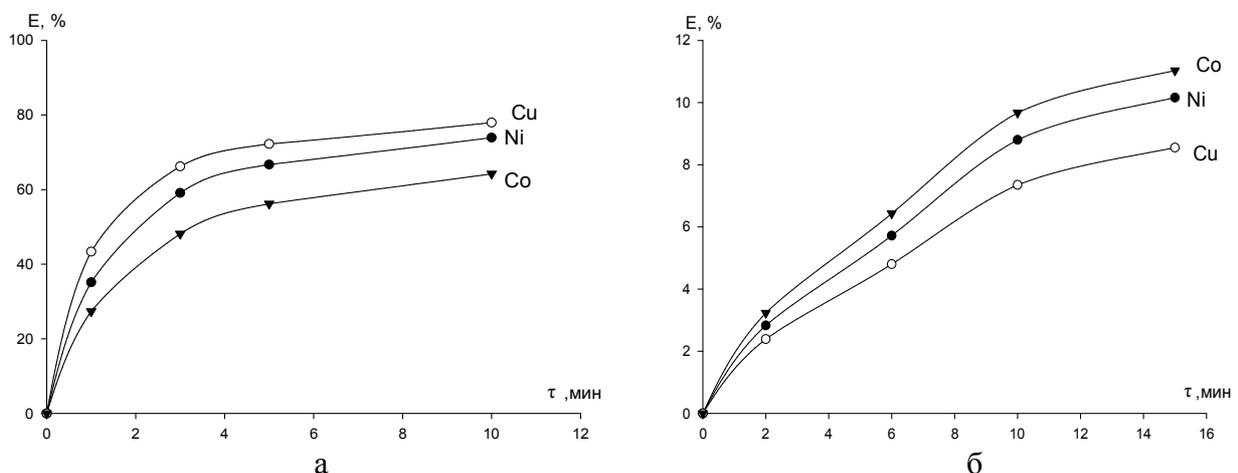


Рис. 1. Кинетика основной (а) и контрольной (б) флотации с собирателем Г-18i

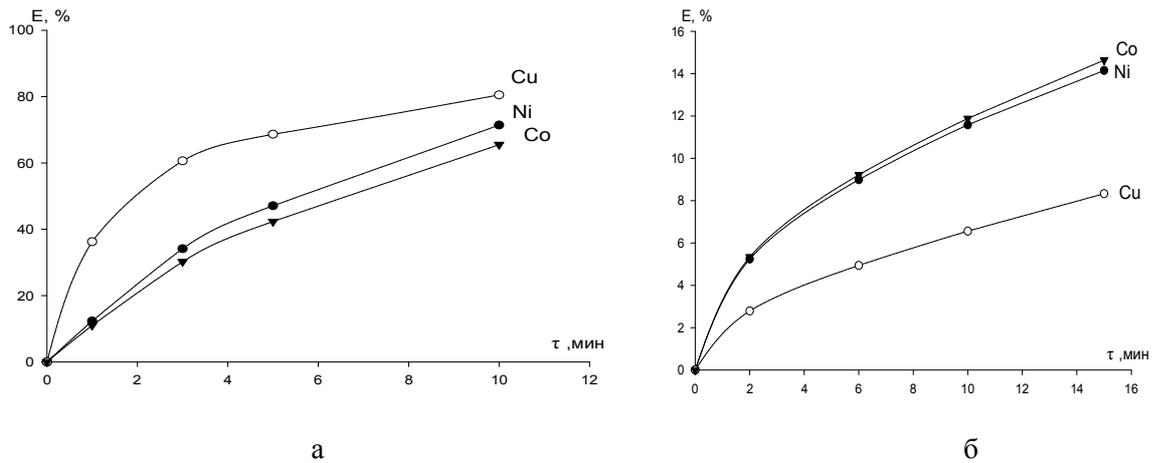


Рис. 2. Кинетика основной (а) и контрольной (б) флотации с собирателем БКК

Для исследования композиций собирателей (табл. 2, № 11–15) были выбраны два образца БКК<sup>NT</sup> с содержанием основного вещества 72,7 и 58,5 %. Анализ данных табл. 2 показал, что наиболее перспективной является композиция БКК<sup>NT</sup> (58,5 %) и ГнПК (№ 15) с расходом Af вдвое меньшем, чем в базовом опыте (№ 8). Извлечение никеля в коллективный

концентрат повышается на 2,48 %, кобальта – на 3,43 %. При этом потери с хвостами меди и находятся на уровне стандартного опыта, а потери никеля и кобальта понижаются. Качество концентрата здесь сопоставимо (Cu, Co) или несколько выше (Ni), чем в базовом опыте.

