

Научная статья

УДК 543.42+035.2

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-36-44>

## Флотационное извлечение серебра из остатка выщелачивания медных огарков

Лариса Геннадьевна Чеканова, Светлана Александровна Заболотных, Вера Николаевна Ваулина

Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, Пермь, Россия

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования гидразид 2-этилгексановой кислоты («Гидразекс 18и») в качестве собирателя при извлечении серебра из остатков выщелачивания медных огарков. Изучено влияние pH пульпы, концентрации реагента и предварительной обработки остатка серной кислотой на показатели флотации. Показано улучшение характеристик флотации серебра (качества концентрата и степени извлечения) с «Гидразекс 18и» по сравнению с бутилксантогенатом натрия. Установлена принципиальная возможность обогащения бедных по серебру продуктов в кислых и щелочных средах с помощью предложенного реагента.

**Ключевые слова:** флотация; серебро; гидразид 2-этилгексановой кислоты

**Для цитирования:** Чеканова Л.Г., Заболотных С.А., Ваулина В.Н. Флотационное извлечение серебра из остатка выщелачивания медных огарков // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2022. Т. 12, № 1. С. 36–44. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-36-44>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-36-44>

## Flotation of silver from the leaching residues of copper cinders

Larisa G. Chekanova, Svetlana A. Zabolotnykh, Vera N. Vaulina

Institute of Technical Chemistry UB RAS (branch of PFRC UB RAS), Perm, Russia

**Abstract.** The possibility of using 2-ethylhexanoic acid hydrazide (Hydrasex 18i) as a collector in the silver recovery from the leaching residues of copper cinders has been considered. The effect of pulp pH, reagent concentration and pretreatment of residue with sulfuric acid on flotation performance has been studied. An improvement in silver flotation characteristics (concentrate quality and recovery) with Hydrasex 18i compared to sodium butyl xanthate has been shown. The principal possibility of enrichment of silver-poor products in acidic and alkaline media with the help of the proposed reagent has been established.

**Key words:** flotation, silver, 2-ethylhexanoic acid hydrazide

**For citation:** Chekanova, L.G., Zabolotnykh, S.A. and Vaulina, V.N. (2022) “Flotation of silver from the leaching residues of copper cinders”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 36–44. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-1-36-44>.



Серебро часто является сопутствующим металлом во многих полиметаллических (медно-никелевых, цинковых, свинцовых, урановых) рудах. В отличие от золота и металлов платиновой группы при переработке, например, медно-никелевых руд, значительная часть серебра подвергается рассеиванию по различным оборотным продуктам. К примеру, при пирометаллургической переработке серебро способно в значительной степени переходить в газовую фазу и концентрироваться на продуктах газоочистки или безвозвратно теряться [1]. Помимо этого, концентрирование серебра происходит также в нерастворимом остатке при сернокислотном выщелачивании огарков медного концентрата. Полученные продукты газоочистки и остатки выщелачивания направляют на пирометаллургическую переработку, что приводит к дополнительным потерям серебра. Для получения концентратов благородных металлов из остатков выщелачивания были опробованы методы гидро- и пирометаллургического рафинирования и ряд обогатительных способов [2–6]. Одним из методов, позволяющих не только снизить потери серебра, но и получить обогащенные им продукты, является флотация.

Возможность обогащения серебра методом флотации изучена в широком перечне работ. В качестве собирателя чаще всего применяется бутиловый ксантогенат калия (БКК) [7]. Для улучшения процесса возможно введение в пульпу дополнительных реагентов-вспенивателей (флотомасло Т-80 [8], Т-66 [9], оксипропилированные соединения [10]) или применение новых собирателей, например реагента DSP017 (смесь изобутилового дитиофосфата и тиокарбамата) [11] или дибутилдитиофосфата натрия (БТФ) [10].

