

# ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОБИРАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ПЕННОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ

В.В. Морозов<sup>1</sup>, С.П. Лезова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: dchmggu@mail.ru

**Аннотация:** Повышение показателей процесса пенной сепарации алмазосодержащего сырья возможно за счет применения эффективных собирателей. Результатами исследований показано, что эффективные компаундные собиратели для пенной сепарации алмазов могут быть получены смешиванием различных нефтепродуктов и нефти при выдерживании определенных соотношений между базовыми фракциями легких дистиллятов, нефтяных масел, смол и асфальтенов. Для изучения активности компаундных собирателей были подготовлены композиции путем смешивания мазута флотского и активированной водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-У и рудника «Интернациональный» ВНЭ-10 в различных соотношениях и были выполнены флотационные опыты с использованием их в качестве реагента-собирателя. Наибольшее извлечение алмазов в концентрат пенной сепарации наблюдается при массовой доле легких дистиллятов 35—48%, нефтяных масел — 32—40% и смолы и асфальтенов — 17—24%. Близкий к оптимальному фракционный состав компаундного собирателя и высокое извлечение алмазов в пенной сепарации достигается при смешивании дизельного топлива, флотского мазута и водонефтяных эмульсий. Достигнутый уровень извлечения алмазов в операции пенной сепарации при использовании компаундного собирателя на основе водонефтяных эмульсий и дизельного топлива превышает на 1,1—1,5% уровень извлечения, достигаемого при использовании в качестве собирателя мазута флотского Ф-5. Полученные результаты позволяют рекомендовать компаундные собиратели предложенного фракционного состава для полноценного извлечения мелких классов алмазов из алмазосодержащих кимберлитов методом пенной сепарации.

**Ключевые слова:** пенная сепарация, алмазы, компаундные собиратели, водонефтяные эмульсии, флотский мазут, дизельное топливо, фракции.

**Для цитирования:** Морозов В. В., Лезова С. П. Применение комбинированных собирателей на основе нефтепродуктов для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 137–146. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-137-146.

## Compound collectors based on oil products for frother separation of diamond-bearing kimberlites

V.V. Morozov<sup>1</sup>, S.P. Lezova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia, e-mail: dchmggu@mail.ru

---

**Abstract:** Performance of frother separation of diamond-bearing ore can be enhanced through the use of effective collectors. The research findings show that such compound collectors for frother separation of diamonds can be produced from mixing of oil products and oil at certain ratios maintained between the main fractions of light distillates, petroleum oils, resins and asphaltenes. For the activity tests of compound collectors, bunker oil and activated water-in-oil emulsions WOE-U and WOE-10 from Udachny and Internatsionalny mines, respectively, were mixed at various ratios and were used in the tests as collecting agents. The highest diamond recovery in the frother separation concentrates is achieved when the mass fractions of light distillates is 35–48%, petroleum oils—32–40%, and resin and asphaltenes—17–24%. A nearly optimal fractional makeup of a compound collector and the higher diamond recovery is obtained in frother separation with a mix of diesel fuel, bunker oil and water-in-oil emulsions. The resultant diamond concentration after frother separation with the WOE–diesel fuel compound collector exceeds the diamond recovery with bunker oil F-5 by 1.1–1.5%. The test results allow recommending the compound collectors of the proposed fractional makeup for the efficient frother separation of fine diamonds from diamond-bearing kimberlites.

**Key words:** frother separation, diamonds, compound collectors, water-in-oil emulsion, bunker oil, diesel fuel, fractions.

**For citation:** Morozov V. V., Lezova S. P. Compound collectors based on oil products for frother separation of diamond-bearing kimberlites. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):137-146. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-137-146.

---

## Введение

Процесс пенной сепарации является практически единственным эффективным процессом при извлечении технических алмазов классов крупности менее 1 мм [1, 2]. При пенной сепарации алмазов на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» в качестве собирателей обычно используются различные нефтепродукты, включая мазут флотский Ф5 и смеси на его основе [3, 4]. Положительные результаты были достигнуты при использовании в процессе пенной сепарации смеси мазута флотского и активированных водонефтяных эмульсий [5, 6].