Таблица 2

**Результаты коллективной флотации медно-никелевой руды в черновой концентрат с собирателями ГнПК и БКК**

№	Условия флотации	Продукт флотации	Выход, %	Ni		Cu		Co	
				М, %	Е, %	М, %	Е, %	М, %	Е, %
8	БКК Условия базового опыта	Основная	31,4	1,23	72,46	0,499	84,18	0,055	66,61
		Контрольная	22,5	0,36	14,98	0,072	8,75	0,019	16,27
		Σ(осн.+контр.)	53,9	0,87	87,44	0,321	92,93	0,040	82,88
		Хвосты	46,0	0,15	12,56	0,029	7,07	0,010	17,12
		ИТОГО	100	0,53	100	0,19	100	0,026	100
9	ГнПК Условия базового опыта	Основная	27,3	1,35	74,56	0,492	83,97	0,053	73,76
		Контрольная	23,5	0,25	11,72	0,052	7,60	0,009	10,71
		Σ(осн.+контр.)	50,8	0,84	86,28	0,288	91,58	0,032	84,47
		Хвосты	49,2	0,14	13,72	0,027	8,42	0,006	15,53
		ИТОГО	100	0,49	100	0,16	100	0,019	100

Окончание табл. 2

№	Условия флотации	Продукт флотации	Выход, %	Ni		Cu		Co	
				М, %	Е, %	М, %	Е, %	М, %	Е, %
10	ГнПК:БКК 1:1 Условия базового опыта	Основная	33,2	1,12	77,99	0,412	87,95	0,045	78,46
		Контрольная	21,3	0,22	9,82	0,044	5,98	0,008	9,03
		Σ(осн.+контр.)	54,5	0,77	87,81	0,268	93,92	0,031	87,49
		Хвосты	45,5	0,13	12,19	0,021	6,08	0,05	12,51
		ИТОГО	100	0,49	100	0,16	100	0,19	100
11	БКК <sup>NT</sup> (72,7 %): ГнПК = 1:1 Условия базового опыта без применения Af	Основная	24,3	1,40	64,51	0,625	77,33	0,060	59,03
		Контрольная	26,3	0,38	18,83	0,088	11,84	0,019	20,27
		Σ(осн.+контр.)	50,6	0,87	83,34	0,346	89,17	0,038	79,30
		Хвосты	49,4	0,18	16,66	0,043	10,83	0,010	20,70
		ИТОГО	100	0,53	100	0,20	100	0,025	100
12	БКК <sup>NT</sup> (72,7 %): ГнПК = 1:1 Условия базового опыта ½ Af	Основная	32,8	1,23	72,37	0,448	83,84	0,054	70,01
		Контрольная	19,4	0,29	10,09	0,069	7,58	0,016	11,90
		Σ(осн.+контр.)	52,2	0,88	82,46	0,307	91,42	0,040	81,91
		Хвосты	47,8	0,21	17,54	0,031	8,58	0,010	18,09
		ИТОГО	100	0,56	100	0,18	100	0,025	100
13	БКК <sup>NT</sup> (72,7 %): ГнПК = 1:1 Условия базового опыта ¼ Af	Основная	30,2	1,40	72,70	0,500	82,25	0,057	66,43
		Контрольная	25,3	0,33	14,49	0,067	9,27	0,017	16,20
		Σ(осн.+контр.)	55,5	0,91	87,19	0,303	91,53	0,039	82,62
		Хвосты	44,5	0,17	12,81	0,035	8,47	0,010	17,38
		ИТОГО	100	0,58	100	0,18	100	0,026	100
14	БКК <sup>NT</sup> (58,5 %): ГнПК = 1:1 Условия базового опыта без применения Af	Основная	30,0	1,22	69,18	0,502	81,67	0,053	65,69
		Контрольная	32,4	0,32	19,34	0,063	11,08	0,015	19,95
		Σ(осн.+контр.)	62,4	0,75	88,52	0,274	92,75	0,033	85,64
		Хвосты	37,6	0,16	11,48	0,036	7,25	0,009	14,36
		ИТОГО	100	0,53	100	0,18	100	0,024	100
15	БКК <sup>NT</sup> (58,5 %): ГнПК = 1:1 Условия базового опыта ½ Af	Основная	32,2	1,38	80,20	0,487	86,49	0,060	74,57
		Контрольная	22,8	0,24	9,71	0,052	6,51	0,013	11,75
		Σ(осн.+контр.)	55,0	0,90	89,92	0,306	93,00	0,041	86,31
		Хвосты	45,0	0,12	10,08	0,028	7,00	0,008	13,69
		ИТОГО	100	0,55	100	0,18	100	0,026	100