В работе [12] представлены исследования флотации с бутиловым ксантогенатом калия (БКК) на богатом по серебру промпродукте (порядка 0,2 %) – остатке выщелачивания медных огарков, который образуются на комбинате «Североникель» («Кольская ГМК») по новой технологии получения меди. Установлено, что серебро лучше всего удается сконцентрировать флотацией после предварительной обработки остатка серной кислотой. Однако проведение флотации в таких условиях сопровождается очень большим расходом ксантогената из-за его разложения с выделением сероуглерода, что вызывает необходимость поиска более устойчивых и эффективных флотореагентов. В качестве альтернативы ксантогенату нами предложен гидразид 2-этилгексановой кислоты («Гидразекс18и») [13–15], имеющий умеренную устойчивость к гидролизу в кислой среде [16]. Ранее спектрофотометрическим методом были изучены процессы взаимодействия гидразида неопентановой кислоты с ионами серебра (I) в солянокислых средах [17]. Было установлено образование в растворах комплексов  $[Ag(I)] : [реагент] = 1 : 1$ . Полученные результаты позволили сделать вывод о возможности применения гидразидов карбоновых кислот в процессах флотационного извлечения серебра.

#### Экспериментальная часть

Испытания собирателя «Гидразекс 18и» проводили на технологической пробе остатка выщелачивания медных огарков (промпродукт Кольской ГМК), содержащего 0,079 % серебра [8] по следующей методике. Навеску остатка выщелачивания массой  $30 \pm 0,1$  г переносили в камеру флотомашины 189ФЛ «Механобр» (объем камеры 0,3 л; скорость вращения импеллера – 3000 об/мин). Флотацию проводили с

использованием дистиллированной воды с рН ~ 6,2,  $t = 22 \pm 2$  °С, Т/Ж = 100 г/л. Устанавливали нужное значение рН добавлением серной кислоты (100 г/л) или соды (10%), затем подавали 1%-ный водный раствор собирателя, проводили кондиционирование (1 мин), а затем флотацию (3 мин). Концентраты и камерный продукт («хвосты») обезвоживали, сушили, взвешивали и готовили для анализа. Результаты опытов, с применением «Гидразекс 18и» сравнивали с базовыми опытами с использованием бутилового ксантогената калия (БКК) производства АО «Волжский Оргсинтез» (содержание основного вещества – не менее 90 %).

Для проведения химического анализа продукты флотационных опытов сушили, взвешивали, перемешивали, истирали. Навески продукта, отобранные методом квартования, массой 0,3000–0,5000 г (для пенных) и 0,9000–1,0000 г (для камерных продуктов), помещали в конические колбы объемом 100 мл, добавляли 10 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$ , проводили разложение при нагревании на плитке до испарения кислоты. После охлаждения добавляли 50 мл 1 моль/л раствора  $\text{HNO}_3$  и количественно переносили в мерную колбу емкостью 100 мл, фильтруя взвесь через фильтр «синяя лента», и многократно промывали оставшийся на фильтре осадок водой. Содержание серебра в растворе определяли методом атомной абсорбции на спектрометре iCE 3500 (Thermo Scientific, США; программное обеспечение SOLAAR Data Station) с пламенной атомизацией (ацетилен–воздух). По данным химического анализа продуктов флотации рассчитывали технологические показатели извлечения серебра по формулам:

- содержание металла в концентрате и камерном продукте ( $M$ , %)

$$M = \frac{A_i \cdot 0,1}{1000 \cdot m_n} \cdot 100\%,$$

где  $A_i$  – содержание серебра в образце, мг/л; 0,1

– объем колбы, л;

$m_n$  – навеска образца для анализа, г;

- степень извлечения ( $E$ , %)

$$E = \frac{M \cdot m_{\text{прод}}}{m_{\text{Ag}}},$$

где  $m_{\text{прод}}$  – масса анализируемого продукта флотации (концентрата или хвостов), г;

$m_{\text{Ag}}$  – суммарная масса серебра в концентрате и камерном продукте, г.