Проведенными исследованиями было показано, что наилучшие результаты достигаются при определенном соотношении смешиваемых фракций, которое непостоянно вследствие варьирования состава как мазута флотского, так и водонефтяных эмульсий [7]. Изменение

состава компонентов собирателя ведет к ухудшению показателей процесса пенной сепарации.

Однако ухудшение показателей наблюдается при регламентных расходах и соотношениях компонентов вследствие изменения собственного фракционного состава этих компонентов. Для выбора наиболее эффективных составов компаундных собирателей необходимо применить новый подход, рассматривающий смесь нефтепродуктов переменного состава как смесь фракций с постоянными свойствами [8]. При изучении влияния состава компаундных собирателей на их эффективность ставилась задача определить оптимальные соотношения выбранных основных нефтепродуктов, которые обеспечивают необходимое соотношение в собирателе базовых фракций и максимальную собирательную способность получаемых композиций [9, 10].

### **Методика исследований**

Для изучения флотации алмазов применяется метод беспенной флотации в трубке Халлимонда с диспергатором воздуха в виде фильтра Шотта, который позволяет получить пузырьки размером до 3 мм и сфлотировать относительно крупные кристаллы алмаза (до 1,0 мм).

Для проведения опытов подготавливалась навеска технических алмазов крупностью +0,44–1,0 мм. Навеска загружалась в приспособление для обработки собирателем с вертикальной мешалкой. При обработке минералов поддерживалась плотность 5% твердого, что позволяло избежать механического воздействия мешалки на алмаз и поддерживать постоянную концентрацию реагентов.

Исходные реагенты (собиратели) приготавливались путем эмульгирования смеси используемых нефтепродуктов в воде в ультразвуковой ванне.

Для проверки разработанных реагентных режимов использовалась лабораторная установка пенной сепарации. Установка включала узлы для подготовки исходного питания, включая операции оттирки и обесшламливания, агитации навески с реагентами и пенной сепарации.

Перед проведением экспериментов в безалмазную навеску руды добавляли кристаллы алмазов, воду в соотношении Ж:Т – 0,5:1 и необходимые реагенты.

Перемешивание (кондиционирование) материала с реагентами осуществляли в спиральном кондиционере при низких скоростях вращения мешалки. Подготовленный материал обогащали на пенном сепараторе в одну стадию. Алмазы из концентратов для расчета показателей сепарации извлекали после химического растворения большей части минералов вручную под ультрафиолетом.

### **Результаты исследований состава и свойств компаундных собирателей**

Применяемые при пенной сепарации алмазов компаундные собиратели, как и другие нефтепродукты, можно представить в виде композиции трех основных фракций: 1 – дистиллятов легких, 2 – нефтяных масел, 3 – смол и асфальтенов.

Фракция «Дистиллят легкий» представляет собой прямогонную фракцию, состоящую преимущественно из смеси предельных углеводородов длиной радикала  $C_3 - C_8$  с температурой кипения менее  $300^\circ C$  [11]. Фракция «Нефтяные масла» состоит из смеси высокомолекулярных углеводородов с температурой кипения  $300-600^\circ C$ , главным образом, алкилнафтоновых и алкилароматических [12]. Фракция «Смолисто-асфальтеновые соединения» содержит полициклоароматические углеводороды и имеет температуру кипения более  $600^\circ C$  [12]. Эти вещества наиболее склонны к межмолекулярным и коагуляционным контактам и обеспечивают в наибольшей степени собирательные свойства смеси нефтепродуктов [13]. Смолисто-асфальтеновые соединения образуют с нефтепродуктами первых двух фракций относительно устойчивые гомогенные и гетерогенные системы [14].

Применение компаундных реагентов с использованием нефтепродуктов, образующих коллоидно-дисперсную систему применяется при флотации многих типов рудного и неметаллического сырья [15, 16]. Наилучшие результаты при флотации углей, алмазов и иного сырья достигаются при растворении смолисто-асфальтеновых соединений в углеводородах низкомолекулярных фракций, предпочтительнее в легких дистиллятах [17, 18].