Руда текущей переработки, Ni – 0,548; Cu – 0,184; Co – 0,025;  
Измененные условия: ½ Af – 30 г/т (о.ф.), 18 г/т (к.ф.); ¼ Af – 15 г/т (о.ф.), 9 г/т (к.ф.).

Таким образом, исследуемые реагенты могут быть рекомендованы для коллективной флотации медно-никелевых руд с невысоким содержанием металлов с дальнейшей перечисткой и селекцией.

Работа выполнена по теме государственного задания № АААА-А18-118032790022-7.

### Библиографический список

1. *Материалы* II Международной конференции «Флотационные реагенты». М., 2017 // URL: <http://rcc.ru/article/spros-na-flotacionnyye-reagenty-v-rossii-budet-rasti-58549>.
2. Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. М.: Недра, 1990. Кн. 1. С. 79–90.
3. Кондратьев С.А. Реагенты-собиратели в элементарном акте флотации. Новосибирск: СО РАН, 2012. 241 с.
4. Комогорцев Б.В., Вареничев А.А. Применение селективных реагентов-собирателей в технологиях флотационного обогащения золотосодержащих сульфидных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 12. С. 231–242.
5. Алгебраистова Н.К., Кондратьева А.А. Технология обогащения руд цветных металлов. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 283 с.
6. Chandra A.P., Gerson A.R. A Review of the Fundamental Studies of the Copper Activation Mechanisms for Selective Flotation of the Sulfide minerals, Sphalerite, Pyrite // *Advances in colloid and interface science*. 2009. Vol. 145, № 1–2. P. 97–110.
7. Quintanar C., Palominos M. Rejection of Pyrite: Challenges and Sustainable Chemical Solutions. In *Proceedings of the 27th International Mineral Processing Congress*. Santiago; Chile. 20–24 October 2014. P. 32–39.
8. Абрамов А.А. Собрание сочинений. Т. 8. Флотация. Сульфидные минералы: учеб. пособие. М.: Горная книга, 2013. 704 с.
9. Рябой В.И. Производство и применение флотационных реагентов в России // Горный журнал. 2011. № 2. С. 49–53.
10. Игнаткина В.А., Бочаров В.А., Милович Ф.О., и др. Селективное повышение флотоактивности сульфидов цветных металлов с использованием сочетаний сульфгидрильных собирателей // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 18–24.
11. *Технология* обогащения медных и медно-цинковых руд Урала / под общ. ред. акад. В.А. Чантурия и д.х.н. И.В. Шадроновой. М.: Наука, 2016. С. 212–213.
12. Чеканова Л.Г., Байгачева Е.В., Радусhev А.В., Чернова Г.В. Некоторые гидразиды как потенциальные собиратели при флотации сульфидных медно-молибденовых руд // Химическая технология. 2009. Т. 10, № 1. С. 53–57.
13. Радусhev А.В., Чеканова Л.Г., Байгачева Е.В., и др. Поиск потенциальных собирателей среди гидразидов для флотации уральских медно-цинковых руд // Обогащение руд. 2010. № 2. С. 25–27.
14. Тимошенко Л.И., Чеканова Л.Г., Маркосян С.М., Байгачева Е.В. Реагенты класса гидразидов для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд // Химическая технология. 2014. Т. 15, № 8. С. 488–492.
15. Абрамов А.А. Собрание сочинений: Т. 7: Флотация. Реагенты-собиратели: учеб. пособие. М.: Горная книга, 2012. 656 с.
16. Харитоновна А.В., Радусhev А.В., Батуева Т.Д., Горбунов А.А., Чеканова Л.Г. Оптимизация условий синтеза сложных эфиров гидразида 2-этилгексановой кислоты // Химическая технология. 2015. Т. 16, № 2. С. 91–94.
17. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. кн. 2. М.: МГТУ, 2005. Т. III. 468 с.