### Обсуждение результатов

Результаты флотационных опытов представлены в таблице. Установлено, что при стандартном режиме флотации исходного остатка выщелачивания степень извлечения серебра (собиратель – БКК) (№ 1) составила 39,8% при его содержании в концентрате 0,620%, в «хвостах» – 0,047%. В условиях стандартного режима (№ 3) применение собирателя «Гидразекс 18и» значительно улучшает показатели флотации: извлечение  $\text{Ag}$  составляет 52,6% при его содержании в концентрате 0,825% и 0,038% – в камерном продукте.

На примере серии опытов № 3–8 показано влияние рН пульпы на эффективность флотации. Так, смещение значений рН среды в слабощелочную (№ 4 рН ~ 3,5–5,0; без рН регуляторов) и нейтральную область (№ 5, рН ~ 7; 1,7 кг/т соды) приводит к увеличению выхода пенного продукта, и как следствие, – повышению извлечения  $\text{Ag}$  и снижению качества концентрата.

## Результаты флотации остатков выщелачивания медного огарка\*

№	Условия проведения опытов	Продукты флотации	Выход продуктов, %	Ag	
				М, %	Е, %
1	Базовый опыт, БКК 580 г/т 40 г/т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , рН 0,6–0,9	пенный продукт	4,8	0,620	39,8
		камерный продукт	95,2	0,047	60,2
		Итого	100	0,075	100
2	БКК 580 г/т без кислоты рН 3,72	пенный продукт	5,4	0,413	26,1
		камерный продукт	94,6	0,066	73,9
		Итого	100	0,085	100
Влияние рН раствора на показатели флотации с «Гидразекс 18и»					
3	«Гидразекс 18и» 100 г/т 40 г/т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> рН 0,58	пенный продукт	4,8	0,825	52,6
		камерный продукт	95,2	0,038	47,4
		Итого	100	0,075	100
4	«Гидразекс 18и» 100 г/т без кислоты рН 3,6–4,9	пенный продукт	14,6	0,380	63,4
		камерный продукт	85,4	0,037	36,6
		Итого	100	0,085	100
5	«Гидразекс 18и» 100 г/т 1,7 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 7,2–7,3	пенный продукт	16,6	0,368	71,2
		камерный продукт	83,4	0,031	28,8
		Итого	100	0,089	100
6	«Гидразекс 18и» 100 г/т 3,7 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 7,8	пенный продукт	6,6	0,745	57,4
		камерный продукт	93,4	0,039	42,6
		Итого	100	0,085	100
7	«Гидразекс 18и» 100 г/т 9,2 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 9,8	пенный продукт	5,2	0,906	62,9
		камерный продукт	94,8	0,032	37,1
		Итого	100	0,083	100
8	«Гидразекс 18и» 100 г/т 18,4 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 10,1–10,5	пенный продукт	3,5	1,051	48,0
		камерный продукт	96,5	0,041	52,0
		Итого	100	0,077	100
Влияние концентрации «Гидразекс 18и» на показатели флотации					
9	«Гидразекс 18и» 50 г/т без добавок рН 5,2	пенный продукт	10,3	0,307	35,8
		камерный продукт	89,7	0,063	64,2
		Итого	100	0,088	100
10	«Гидразекс 18и» 50 г/т 9,2 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 9,8	пенный продукт	4,3	0,766	42,3
		камерный продукт	95,7	0,046	57,7
		Итого	100	0,077	100
11	«Гидразекс 18и» 150 г/т 9,2 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 9,8	пенный продукт	6,5	0,800	65,2
		камерный продукт	93,5	0,030	34,6
		Итого	100	0,080	100
12	«Гидразекс 18и» 50 г/т 18,4 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 10,5	пенный продукт	3,6	1,048	49,8
		камерный продукт	96,4	0,039	50,2
		Итого	100	0,075	100
13	«Гидразекс 18и» 167 г/т 18,4 кг/т Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> рН 10,4	пенный продукт	3,9	0,975	47,8
		камерный продукт	96,1	0,043	52,2
		Итого	100	0,079	100
Опыты с предварительной обработкой** остатка серной кислотой					
14	БКК 843 г/т рН 0,15	пенный продукт	9,3	0,492	61,8
		камерный продукт	90,7	0,031	38,2
		Итого	100	0,074	100
15	«Гидразекс 18и» 100 г/т рН 0,18	пенный продукт	8,1	0,531	59,5
		камерный продукт	91,9	0,032	40,5
		Итого	100	0,073	100