Для разработки нового подхода к выбору оптимального состава компаунд-

Таблица 1

**Групповой компонентный состав органической фазы водонефтяной эмульсии рудника «Интернациональный» и «Удачный», дизельного топлива (летнего), мазутов М-40 и Ф-5, их композиций**

**Group composition of organic phase of water-in-oil emulsions from Internatsionalny and Udachny mines, diesel fuel (summer), bunker oils M-40 and F-5 and their combinations**

Наименование нефтепродукта	Средняя массовая доля, %			
	легкие дистилляты	нефтяные масла	смолы и асфальтены	итого
Водонефтяная эмульсия рудника «Интернациональный» ВНЭ-10	33,5	37,7	28,8	100,0
Водонефтяная эмульсия рудника «Удачный» ВНЭ-У	10,6	43,6	45,8	100,0
Дизельное топливо ДТ (летнее)	83,4	16,5	0,1	100,0
Мазут М40	12,3	53,4	34,3	100,0
Мазут флотский Ф5	40,7	37,7	19,6	100,0
<b>Компаундные собиратели</b>				
ВНЭ-10 (50%) и Ф5 (50%)	38,8	37,5	23,7	100,0
ВНЭ-У (10%) и Ф5 (90%)	37,7	39,1	23,2	100,0
ВНЭ-10 (85%) и ДТ (15%)	42,7	34,5	22,8	100,0
ВНЭ-У (50%) и ДТ (50%)	46,9	30,1	23,0	100,0

ных собирателей был изучен фракционный состав реагентов, применяемых для пенной сепарации алмазов. Полученные результаты исследования компонентного состава органической фазы водонефтяных эмульсий и мазута флотского Ф5 показали, что изученные продукты существенно отличаются друг от друга по массовым долям легких дистиллятов, а также смол и асфальтенов (табл. 1).

Анализ состава исследованных нефтепродуктов показал, что водонефтяная эмульсия рудника «Удачный» ВНЭ-У характеризуется максимальной долей смол и асфальтенов (45,8%), что характеризует ее как «тяжелую» нефть [12]. Водонефтяная эмульсия рудника «Интернациональный» ВНЭ-10 содержит существенно меньше смол и асфальтенов (28,8%) что характеризует ее как среднюю нефть. Мазут флотский Ф-5, поставляемый на обогатительные фаб-

рики АК «АЛРОСА», представляет собой разбавленную дизельным топливом (на 35–40%, в заводских условиях) мазутную фракцию М40. Массовая доля смол и асфальтенов в мазуте флотском Ф-5 относительно небольшая и не превышает 21% [14].

#### **Результаты исследований пенной сепарации с применением компаундных собирателей**

Для изучения активности компаундных собирателей были подготовлены композиции путем смешивания мазута флотского и активированной водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-У и рудника «Интернациональный» ВНЭ-10 в различных соотношениях и были выполнены флотационные опыты с использованием их в качестве реагента-собирателя. Результаты проведенных экспериментов, представленные на рис. 1, показывают, что наибольшее извлечение