### References

1. *Proceedings of the II International Conference "Flotation reagents"* Moscow, Russia, 2017. URL: <http://rcc.ru/article/spros-na-flotacionnyye-reagenty-v-rossii-budet-rasti-58549>.
2. Shubov, L.Ya., Ivankov, S.I. and Scheglova, N.K. (1990), *Flotatsionnyye reagenty v protsessakh obogashcheniya mineralnogo syrya. Kn. 1.* [Flotation reagents in the processes of mineral enrichment. Book 1]. Nedra, Moscow, Russia.
3. Kondratiev, S.A. (2012), *Reagenty-sobirатели v elementarnom akte flotatsii* [Collector reagents in the elementary act of flotation], SB RAS, Novosibirsk, Russia.
4. Komogortsev, B.V. and Varenichev, A.A. (2016), "The use of selective collecting agents in technology flotation gold-sulfide ores", *Mining Informational and Analytical Bulletin*, no. 12, pp. 231–242. (In Russ.).
5. Algebraistova, N.K. and Kondratieva, A.A. (2009), *Tekhnologiya obogashcheniya rud tsvetnykh metallov* [The technology of enrichment of non-ferrous metal ores], IPK SFU, Krasnoyarsk, Russia.
6. Chandra, A.P. and Gerson, A.R. (2009), "A Review of the Fundamental Studies of the Copper Activation Mechanisms for Selective Flotation of the Sulfide minerals, Sphalerite,

- Pyrite”, *Advances in colloid and interface science*, vol. 145, no. 1–2, pp. 97–110.
7. Quintanar, C. and Palominos, M. (2014), “Rejection of Pyrite: Challenges and Sustainable Chemical Solutions”. *Proceedings of the 27th International Mineral Processing Congress*, Santiago, Chile, 20–24 October 2014, pp. 32–39.
  8. Abramov, A.A. (2013), *Sobraniye sochineniy. T. 8. Flotatsiya. Sul'fidnyye mineral: uchebnoye posobiye* [Collected works. T. 8. Flotation. Sulfide minerals: Study Guide], Gornaya kniga, Moscow, Russia.
  9. Ryaboy, V.I. (2011), “Production and usage of flotation reagents in Russia”, *Gornyi Zhurnal*, no 2, pp. 49–53. (In Russ.).
  10. Ignatkina, V.A., Bocharov, V.A., Milovich, F.O., Ivanova, P.I. and Khachtryan, L.S. (2015), “Base metals sulfides flotation response increase with application of sulfhydic collectors combinations”, *Obogashchenie Rud*, no. 3, pp. 18–24. (In Russ.).
  11. Chanturia, V.A. and Shadrinova, I.V. (ed.) (2016), *Enrichment technology for copper and copper-zinc ores of the Urals*, Nauka, Moscow, Russia.
  12. Chekanova, L.G., Baigacheva, Ye.V., Radushev, A.V. and Chernova, G.V. (2009), “Some hydrazides as potential collectors in the flotation of sulfide copper – molybdenum ores”, *Khimicheskaya Tekhnologiya*, vol. 10, no. 1, pp. 53–57. (In Russ.).
  13. Radushev, A.V., Chekanova, L.G., Baigacheva, Ye.V., Topaev, G.D., Komarovskiy, V.L. and Cheremisin S.V. (2010), “Searching potential collectors among hydrazides with regard to flotation of Ural copper-zinc ores”, *Obogashchenie Rud*, no. 2, pp. 25–27. (In Russ.).
  14. Timoshenko, L.I., Chekanova, L.G., Markosyan, S.M. and Baigacheva, E.V. (2014), “Hydrazide class reagents for flotation concentration of disseminated copper-nickel ores”, *Khimicheskaya Tekhnologiya*, vol. 15, no. 8, pp. 488–492. (In Russ.).
  15. Abramov, A.A. (2012), *Sobraniye sochineniy. T. 7. Flotatsiya. Reagenty-sobirateli: uchebnoye posobiye* [Collected Works. Vol. 7. Flotation. Gatherer Reagents: Study Guide], Gornaya kniga, Moscow, Russia.
  16. Kharitonova, A.V., Radushev, A.V., Batuyeva, T.D., Gorbunov, A.A. and Chekanova, L.G. (2015), “Optimization of the conditions for the synthesis of esters of 2-ethylhexanoic acid hydrazide”, *Khimicheskaya Tekhnologiya*, vol. 16, no. 2, pp. 91–94. (In Russ.).
  17. Abramov, A.A. (2005), *Tekhnologiya pererabotki i obogashcheniya rud tsvetnykh metallov. T. III, kniga 2* [Technology for processing and enrichment of non-ferrous metal ores. V. III, book 2], MGGU, Moscow, Russia.