\*Содержание Ag, %: 0,079 по среднему значению из анализов продукта выщелачивания (6 опытов); 0,081 по среднему значению из анализов продуктов флотации (из 27 опытов); \*\*Обработку образцов проводили в конических колбах на встряхивателе LS-110 ЛАБ-ПУ-01 в 300 мл 100 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в течение 60 мин при 60 °С.

При значительном увеличении pH (№ 8, pH ~ 10,5, 18,4 кг/т соды), наоборот, уменьшается выход пенного продукта, и соответственно, снижается извлечение Ag при повышении качества концентрата.

Лучшие в этой серии результаты получены в опыте № 7 (pH ~ 9,8; 9,2 кг/т соды): извлечение Ag в концентрат составляет 62,9%, его содержание в пенном продукте и в «хвостах» – 0,906 и 0,032 %, соответственно. Следует отметить, что во всех опытах с «Гидразекс 18и» показатели флотации выше, чем в базовом опыте, при этом концентрация гидразида значительно меньше, чем БКК (100 г/т и 580 г/т соответственно). Исключение составляют опыты № 4 и 5, в которых, при более высоком (по сравнению с базовым опытом) извлечении, качество концентрата значительно хуже.

В серии опытов № 9–13 исследована зависимость эффективности флотации Ag от концентрации «Гидразекс 18и» при разных значениях pH. Результаты опытов сравнивались с соответствующими опытами из предыдущей серии при расходе реагента 100 г/т. Показано, что как увеличение (167 г/т, № 13), так и уменьшение (50 г/т, № 12) не повлияло на результаты флотации в сильнощелочной среде (№ 8). Увеличение содержания реагента до 150 г/т в щелочной среде (№ 11) также не привело к значительным изменениям (№ 7). Снижение концентрации гидразида до 50 г/т (№ 9 и 10) ухудшило показатели флотации как в слабокислой (№ 4), так и щелочной (№ 7) средах.

В опытах с предварительным выдерживанием остатка в серной кислоте показатели флотации Ag с «Гидразексом 18и» сопоставимы с полученными в базовом опыте. При этом опыт

с гидразидом проведен не в оптимальных для реагента условиях и при концентрации в 6 раз меньшей, чем БКК.

### **Выводы**

1. В условиях стандартного режима при флотации серебра из техногенного отхода – остатка выщелачивания медного огарка с «Гидразекс 18и» – повышается извлечение серебра на 12,8% и его содержание в концентрате – на 0,205% по сравнению с базовым опытом.

2. Собирательная способность гидразида 2-этилгексановой кислоты возрастает с повышением pH пульпы. Лучшие результаты получены при добавлении 9,2 кг/т соды (pH ~9,5–10,0). Извлечение Ag в концентрат составило 62,9 %, его содержание – 0,906%, в «хвостах» – 0,032% (что на 23,1, 0,286 и 0,015 % лучше соответствующих показателей для бутилксантогената калия).