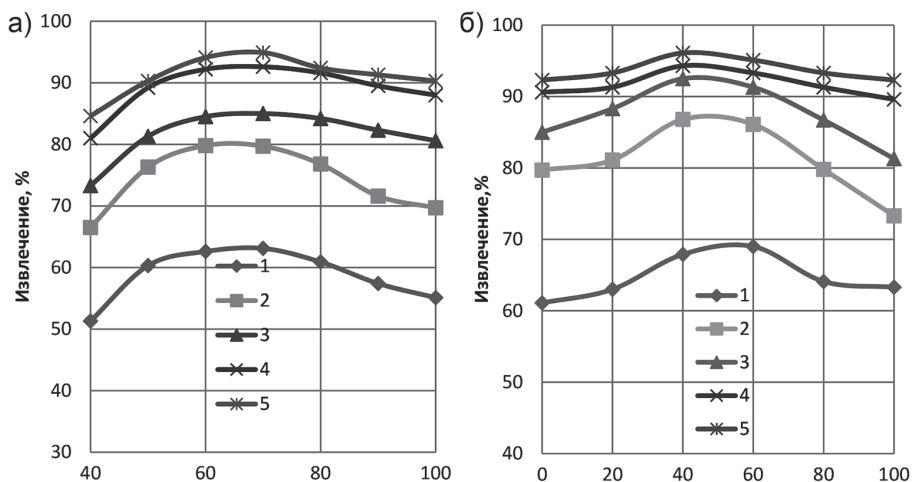


Рис. 1. Зависимости извлечения алмазов при пенной separации от соотношения компонентов в компандном собирателе из М-40 и ДТ (а) и ВНЭ-10 и Ф5 (б). Расходы собирателя: 1 – 125 г/т; 2 – 325 г/т; 3 – 650 г/т; 4 – 875 г/т; 5 – 1050 г/т

Fig. 1. Diamond frother separation efficiency versus mixture ratio of compound collector: (a) M-40 and diesel fuel; (b) WOE-10 and F5. Collector consumption range: 1–125 g/t; 2 – 325 g/t; 3 – 650 g/t; 4 – 875 g/t; 5 – 1050 g/t

алмазов в концентрат достигается при определенных соотношениях смешиваемых компонентов.

Полученные результаты показывают, что наибольшее извлечение алмазов в концентрат пенной separации наблю-

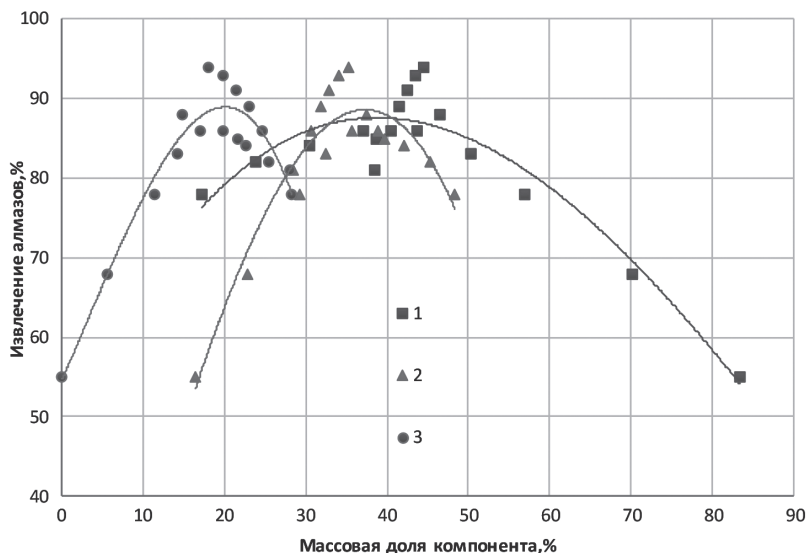


Рис. 2. Зависимости извлечения алмазов от массовой доли фракций собирателя при суммарном расходе 650 г/т при использовании композиций М-40 и ДТ (флотский мазут Ф5) и ВНЭ-10 и Ф5: 1 – легкие дистилляты; 2 – нефтяные масла; 3 – смолы и асфальтены

Fig. 2. Diamond recovery versus mass fractions of collector components at total collector consumption of 650 g/t in case of M-40–F5 and WOE-10–F5 mixtures (F – bunker oil): 1 – light distillates; 2 – petroleum oil; 3 – resins and asphaltene