**Об авторах**

**About the authors**

Чеканова Лариса Геннадьевна,  
кандидат химических наук, доцент, заведующий  
лабораторией органических  
комплексообразующих реагентов  
Институт технической химии УрО РАН  
614013, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 3.  
larchek.07@mail.ru

Larisa G. Chekanova,  
Ph.D. in Chemistry, Assistant Professor, Head of  
the Laboratory of Organic Complexing Reagent;  
Institute of Technical Chemistry UB RAS  
(branch of PFRC UB RAS)  
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia.  
larchek.07@mail.ru

Заболотных Светлана Александровна,  
младший научный сотрудник лаборатории  
органических комплексообразующих реагентов  
Институт технической химии УрО РАН  
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.  
zabolotsveta@mail.ru

Svetlana A. Zabolotnykh,  
Junior research of the  
Laboratory of Organic Complexing Reagent;  
Institute of Technical Chemistry UB RAS  
(branch of PFRC UB RAS)  
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia.  
zabolotsveta@mail.ru

Харитоновна Анастасия Владимировна,  
кандидат химических наук, научный сотрудник  
лаборатории органических  
комплексообразующих реагентов;  
Институт технической химии УрО РАН  
614013, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 3.  
latendresse@mail.ru

Anastasia V. Kharitonova,  
Ph.D. in Chemistry, Researcher of the Laboratory  
of Organic Complexing Reagent;  
Institute of Technical Chemistry UB RAS  
(branch of PFRC UB RAS)  
614013, 3, Koroleva st., Perm, Russia.  
latendresse@mail.ru

Ельчищева Юлия Борисовна,  
кандидат химических наук, доцент кафедры  
аналитической химии и экспертизы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.  
analitik1973@mail.ru

Yulia B. Elchishcheva,  
Ph.D. in Chemistry, Assistant Professor,  
Department of Analytical Chemistry and Expertise  
Perm State University  
614990 Perm State University, 15, Bukirev st.,  
Perm, Russia.  
analitik1973@mail.ru.

Юровских Екатерина Сергеевна,  
магистрант кафедры аналитической химии и  
экспертизы  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.  
ekaterina\_yurovskikh@mail.ru

Ekaterina S. Yurovskikh,  
Undergraduate, Department of Analytical  
Chemistry and Expertise  
Perm State University  
614990 Perm State University, 15, Bukirev st.,  
Perm, Russia.  
ekaterina\_yurovskikh@mail.ru

**Информация для цитирования**

Чеканова Л.Г., Заболотных С.А., Харитоновна А.В., Ельчищева Ю.Б., Юровских Е.С.  
Гидразиды разветвленных карбоновых кислот – реагенты для флотационного извлечения  
минералов цветных металлов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, вып.  
4. С. 359–370. DOI: 10.17072/2223-1838-2019-4-359-370.

Chekanova L.G., Zabolotnykh S.A., Kharitonova A.V., Elchishcheva Iu.B., Yurovskikh E.S.  
*Gidrazidy razvetvlennykh karbonovykh kislot – reagenty dlia flotatsionnogo izvlecheniia mineralov  
tsvetnykh metallov* [Branched carboxylic acids hydrazides – reagents for flotation recovery of non-ferrous  
minerals] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry.  
2019. Vol. 9. Issue 4. P. 359–370(in Russ.). DOI:10.17072/2223-1838-2019-4-359-370.