3. Применение реагента позволяет при высокой степени извлечения серебра в пенный продукт снизить расход флотореагента (концентрация «Гидразекс 18и» в 6 раз меньше концентрации БКК (100 г/т и 580 г/т соответственно) и исключить выделение токсичных газов.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках государственного задания; номер государственной регистрации темы 122012100306-4.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией ИХТРЭМС КНЦ РАН А.Г. Касикову за предоставленный образец остатка выщелачивания.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

**Список источников**

1. *Кишуманева Е.С., Касиков А.Г., Дьякова Л.В., Волчек К.М., Нерадовский Ю.Н.* Поведение серебра при гидрохлоридном выщелачивании пыли никелевого производства на основе оксида никеля // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9, № 2–1. С. 319–323.
2. *Келлер В.В., Волчек К.М., Беседовский С.Г., Касиков А.Г., Нерадовский Ю.Н.* Разработка технологий получения концентратов благородных металлов из промпродуктов Кольской ГМК // Цветные металлы. 2013. № 10. С. 56–59.
3. *Гудков С.С., Дементьев В.Е., Дружина Г.Я.* Кучное выщелачивание золота и серебра. Иркутск: ОАО Иргиредмет, 2004. 352 с.
4. *Голиков В.В., Рябой В.И., Шендерович В.А., Царелунго В.А.* Испытание и применение эффективных собирателей при флотации руд, содержащих золото и серебро // Обогащение руд. 2008. № 3. С. 15–17.
5. *Самихов Ш.Р., Зинченко З.А., Бобомуродов О.М.* Разработка технологии тиомочевинного выщелачивания золота и серебра из концентратов месторождения Чоре // Цветные металлы. 2014. Т. 854, № 2. С. 62–66.
6. *Шумилова Л.В., Костикова О.С., Черкасов В.Г., Воронов Е.Т., Лимберова В.В.* Исследование реагентного режима при флотации труднообогатимых серебро-полиметаллических руд // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 1. С. 68–79. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2020-26-1-68-79>.
7. *Способ* переработки медного концентрата от флотационного разделения фанштейн: патент 2341573 РФ / Демидов К.А., Хомченко О.А., Садовская Г.И., Келлер В.В., Мальц И.Э.; патентообладатель ОАО «Кольская горно-металлургическая компания». – № 2007111075/02; заявл. 26.03.2007; опубл. 20.12.2008, бюл. 35. – 7 с.
8. *Гейхман В.В.* Эффективность применения флотации при переработке цинковых кеков // Цветные металлы. 2000. №5. С. 32–34.
9. *Способ* обогащения шламов электролиза никеля и других продуктов, содержащих платиновые металлы, золото и серебро: патент 2276195 РФ / Грейвер Т.Н., Волков Л.В., Шнеерсон Я.М., Ласточкина М.А., Глазунова Г.В., Гончаров П.А., Позднякова Н.Н., Клементенок М.А., Вергизова Т.В., Тер-Оганесянц А.К., Анисимова Н.Н.; патентообладатель ОАО «Институт Гипроникель». – № 2004126478/02; заявл. 31.08.2004; опубл. 10.05.2006, бюл. 13. – 6 с.
10. *Способ* переработки упорных урановых содержащих пирит и благородные металлы материалов для извлечения урана и получения концентрата благородных металлов: патент 2398903 РФ / Шаталов В.В., Курков А.В., Никонов В.И., Болдырев В.А., Смирнов К.М., Пастухова И.В., Меньшиков Ю.А., Гущина Р.П.; патентообладатели Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», ОАО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии». – № 2009111773/02; заявл. 30.03.2009; опубл. 10.09.2010, бюл. 25. – 16 с.

11. *Способ* переработки сульфидно-окисленных медных руд с извлечением меди и серебра: патент 2439177 РФ / Адамов Э.В., Крылова Л.Н., Канарский А.В., Рябцев Д.А.; патентообладатель ФГАОУ ВПО «НИУ «МИСиС». – № 2009146021/02; заявл. 14.12. 2009; опубл. 10.01. 2012, бюл. 1. – 8 с.

12. *Касиков А.Г., Волчек К.М., Михеева И.А.* Получение концентратов серебра из промежуточных продуктов АО "Кольская ГМК" // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. Т. 31, № 5. С. 133–136.

13. *Радушев А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю.* Гидразиды и 1,2-диацилгидразины. Получение, свойства, применение в процессах концентрирования металлов. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 142 с.

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. № 8. С. 488–492.