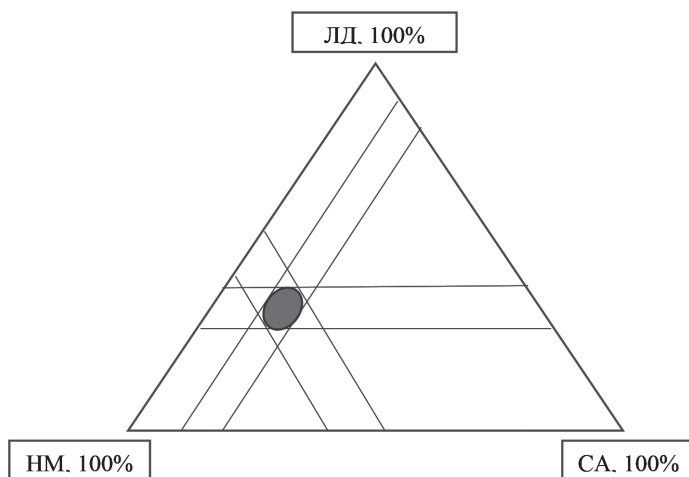


Рис. 3. Диаграмма трехфракционного состава компаундного собирателя: ЛД — легкие дистилляты; НМ — нефтяные масла; СА — смолы и асфальтены; ● — область оптимальных соотношений массовых долей нефтяных фракций

Fig. 3. Constitution diagram of three-fraction compound collector: LD — light distillates; PO — petroleum oil; R — resins and asphaltene; ● — optimized ratio domain of mass fractions of oil components

дается при определенной массовой доле низкомолекулярных фракций (легких дистиллятов, 35–48%), среднемолекулярных (нефтяных масел, 32–40%) и высокомолекулярных (смолы и асфальтены, 17–24%) фракций нефтепродуктов (рис. 2).

Область оптимальных соотношений массовых долей нефтяных фракций в компаундном собирателе представлена на тройной диаграмме на рис. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что область оптимальных соотношений относительно невелика, что указывает на вероятное проявление в этой области синергетических явлений, которые заключаются в специфической организации коллоидно-дисперсной структуры компаундного собирателя, обеспечивающей проявления его наилучших технологических свойств.

Возможность получения компаундного собирателя заданного состава определяется фракционным составом исходной нефти или нефтепродуктов, в первую очередь исходной долей обоз-

наченных базовых фракций в каждом из них.

Оптимальное соотношение фракций компаундного собирателя было достигнуто путем смешивания различных нефтепродуктов и водонефтяных эмульсий — продуктов первичной переработки природной нефти [6]. Наилучшие результаты достигаются при смешивании водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-У (7,5–12,5%) и мазута флотского Ф5 (87,5–92,5%), а также при смешивании водонефтяной эмульсии и рудника «Интернациональный» ВНЭ-10 (40–54%) и мазута флотского Ф5 (46–60%) [7]. При расходе компаундного собирателя 760–950 г/т и указанном соотношении компонентов удастся повысить извлечение алмазов на 3,4–3,9%.

Близкое к оптимальному соотношение нефтяных фракций в компаундном собирателе также может быть достигнуто при смешивании водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-У (35%) и дизельного топлива ДТ (65%)

Таблица 2

**Результаты флотации алмазов при использовании водонефтяных эмульсий и компаундных собирателей**  
**Diamond flotation results with water-in-oil emulsions and compound collectors**

Собиратель	Извлечение алмазов, % при расходе собирателя, г/т			
	600	700	800	900
Водонефтяная эмульсия рудника «Интернациональный» ВНЭ-10	77,3	79,5	81,5	83,0
Водонефтяная эмульсия рудника «Удачный» ВНЭ-У	70,6	74,2	76,1	76,2
<b>Компаундные собиратели</b>				
Мазут флотский Ф5 (М40+ ДТ)	80,7	82,5	83,6	84,5
ВНЭ-10 (50%) и Ф5 (50%)	82,3	83,4	85,5	86,0
ВНЭ-У (10%) и Ф5 (90%)	78,5	81,5	83,3	84,3
ВНЭ-10 (85%) и ДТ (15%)	81,5	83,5	85,4	85,8
ВНЭ-У (50%) и ДТ (50%)	79,7	82,5	83,8	84,8

или при смешивании водонефтяной эмульсии рудника «Удачный» ВНЭ-10 (85%) и дизельного топлива ДТ (15%) [19]. Такие композиции позволяют в большей мере использовать недорогое местное сырье (водонефтяные эмульсии), являющееся попутным продуктом алмазодобычи.