15. *Чеканова Л.Г., Заболотных С.А., Харитонов 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. 359–371. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2019-4-359-370>.

16. *Галкин Д.С., Ельчищева Ю.Б., Чеканова Л.Г.* Физико-химические свойства гидразида 2-этилгексановой кислоты // Современные аспекты химии: материалы VIII молодежной школы-конференции. ПГНИУ, 2021. С. 26–30.

17. *Бардина Е.С., Ельчищева Ю.Б., Чеканова Л.Г., Максимов А.С.* Исследование комплексообразования гидразида неопентановой кислоты с ионами цветных металлов // Вестник Пермского университета. Серия Химия. 2020. Т. 10, № 2. С. 143–149. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-2-143-149>.

#### Информация об авторах

**Лариса Геннадьевна Чеканова**, кандидат химических наук, доцент, заведующий лабораторией органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), [larchek.07@mail.ru](mailto:larchek.07@mail.ru)

**Светлана Александровна Заболотных**, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), [zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

**Вера Николаевна Ваулина**, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), [tveran79@mail.ru](mailto:tveran79@mail.ru)

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 7 февраля 2022 г.; одобрена 17 февраля 2022 г.; принята к публикации 21 февраля 2022 г.

#### References

1. Kshumaneva, E.S., Kasikov, A.G., Dyakova, L.V., Volchek, K.M. and Neradovsky, Yu.N. (2018) “Silver behavior features in hydrochloride leaching of materials of copper-nickel production based on nickel

oxide”, *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, vol. 9, no. 2–1, pp. 319–323 (in Russ.).

2. Keller, V.V., Volchek, K.M., Besedovskiy, S.G., Kasikov, A.G. and Neradovskiy, Yu.N. (2013), “Development of technologies of obtaining of noble metal concentrates from industrial products of Kola Mining and Metallurgical Company”, *Tsvetnye Metally*, no. 10, pp. 56–59 (in Russ.).

3. Gudkov, S.S., Dementiev, V.E. and Druzina, G.Ya. (2004) *Kuchnoye vyshchelachivaniye zolota i serebra* [Heap leaching of gold and silver], OAO Irgiredmet, Irkutsk (in Russ.).

4. Golikov, V.V., Ryaboi, V.I., Shenderovich, V.A. and Tsarelungo V.A. (2008) Ispytaniyei primeneniye effektivnykh sobirateley pri flotatsii rud, sodержashchikh zoloto i srebro [Testing and application of effective collectors in the flotation of ores containing gold and silver], *Obogashcheniye rud*, no. 3, pp. 15–17 (in Russ.).

5. Samikhov, Sh.R., Zinchenko, Z.A. and Bobomurodov, O.M. (2014), “Development of technology of thiourea leaching of gold and silver from Chore deposit concentrates”, *Tsvetnye Metally*, vol. 854, no. 2, pp. 62–66 (in Russ.).

6. Shumilova, L.V., Kostikova, O.S., Cherkasov, V.G., Voronov, E.T. and Limberova V.V. (2020), “Research of the reagent mode during refractory silver-polymetallic ores flotation”, *Bulletin of the Transbaikalian State University*, vol. 26, no. 1, pp. 68–79 (in Russ.).

7. Demidov, K.A., Khomchenko, O.A., Sadovskaya, G.I., Keller, V.V. and Malts, I.E. (2008) *Sposob pererabotki mednogo kontsentrata ot flotatsionnogo razdeleniya faynshteyn* [Method for processing copper concentrate from matte flotation separation], Russia, RU, Pat. 2341573 (in Russ.).

8. Geikhman, V.V. (2000) Effektivnost' primeneniya flotatsii pri pererabotke tsinkovy khkekov [Efficiency of flotation in the processing of zinc cakes], *Tsvetnye Metally*, no. 5, pp. 32–34 (in Russ.).