### **Опытная апробация.**

#### **Обсуждение результатов**

Полученные результаты лабораторных исследований позволяют рекомендовать разработанные и проверенные в лаборатории составы компаундных собирателей для апробации в полупромышленных условиях. Такая проверка проводилась в Мирнинском политехническом институте СВФУ, г. Мирный. Полученные результаты укрупненных испытаний, проведенных на стендовой установке пенной сепарации, подтвердили эффективность выбранных составов собирателей. Было показано, что компаундные собиратели на основе водонефтяных эмульсий и ДТ позволяют достичь хороших результатов, сравнимых с результатами применения ранее

апробированных собирателей на основе водонефтяных эмульсий и мазута флотского Ф5 (табл. 2). Так, извлечение алмазов в концентрат при использовании ВНЭ-10 (85%) и ДТ (15%) было на 2,8–3% выше, чем при использовании активированной ВНЭ-10 и находится на уровне смеси ВНЭ-10 и Ф-5.

Извлечение алмазов в концентрат при использовании ВНЭ-У (50%) и ДТ (50%) на 6,8–8,1% выше, чем при использовании активированной ВНЭ-У и на 1,1–1,5% выше, чем при использовании Ф-5 (табл. 2). Таким образом, при использовании компаундных собирателей выбранного фракционного состава достигается увеличение извлечения алмазов, превышающее аналогичное значение, получаемое с использованием мазута флотского Ф-5 или водонефтяных эмульсий.

Полученные результаты позволяют рекомендовать компаундные собиратели предложенного фракционного состава для полноценного извлечения мелких классов алмазов из алмазосодержащих кимберлитов методом пенной сепарации.



## Выводы

Проведенными исследованиями было показано, что наилучшие результаты пенной сепарации алмазосодержащего сырья достигаются при определенном соотношении нефтяных фракций в компаундном собирателе.

Установлено, что эффективные компаундные собиратели для пенной сепарации алмазов требуемого фракционного состава могут быть получены смешиванием различных нефтепродуктов и водонефтяных эмульсий при выдерживании заданных соотношений между базовыми фракциями легких дистиллятов, нефтяных масел, смол и асфальтенов.

Наибольшее извлечение алмазов в концентрат пенной сепарации наблюда-

ется при массовой доле легких дистиллятов 35–48%, нефтяных масел — 32–40% и смолы и асфальтенов — 17–24%.

Близкий к оптимальному состав компаундного собирателя достигается при смешивании водонефтяных эмульсий рудников «Удачный» и «Интернациональный» как с мазутом флотским Ф5, так и с дизельным топливом.

При использовании компаундных собирателей оптимального фракционного состава достигнуто повышение извлечения алмазов на 1,1–1,5% относительно режима с использованием мазута флотского Ф-5, что позволяет рекомендовать разработанные составы собирателя для эффективного извлечения мелких классов алмазов методом пенной сепарации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chanturiya V.A.* Innovation-based processes of integrated and high-level processing of natural and technogenic minerals in Russia / Innovative Technologies Are Key to Successful Mineral Processing. Book of Abstracts. Proceedings of 29th International Mineral Processing Congress. Moscow, 2018. Pp. 2–4.

2. *Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Островская Г. Х., Коваленко Е. Г.* Эффективность применения процесса пенной сепарации на фабриках АК «АЛРОСА» за счет активации реагентов-собирателей // Горный журнал. — 2010. — № 7. — С. 72–74.

3. *Злобин М. Н.* Технология крупнозернистой флотации при обогащении алмазосодержащих руд // Горный журнал. — 2011. — № 1. — С. 87–89.

4. *Верхотуров М. В., Амелин С. А., Коннова Н. И.* Обогащение алмазов // Международный журнал экспериментального образования. — 2012. — № 2. — С. 61.

5. *Махрачев А. Ф., Двойченкова Г. П., Лезова С. П.* Исследование и оптимизация состава компаундных собирателей для пенной сепарации алмазов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 11. — С. 178–185. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-178-185.

6. *Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Островская Г. Х., Махрачев А. Ф., Ковальчук О. Е.* Модифицирование свойств и экспериментальная апробация водонефтяных эмульсий в качестве реагентов-собирателей для процесса пенной сепарации алмазосодержащего сырья // Руды и металлы. — 2013. — № 5. — С. 58–64.

7. *Махрачев А. Ф., Двойченкова Г. П., Лезова С. П.* Исследование и применение компаундных собирателей для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов / Материалы международного совещания «Плаксинские чтения-2018». — М., 2018. — С. 69–71.

8. *Liu L., Cheng G., Yu W., Yang C.* Flotation collector preparation and evaluation of oil shale // Oil Shale. 2018. Vol. 35. No. 3. Pp. 242–25.

9. *Вахонина Т. Е., Клейн М. С.* Перспективы использования отработанных минеральных масел для производства флотореагентов / Современные тенденции и инновации в науке и производстве. Материалы IV международной научно-практической конференции. — Кемерово, 2015. — С. 112–113.



10. Степанова М. Н. Органические реагенты во флотации: учебное пособие. — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. — 53 с.
11. Speight J. G. The chemistry and technology of petroleum. 2014, CRC Press. 953 p.
12. ГОСТ 26098-84. Нефтепродукты. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. — М.: Стандартинформ, 2010. — 96 с.
13. Кузина З. П., Мин Р. С., Самойлов В. Г. Сернисто-ароматические концентраты нефти — эффективные аполиарные реагенты / Тезисы доклада 2-го конгресса обогатителей стран СНГ. — М.: Альтекс, 1999. — С. 62.
14. Treese S. A., Pujado P. R., Jones D. S. J. Handbook of petroleum processing. 2nd edition, Springer, 2015, 1913 p.
15. Морозов В. В., Пестряк И. В., Эрдэнэзуул Ж. Влияние концентрации неионогенного собирателя — аллилового эфира амилксантогеновой кислоты на флотацию медно-молибденовых руд // Цветные металлы. — 2018. — № 11. — С. 14–20.
16. Петухов В. Н., Скоробогатова А. А., Ильясова А. З. Исследование флотационной активности реагентов-собирателей различного группового химического состава при флотации углей // Теория и технология металлургического производства. — 2017. — № 1. — С. 16–19.
17. Zhanga J., Kouznetsov D. L., Yu M., Rylatt M., Yoon R. H. Improving the separation of diamond from gangue minerals // Minerals Engineering. 2012. Vol. 36–38. Pp. 168–171.
18. Kasomo R. M., Ombiro S., Rop B., Mutua N. M. Investigation and comparison of emulsified diesel oil and flomin C 9202 as a collector in the beneficiation of ultra-fine coal by aggro-flotation // International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering. 2018. Vol. 6. No 4. Pp. 74–80.
19. Морозов В. В., Лезова С. П. Оптимизация состава компандных собирателей для пенной сепарации алмазосодержащих кимберлитов / Тезисы XXV Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». — Екатеринбург, 2020. — С. 33–36. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Chanturiya V. A. Innovation-based processes of integrated and high-level processing of natural and technogenic minerals in Russia. *Innovative Technologies Are Key to Successful Mineral Processing. Book of Abstracts. Proceedings of 29th International Mineral Processing Congress*. Moscow, 2018. Pp. 2–4.
2. Chanturia V. A., Dvoichenkova G. P., Ostrovskaya G. H., Kovalenko E. G. Efficiency of application of the foam separation process at ALROSA factories due to activation of reagents-collectors. *Gornyi Zhurnal*. 2010, no 7, pp. 72–74. [In Russ].
3. Zlobin M. N. Technology of coarse-grained flotation in the enrichment of diamond-containing ores. *Gornyi Zhurnal*. 2011, no 1, pp. 87–89. [In Russ].
4. Verkhoturov M. V., Amelin S. A., Konnova N. I. Diamond enrichment. *International Journal of Experimental Education*. 2012, no 2, pp. 61. [In Russ].
5. Makhachev A. F., Dvoychenkova G. P., Lezova S. P. Analysis and optimization of compositions of compound collectors for frother separation of diamonds. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 11, pp. 178–185. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-178-185.
6. Chanturia V. A., Dvoichenkova G. P., Ostrovskaya G. H., Makhachev A. F., Kovalchuk O. E. Modification of properties and experimental approbation of water-oil emulsions as collecting reagents for the process of foam separation of diamond-containing raw materials. *Rudy i metally*. 2013, no 5, pp. 58–64. [In Russ].
7. Makhachev A. F., Dvoichenkova G. P., Lezova S. P. Research and application of compound collectors for foam separation of diamond-containing kimberlites. *Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya «Plaksinskie chteniya-2018»* [Proceedings of International Meeting Plaksin's Lectures-2018], Moscow, 2018, pp. 69–71. [In Russ].