9. Grejver, T.N., Volkov, L.V., Shneerson, J.M., Lastochkina, M.A., Glazunova, G.V., Goncharov, P.A., Pozdnjakova, N.N., Klementenok, M.A., Vergizova, T.V., Ter-Oganesjants, A.K. and Anisimova, N.N. (2006) *Sposob obogashcheniya shlamov elektroliza nikelya i drugikh produktov, sodержashchikh platino-vyye metally, zoloto i srebro* [Method for enrichment of slurries from nickel electrolysis and other products containing platinum metals, gold and silver], Russia, RU, Pat. 2276195 (in Russ.).

10. Shatalov, V.V., Kurkov, A.V., Nikonov, V.I., Boldyrev, V.A., Smirnov, K.M., Pastukhova, I.V., Men'shikov, J.A. and Gushchina, R.P. (2010) *Sposob pererabotki upornykh uranovykh sodержashchikh pirit i blagorodnyye metally materialov dlya izvlecheniya urana i polucheniya kontsentrata blagorodnykh metallov* [Procedure for processing persistent uranium containing pyrite and valuable materials for extraction of uranium and production of concentrate of valuable metals], Russia, RU, Pat. 2398903 (in Russ.).

11. Adamov, E.V., Krylova, L.N., Kanarskiy, A.V. and Rjabtsev D.A. (2012) *Sposob pererabotki sul'fidno-okislennykh mednykh rud s izvlecheniyem medi i serebra* [Processing method of sulphide-oxidated copper ores with copper and silver extraction], Russia, RU, Pat. 2439177 (in Russ.).

12. Kasikov, A.G., Volchek, K.M. and Mikheeva, I.A. (2015), “Producing of silver concentrates from intermediate products of Kola mining metallurgic company”, *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, vol. 31, no. 5, pp. 133–136 (in Russ.).

13. Radushev, A.V., Chekanova, L.G. and Gusev, V.Yu. (2010) *Gidrazidy 1,2-diatsilgidraziny. Polucheniye, svoystva, primeneniye v protsessakh kontsentrirvaniya metallov* [Hydrazides and 1, 2-diacylhydrazines. Obtaining, properties, application in the processes of concentration of metals], Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg (in Russian).

14. Timoshenko, L.I., Chekanova, L.G., Markosyan, S.M. and Baigacheva, E.V. (2014) Reagenty klassa gidrazidov dlya flotatsionnogo obogashcheniya vkraplennykh medno-nikelevykh rud [Hydrazide class reagents for flotation enrichment of disseminated copper-nickel ores], *Khimicheskaya Tekhnologiya*, no. 8, pp. 488–492 (in Russ.).

15. Chekanova, L.G., Zabolotnykh, S.A., Kharitonova, A.V., Elchishcheva, Yu.B. and Yurovskikh, E.S. (2019), “Branched carboxylic acids hydrazides – reagents for flotation recovery of non-ferrous minerals”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 4, pp. 359–371 (in Russ.).

16. Galkin, D.S., Elchishcheva, Yu.B. and Chekanova, L.G. (2021) Physico-chemical properties of hydrazide 2-ethylhexanoic acid. In: *Modern aspects of chemistry: materials of the VIII youth school-conference*. Perm State University, pp. 26–30 (in Russ.).

17. Bardina E.S., Elchishcheva, Yu.B., Chekanova, L.G., Maksimov, A.S. (2020), “Research of the complex formation of neopentanic acid hydrazide with non-ferrous metal ions”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 143–149 (in Russ.).

#### Information about the authors

**Larisa G. Chekanova**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry UB RAS – branch of PFRC UB RAS (3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013), larchek.07@mail.ru

**Svetlana A. Zabolotnykh**, Candidate of Chemistry Sciences, Researcher, Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry UB RAS – branch of PFRC UB RAS (3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013), zabolotsveta@mail.ru

**Vera N. Vaulina**, Candidate of Chemistry Sciences, Researcher, Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry UB RAS – branch of PFRC UB RAS (3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013), tveran79@mail.ru

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 07 February 2022; approved after reviewing 17 February 2022; accepted 21 February 2022*