8. Liu L., Cheng G., Yu W., Yang C. Flotation collector preparation and evaluation of oil shale. *Oil Shale*. 2018. Vol. 35. No. 3. Pp. 242–25.

9. Vakhonina T.E. Klein M.S. Prospects for the use of spent mineral oils for the production of flotation reagents. *Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve. Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern trends and innovations in science and production Materials of the IV international scientific and practical conference], Kemerovo, 2015, pp. 112–113. [In Russ].

10. Stepanova M.N. *Organicheskie reagenty vo flotatsii: uchebnoe posobie* [Organic reagents in flotation, Educational aid], Perm, Izd-vo PGU, 2009, 53 p.

11. Speight J.G. *The chemistry and technology of petroleum*. 2014, CRC Press. 953 p.

12. *Nefteprodukty. Terminy i opredeleniya. GOST 26098-84*. [Petroleum products. Terms and definitions. State standard 26098-84], Moscow, Standardinform, 2010, 96 p.

13. Kuzina Z.P., Min R.S., Samoylov V.G. Sulfur-aromatic oil concentrates-effective apolar reagents. *Tezisy doklada 2-go kongressa obogatiteley stran SNG* [Theses of report of the 2nd Congress of CIS concentrators], Moscow, Al'teks, 1999, pp. 62. [In Russ].

14. Treese S.A., Pujado P.R., Jones D.S.J. *Handbook of petroleum processing*. 2nd edition, Springer, 2015, 1913 p.

15. Morozov V.V. Pestryak I.V., Erdenezul Zh. Influence of the concentration of a non-ionic collector – allyl ether of amyloxanthogenic acid on the flotation of copper-molybdenum ores. *Tsvetnye metally*. 2018, no 11, pp. 14–20. [In Russ].

16. Petukhov V.N., Skorobogatova A.A., Ilyasova A.Z. Research of flotation activity of reagents-collectors of various group chemical composition during coal flotation. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. 2017, no 1, pp. 16–19. [In Russ].

17. Zhanga J., Kouznetsov D.L., Yu M., Rylatt M., Yoon R.H. Improving the separation of diamond from gangue minerals. *Minerals Engineering*. 2012. Vol. 36–38. Pp. 168–171.

18. Kasomo R.M., Ombiro S., Rop B., Mutua N.M. Investigation and comparison of emulsified diesel oil and flomin C 9202 as a collector in the beneficiation of ultra-fine coal by agglomeration. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*. 2018. Vol. 6. No 4. Pp. 74–80.

19. Morozov V.V., Lezova S.P. Optimization of the composition of compound collectors for foam separation of diamond-containing kimberlites. *Tezisy XXV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya»* [Theses of the XXV International scientific and technical conference «Scientific bases and practice of processing of ores and technogenic raw materials»], Ekaterinburg, 2020, pp. 33–36. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Морозов Валерий Валентинович<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор,  
e-mail: dchmgu@mail.ru,

Лезова Светлана Павловна<sup>1</sup> – старший преподаватель, e-mail: svlezova@mail.ru,  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Морозов В.В., e-mail: dchmgu@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Morozov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: dchmgu@mail.ru,  
S.P. Lezova<sup>1</sup>, Senior Lecturer, e-mail: svlezova@mail.ru,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** V.V. Morozov, e-mail: dchmgu@mail.ru.

Получена редакцией 05.07.2020; получена после рецензии 17.08.2020; принята к печати 10.11.2020.

Received by the editors 05.07.2020; received after the review 17.08.2020; accepted for printing 10.11.2020.